

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
(Минсельхоз России)

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Дальневосточный государственный аграрный университет»  
(ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ)

ИНЖЕНЕРНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ,  
ОПТИМИЗАЦИИ МАТЕРИАЛОВ, РАСЧЕТОВ  
И УПРАВЛЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ

*Монография*  
*под редакцией канд. экон. наук В.В. Бурчика*

Благовещенск  
Издательство  
Дальневосточного государственного аграрного университета  
2018

УДК 69:502.3 (571.61)  
ББК 65.31(255.3)  
И62

**Рецензенты:**

*Лидия Никитовна Кондратьева,  
д-р техн. наук, профессор кафедры геотехники СПбГАСУ;*

*Илья Евгеньевич Еремин, д-р физ.-мат., наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет»*

**Авторы:**

Бурчик В.В., Даки В.Р., Ижендеев А.В., Кузьмич Н.П., Мурашова Е.Г.,  
Окладникова Е.В., Пыхтеева М.А., Рогалева Ю.С., Рыженко В.Х.,  
Рыженко А.В., Туров А.И., Фролова Е.В., Широков В.А., Школьников П.Н.

**И62 Инженерное обоснование энергоэффективности, оптимизации материалов, расчетов и управления в строительном комплексе Амурской области :** монография / В. В. Бурчик, В. Р. Даки, А. В. Ижендеев [ и др. ] ; под ред. канд. экон. наук В. В. Бурчика ; Дальневост. гос. аграр. ун-т. – Благовещенск: Изд-во Дальневост. гос. аграр. ун-та, 2018. – 183, [1] с.

**ISBN 978-5-9642-0416-9**

В коллективной монографии приводятся результаты исследований проблем и перспектив развития строительного комплекса региона с целью раскрыть основные тенденции развития строительного комплекса Амурской области. Рассматриваются основные направления рассредоточенного и пионерного строительства объектов горнодобывающего, транспортного и энергетического строительства. Выявлены инженерные, эколого-экономические условия различных аспектов деятельности отрасли, воздействуя на которые можно снизить риски в деятельности строительного комплекса региона. Предназначена для широкого круга руководителей и специалистов, ученых, аспирантов и студентов, занимающихся проблемами теории и практики строительства и природообустройства.

**УДК 69:502.3(571.61)  
ББК 65.31(255.3)**

Печатается по решению научно-технического совета  
ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ (Протокол № 3 от 06 декабря 2017 года)

© Бурчик В.В., Даки В.Р., Ижендеев А.В.,  
Кузьмич Н.П., Мурашов Е.Г., Окладни-  
кова Е.В., Пыхтеева М.А., Рогалева  
Ю.С., Рыженко В.Х., Рыженко А.В., Ту-  
ров А.И., Фролова Е.В., Широков В.А.,  
Школьников П.Н., 2018

ISBN 978-5-9642-0416-9

© ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, 2018  
© Оформление. Изд-во Дальневост. гос. аграр. ун-та, 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                               |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ПРЕДИСЛОВИЕ .....</b>                                                                                                                                      | <b>5</b>  |
| <b>Глава 1 ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДИНАМИКА ПРИАМУРЬЯ .....</b>                                                                                                         | <b>7</b>  |
| 1.1 Геодинамические процессы.....                                                                                                                             | 7         |
| 1.2 Экзогенные процессы .....                                                                                                                                 | 11        |
| <b>Глава 2 БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО С<br/>МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ .....</b>                                                  | <b>35</b> |
| 2.1 Исследование напряженно деформированного состояния бетона с минеральными<br>добавками как затвердевающей среды с позиции статике затвердевающих сред..... | 35        |
| 2.2 Характеристики материалов для бетонов с минеральными добавками<br>предприятий Амурской области .....                                                      | 44        |
| 2.3 Влияние добавок цеолитового порошка на свойства тяжелых бетонов .....                                                                                     | 49        |
| 2.4 Исследование структурообразования золоцементных композиций с добавками.....                                                                               | 51        |
| 2.5 Физико-химический анализ процессов гидратации и твердения<br>композиционного вяжущего (КВ) с добавкой золы-уноса.....                                     | 52        |
| 2.6 Оптимизация процессов приготовления многокомпонентных смесей.....                                                                                         | 53        |
| 2.7 Многоуровневая оптимизация процессов приготовления смесей .....                                                                                           | 54        |
| 2.8 Исследование влияния механической активации золошлакоцементных<br>композиций (КВ) на свойства бетона .....                                                | 54        |
| 2.9 Исследование влияния раздельной технологии приготовления<br>бетонной смеси на прочностные характеристики тяжелого бетона.....                             | 55        |
| 2.10 Использование омагничивания воды в технологии производства бетона.....                                                                                   | 56        |
| 2.11 Модификация бетонов серой.....                                                                                                                           | 59        |
| <b>Глава 3 ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ В<br/>БЛАГОВЕЩЕНСКЕ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ .....</b>                                                              | <b>61</b> |
| <b>Глава 4 ОПТИМИЗАЦИЯ ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТОГО ТОНКОСТЕННОГО<br/>СТЕРЖНЯ ОТКРЫТОГО ПРОФИЛЯ.....</b>                                                                | <b>72</b> |
| 4.1 Постановка задачи оптимизации центрально-сжатого<br>тонкостенного стержня открытого профиля.....                                                          | 72        |
| 4.2 Метод решения задачи оптимизации центрально-сжатого<br>тонкостенного стержня открытого профиля.....                                                       | 73        |
| 4.3 Матрица начальных напряжений (геометрической жесткости)<br>тонкостенного стержня открытого профиля.....                                                   | 74        |
| 4.4 Поиск оптимальных размеров поперечного сечения<br>тонкостенного стержня открытого профиля.....                                                            | 82        |
| 4.5 Обобщение и оценка результатов исследования.....                                                                                                          | 88        |
| <b>Глава 5 КОЛЕБАНИЯ И УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЛОГИХ ТРЁХСЛОЙНЫХ<br/>ОБОЛОЧЕК С ИЗЛОМАМИ ПОВЕРХНОСТИ .....</b>                                                         | <b>90</b> |
| 5.1 Преимущества тонкостенных оболочек .....                                                                                                                  | 90        |
| 5.2 Оболочки с изломами срединной поверхности .....                                                                                                           | 91        |
| 5.3 Трехслойные пластины и оболочки .....                                                                                                                     | 94        |

|                                                                                                                                                                                                                                               |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.4 Уравнения движения трехслойных пологих оболочек<br>с изломами поверхности .....                                                                                                                                                           | 95         |
| 5.5 Решение задачи о свободных колебаниях трехслойных прямоугольных<br>в плане пологих оболочек с изломами поверхности.....                                                                                                                   | 100        |
| 5.6 Методика определения частот свободных колебаний<br>трехслойных оболочек с изломами поверхности.....                                                                                                                                       | 104        |
| 5.7 Исследование частот и форм колебаний трехслойных оболочек<br>с изломами поверхности .....                                                                                                                                                 | 105        |
| 5.8 Исследование устойчивости пологих складчатых трехслойных оболочек .....                                                                                                                                                                   | 109        |
| 5.9 Устойчивость трехслойной оболочки с изломами поверхности<br>в двух направлениях .....                                                                                                                                                     | 110        |
| 5.10 Результаты исследования устойчивости трехслойных оболочек<br>с изломами в двух направлениях.....                                                                                                                                         | 113        |
| <b>Глава 6 НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ПЛИТ БЕЗОПАЛУБОЧНОГО<br/>ФОРМОВАНИЯ ПРИ ОПИРАНИИ НА КИРПИЧНЫЕ СТЕНЫ .....</b>                                                                                                                                  | <b>117</b> |
| 6.1 Несущая способность плит безопалубочного формования .....                                                                                                                                                                                 | 125        |
| <b>Глава 7 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ<br/>СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ<br/>ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ .....</b>                                                                                                            | <b>130</b> |
| 7.1 Качество строительной продукции.....                                                                                                                                                                                                      | 130        |
| 7.2 Управление качеством строительной продукции .....                                                                                                                                                                                         | 132        |
| 7.3 Стадии и этапы жизненного цикла строительной продукции .....                                                                                                                                                                              | 136        |
| 7.4 Определение эффективности управления качеством.....                                                                                                                                                                                       | 137        |
| 7.5 Основные источники эффектов и показатели расчета эффективности<br>управления качеством.....                                                                                                                                               | 138        |
| 7.6 Понятие организационно-технологической надежности.....                                                                                                                                                                                    | 139        |
| <b>Глава 8 ИНВЕСТИЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО<br/>ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬНОГО<br/>КОМПЛЕКСА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РЫНОК ЖИЛОЙ НЕДВИЖИМОСТИ<br/>В КОНТЕКСТЕ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ<br/>.....</b> | <b>144</b> |
| 8.1 Концептуальные основы инвестиционного обеспечения<br>устойчивого экономического развития регионального строительного комплекса .....                                                                                                      | 144        |
| 8.2 Влияние строительного рынка на рынок жилой недвижимости<br>в свете эффективного использования земельных ресурсов .....                                                                                                                    | 154        |
| <b>Глава 9 ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ<br/>ДОМОВ В АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ .....</b>                                                                                                                                                    | <b>162</b> |
| <b>Глава 10 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА<br/>НА ПРИМЕРЕ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ .....</b>                                                                                                                                                | <b>169</b> |
| <b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>                                                                                                                                                                                                                       | <b>178</b> |
| <b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>                                                                                                                                                                                                                | <b>179</b> |

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время развитию Дальнего Востока уделяется значительное внимание. Государственная Программа Российской Федерации «Социально-экономическое развитие Дальнего Востока и Байкальского региона», утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 15.04.2014 года № 308 (от 30.03.2017 №365 с учетом последних изменений). Она направлена на формирование и развитие на Дальнем Востоке территорий опережающего развития с благоприятными условиями для привлечения инвестиций и определяет как участника этой программы Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. Как реализация этой программы активными темпами ведется строительство космодрома Восточный и города Циолковский, возводится крупнейший в стране газоперерабатывающий завод под г. Свободный, создается инфраструктура для владельцев дальневосточных гектаров. Согласно распоряжению Правительства Российской Федерации от 22.07.2017 года №1566-р «Об утверждении плана комплексного социально-экономического развития г. Свободный Амурской области» предусматривается строительство нового роддома, реконструкция здания под женскую консультацию, строительство новой школы на 528 мест, строительство физкультурно-оздоровительного комплекса, реконструкция ДК железнодорожников и капремонт ДК им. Лазо, а также модернизация коммунальной инфраструктуры в микрорайоне Свободного, строящемся для сотрудников, занятых в реализации проекта Амурского ГПЗ. В их числе – строительство центра культуры и досуга, универсального спортивно-тренировочного комплекса, поликлиники, детского сада и средней образовательной школы.

Территория опережающего социально-экономического развития (ТОР) «Свободный» создана в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 3 июня 2017 года № 673 на территориях города Свободного, Свободненского и Сковородинского районов Амурской области и предполагает такие инвестиционные проекты, как:

- Амурский газоперерабатывающий завод (ООО «Газпром переработка Благовещенск»);
- Амурский газохимический комбинат (ПАО «СИБУР Холдинг»);
- завод по производству метанола (ОАО «Технолизинг»);
- завод металлоконструкций мощностью 12 тыс. тонн в год (ООО «Амурстальконструкция»);
- завод по производству бетона мощностью 59 тыс. м<sup>3</sup> в год (ООО «Смена»);
- комплекс по производству бетонных смесей (ООО ПК «Пчелы-Свободный»).

Продолжается жилищное строительство в городах Благовещенске, Свободном. Проектируются сельскохозяйственные объекты животноводческого направления – коровники, свинарники, птичники.

Строительство – одна из наиболее востребованных, а поэтому значимых отраслей экономики страны. По темпам развития отрасли строительства можно судить о состоянии и перспективе развития экономики региона. Поэтому необходимо вести строительство вышеозначенных объектов, опираясь на современные методы расчета и конструирования, использование энергоэффективных и энергоемких технологий и материалов, инновационные тенденции организации и управления строительного производства, эколого-экономические факторы для обеспечения устойчивого развития инвестиционно-строительного комплекса.

Преподаватели факультета строительства и природообустройства ФГБОУ ВО «Дальневосточный ГАУ» многие годы проводили исследования. Так как эти проблемы актуальны для Амурской области, так и для Дальнего Востока, страны в целом. В коллективной монографии «Проблемы инженерного обоснования, энергоэффективности, оптимизации материалов, расчетов и управления в строительстве» рассматриваются вопросы методов оптимизации строительных сооружений, геолого-экологические и экономические проблемы Приамурья, внедрения новых строительных материалов, связанных с организацией, с количественной и качественной оценкой строительного комплекса региона.

Основная цель коллективной монографии состоит в том, чтобы раскрыть основные тенденции развития строительного комплекса Амурской области. Задачи, поставленные в работе, следующие:

- исследовать строительный комплекс Амурской области и перспективы его развития;

- обосновать целесообразность экономико-социального развития Амурской области при использовании потенциала строительного комплекса региона;
- проанализировать основные аспекты обеспечения устойчивого развития инвестиционно-строительного комплекса на основе совершенствования его развития;

В работе широко использованы материалы статистических данных Амурского статистического комитета.

Коллективная монография может быть полезна для руководителей и специалистов проектных, строительных, сельскохозяйственных предприятий и организаций; инженеров, экономистов представителей органов государственной власти и местного самоуправления, преподавателей, аспирантов, бакалавров, студентов, специализирующихся на вопросах строительства.

Коллективная монография подготовлена авторским коллективом факультета строительства и природообустройства ФГБОУ ВО «Дальневосточный ГАУ» в следующем составе:

Глава 1. Инженерная геодинамика Приамурья. Составитель – *Мурашова Е.Г.*, доцент кафедры строительного производства и инженерных конструкций.

Глава 2. Бетоны на основе композиционного вяжущего с минеральными добавками Амурской области. Составители: *Рыженко В.Х.*, доцент; *Пыхтеева М.А.*, старший преподаватель кафедры строительного производства и инженерных конструкций; *Рыженко А.В.*, доцент кафедры математического анализа и моделирования Амурского государственного университета; *Даки В.Р.*, инженер исследователь, генеральный директор Амурского завода железобетонных конструкций.

Глава 3. Повышение тепловой защиты жилых зданий в Благовещенске Амурской области. Составитель – *Фролова Е.В.*, старший преподаватель кафедры строительного производства и инженерных конструкций.

Глава 4. Оптимизация центрально-сжатого тонкостенного стержня открытого профиля. Составитель – *Ижэндеев А.В.*, доцент кафедры строительного производства и инженерных конструкций.

Глава 5. Колебания и устойчивость пологих трехслойных оболочек с изломами поверхности. Составитель – *Окладникова Е.В.*, доцент кафедры строительного производства и инженерных конструкций.

Глава 6. Несущая способность плит безопалубочного формования при опирании на кирпичные стены. Составитель – *Тузов А.И.*, доцент кафедры строительного производства и инженерных конструкций.

Глава 7. Совершенствование организации строительного производства на современном этапе экономического развития. Составители: *Бурчик В.В.*, доцент, *Школьников П.Н.*, старший преподаватель кафедры строительного производства и инженерных конструкций.

Глава 8. Инвестиционное обеспечение устойчивого развития регионального строительного комплекса и его влияние на рынок жилой недвижимости в контексте эффективного использования земельных ресурсов. Составитель – *Кузьмич Н.П.*, доцент кафедры геодезии и землеустройства.

Глава 9. Проблемы строительства энергоэффективных домов в Амурской области. Составитель – *Широков В.А.*, доцент кафедры строительного производства и инженерных конструкций.

Глава 10. Экологическая безопасность строительства на примере Амурской области. Составитель – *Бурчик В.В.*, доцент кафедры строительного производства и инженерных конструкций.

## ГЛАВА 1 ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДИНАМИКА ПРИАМУРЬЯ

Инженерная геодинамика изучает геологические процессы в верхней части земной коры в связи с инженерно-геологической деятельностью человека. Геологические процессы предшествуют проявлению геологических явлений, в изменении их физического состояния и условий залегания, в формировании и изменении рельефа земной поверхности, геоэкологической структуры. Инженерная геодинамика изучает все современные геологические процессы, влияющие на устойчивость геосистем и объектов строительства.

### 1.1 Геодинамические процессы

Геодинамические процессы делят на 2 большие группы: эндогенные и экзогенные. Эндогенные процессы проявляются под воздействием внутренней энергии Земли, в результате действия которых формируются крупные геоморфологические изменения в земной коре. Экзогенные процессы происходят на поверхности Земли под воздействиями внешних факторов и приводят к денудации, транспортировке и аккумуляции отложений, созданию различных форм рельефа, обусловленных агентом воздействия (деятельность ветра, поверхностных и подземных вод, солнечная радиация, выветривание и т.д., в том числе антропогенное).

Эндогенные процессы проявляются в движении и перераспределении материи, слагающей земную кору, к переходу её из одного состояния в другое, из одних форм в другие. Интенсивность этих процессов наблюдается в проявлении вулканических извержений, землетрясений, образования трещин и других деформаций земной поверхности. Результатами их проявления в геологическом прошлом являются образованные основные формы рельефа, различные дислокации и деформации земной коры и характерные комплексы эффузивных пород, возникших при застывании силикатного расплава или из продуктов, выброшенных при вулканических извержениях (вулканического пепла, бомб и пр.). Перераспределение материи при эндогенных процессах сопровождается образованием очень важной группы полезных ископаемых (руды большинства металлов, слюд, драгоценных камней и др.), а также наиболее грозными стихийными явлениями (землетрясениями, извержениями вулканов), которые необходимо изучать для предупреждения связанных с ними бедствий. Поэтому изучение эндогенных процессов имеет не только познавательное, но и практическое значение.

Эндогенные процессы протекают в условиях высоких температур и давлений. Гравитационное поле Земли и силы вращения могут влиять на форму планеты, вызывать вертикальные и горизонтальные перемещения фрагментов литосферы разной плотности, процессы диапиризма и т.д.

Для рельефообразования наибольшее значение имеют механические движения литосферы, магматизм и метаморфизм. Один из важнейших результатов – формирование *первичных* неровностей твердой поверхности Земли – тектонически обусловленных поднятий и впадин.

Под эндогенными факторами понимаются процессы, обусловленные внутренним развитием литосферы и создающие неровности земной поверхности в условиях приповерхностного гравитационного поля Земли и под воздействием ее движений в пространстве.

Структурные формы, выраженные в рельефе – *полигенные* образования, т.к. всегда в различной степени искажены экзогенными процессами.

Формы рельефа, в образовании которых главная роль принадлежит эндогенным процессам, называются морфоструктурами.

Источники энергии эндогенных процессов подразделяются на:

Внешние (космические);

Внутренние (земные):

- 1) потенциальная энергия массы Земли и создаваемого ею гравитационного поля;
- 2) энергия движения Земли;
- 3) энергия, выделяемая Землей в процессе развития планетарной материи.

По своему воздействию на земную поверхность эндогенные факторы могут быть подразделены на *статические* и *динамические*.

Динамические, или активные, эндогенные факторы – общие и частные движения земной коры. Динамика определяется направлением, скоростью и неравномерностью движений в пространстве и времени.

В Амурской области эндогенные процессы представлены сейсмичностью. С позиции плитной тектоники Амурская область расположена в пределах Амурской литосферной плиты, образовавшейся в результате взаимодействия Евразийской, Тихоокеанской и Индостантской макроплит показанной на рисунке 1.1.

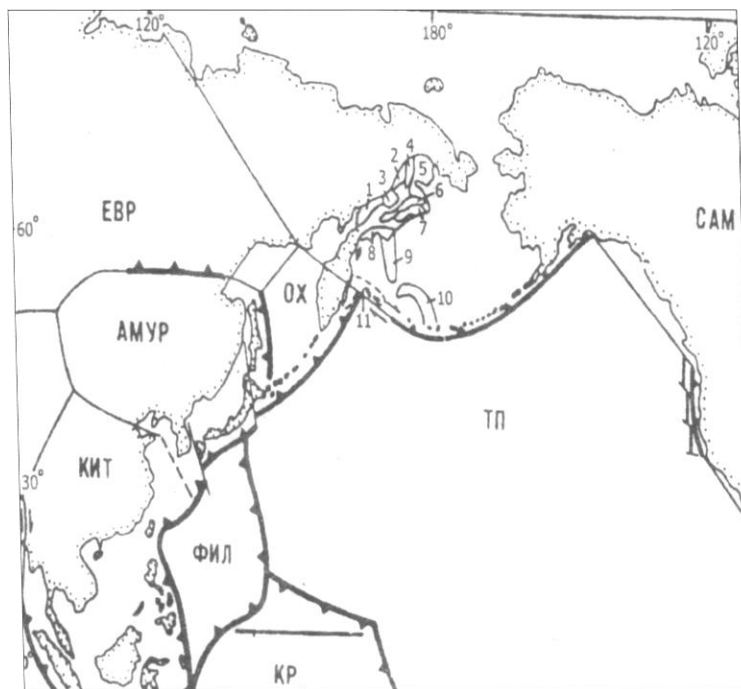


Рис. 1.1. Палеотектоническая реконструкция (Павлюк, 2000)

К основным статическим, или пассивным, эндогенным факторам относятся: литолого-стратиграфические условия и глубина денудационного среза.

Деформация пород – структурная форма (СФ) является как статическим, так и динамическим фактором. Если денудации подвергается неразвивающаяся (мертвая) СФ, то она играет роль пассивного фактора – в рельефе препарируются её отдельные части. Если СФ *живая* и выражена в рельефе в результате активного развития складки (блока), то её рельефообразующее значение – активное, отражающее новейшие движения земной коры.

Продолжающееся движение литосферных плит обуславливает повышенную сейсмичность северных районов, области. Эпицентры сильных землетрясений приурочены к району Усть-Нюкжи, хребту Тукурингра [69].

Территория Амурской области относится к регионам с высокой степенью сейсмической опасности, и возможностью землетрясений 7- 9 баллов по шкале MSR-64 показанной на рисунке 1. 2.



Рис. 1.2. Сейсмически активные зоны России [97]

В соответствии с геолого-структурным районированием и особенностями тектонической активности, на территории области условно выделяются 4 сейсмоактивных района:

– Становой район включает хребты Становой, Южный и Северный Дырындинский, Чельбаус, в пределах Станового хребта и характеризуется наиболее повышенной сейсмичностью. В бассейнах притоков Олёкмы-Имангры, Чебаркаса, Тас-Юряха произошло три 9-10-балльных землетрясения: Нюкжинское (1958 г.) с магнитудой ( $M$ ) 6,5; Олекминское (1958 г.) с  $M=6,4$ ; Тас-Юряхское (1967 г.) с  $M=7,0$  [69]. К востоку от этого района полоса эпицентров протягивается в верховья рек Тимптона и Гонама.

– Янкан-Тукурингра-Джагдинский район, кроме названных хребтов включает Ланский хребет, часть Селемджинского хребта, на границе с Хабаровским краем, на крайнем северо-востоке Амурской области, хребет Соктахан, западную часть хребта Джагды, и расположен, в основном, в пределах Амуро-Охотской геосинклинальной складчатой системы.

В пределах этой зоны в течение 1972-1980 гг. отмечено 6 землетрясений интенсивностью в эпицентре 6-8 баллов [69]. По данным сейсмического районирования, здесь отчетливо выделяются площади с интенсивностью землетрясений 5-8 баллов. Здесь же зарегистрированы два Селемджинских землетрясения (29.06.1979 г. и

30.07.1979 г.). Энергетический класс этих землетрясений, соответственно,  $K=9,5$  и  $K=8,5$ . Землетрясение 30.07.1979 г проявилось поверхностным эффектом в 4 балла в посёлках Токур, Экимчан, Огоджа. Интенсивность в эпицентре составляла 7 баллов.

В данном районе произошло Гилуйское землетрясение (13.06.1972 г.) с поверхностным эффектом 7 баллов, Зейское землетрясение (2.11.1973) с интенсивностью 8 баллов и Огоронское землетрясение – 8 баллов. Эпицентр Зейского землетрясения находился в 120 км северо-западнее Зейской ГЭС, где наблюдались обвалы, осыпи и камнепады.

– Амуро-Зейский район в зоне слабо дифференцированных поднятий и опусканий Буреинского массива (Октябрьский блок) включает в себя Амуро-Зейскую и Зейско-Буреинскую равнины. В этом районе самым сильным было Норское землетрясение ( $M=4$ ).

– Турано-Буреинский район включает Туранский хребет, в геолого-структурном отношении это Туранский блок Буреинского массива. Здесь было зарегистрировано землетрясение интенсивностью 7 баллов.

Районы с 5- и 6-балльной интенсивностью землетрясений включают Верхне-Зейскую и частично Зейско-Буреинскую впадины. Контуров их зависят в основном от характера распространения сейсмических колебаний из зон сводово-глыбовых поднятий. В то же время в последние годы установлено, что повышенной сейсмичностью обладают самые южные районы области с магнитудой более 4,5. Причем на территории Китая она составляет более 5,1.

Подвержены значительным землетрясениям населенные пункты Зейского, Магдагачинского, Мазановского, Селемджинского, Бурейского, Архаринского, Сковородинского, Михайловского районов. В сёлах Калинино, Куприяново, Чесноково возможны 6- балльные землетрясения.

14 октября 2011 года землетрясение магнитудой 5,9 произошло на границе Сковородинского и Тындинского районов на глубине 13 километров. Эпицентр находился в 760 километрах северо-западнее поселка Талакан Бурейского района и в 25 километрах северо-западнее Соловьевска Тындинского района. Толчки ощутили жители практически всех районов области. Пострадали здания школы и больницы в Сковородино Амурской области, вышли из строя две электроподстанции на БАМе [97].

Тогда же произошло землетрясение 6,3 - 6,4 баллов, с эпицентром землетрясения в 7 км восточнее селения Тахтамыгда Сковородинского района Амурской области, в 134 километрах юго-западнее Тынды. Очаг толчков находился на глубине 10-15 км. Это сильное землетрясение, в районе гипоцентра сила землетрясения составила 8 баллов.

Сейсмическая активность разной интенсивности (2 балла – в г. Благовещенск, 4 балла – г. Тында) сохраняется с периодичностью ориентировочно один раз в год.

Особо неблагоприятным является тот факт, что большая часть обжитых районов области относилась к сейсмически безопасным зонам (5 баллов) и здания и сооружения строились без учёта сейсмических нагрузок, только территория Зейской ГЭС учитывалась как 8-ми балльная, хотя и были зафиксированы землетрясения более высокой интенсивности.

На сейсмически активных территориях Амурской области расположены или проектируются, или строятся многие коммуникации федерального и регионального значения. В том числе Байкало-Амурская железнодорожная магистраль, участок автодороги «Амур» (Чита-Хабаровск), Зейская, Бурейская, Нижнебурейская ГЭС, нефтепровод «Восточная Сибирь – Тихий океан», газопровод «Сила Сибири», линии ЛЭП напряжением до 500 кВ, космодром «Восточный» и другие объекты, повреждения которых могут привести к гибели людей, экологическому кризису территорий и нарушению связей Дальневосточного региона с центральными районами страны.

Землетрясения активно влияют на темпы развития экзогенных геологических процессов. В горных районах активизируются гравитационные процессы с образованием осыпей, обвалов, селей и оползней. В условиях многолетней мерзлоты происходит нарушение термического режима, что приводит к её деградации и способствует активизации солифлюкции и развития термокарста.

Тектонические движения обуславливают сейсмичность и являются одними из факторов в формировании рельефа.

Тектонически обусловленный рельеф Амурской области представлен преимущественно среднегорьями, низкогорьями и впадинами. Отдельные фрагменты высокогорного (альпинотипного) рельефа встречаются в районах северного и восточного горного обрамления. Характерная орография области, состоящая в замкнутости равнин горным обрамлением, создаёт некоторую специфику природной зональности и видовому размещению отдельных представителей флоры.

Распространенными типами морфоструктур в области являются глыбово-складчатые низкогорья и среднегорья. Морфоструктуры межгорных и предгорных пространств представлены денудационными, пластовыми и аккумулятивными равнинами.

## 1.2 Экзогенные процессы

Экзогенные геологические процессы на территории Амурской области имеют широкое развитие и представлены всеми генетическими типами, характерными для континентальной части Российской Азии. В формировании современного облика участвуют, в основном, флювиальные процессы, а также гравитационные, суффозионные, процессы заболачивания, криогенный и техногенный (антропогенный).

Процессы экзогенного характера, сопутствующие эндогенному рельефообразованию, приводят к формированию различных форм гравитационного, эрозионно-аккумулятивного, криогенного, суффозионного, гляциального, карстового, эолового рельефа.

Ведущими факторами проявления **флювиальных процессов** являются потоки поверхностных вод – временные водотоки, постоянные водотоки рек и ручьёв, движение вод открытых водоёмов. Процессы флювиальной группы подразделяются на две подгруппы:

- флювиальные процессы, характеризующиеся кратковременным проявлением. К этой подгруппе относятся сели, которые предопределяются паводками на горных реках и склоново-эрозионные процессы (склоновый смыл и овраги) и плоскостной смыл, формированию которых способствует кратковременный ливневый характер осадков;

- флювиальные процессы, характеризующиеся длительным воздействием – это речная эрозия, абразия берегов водоёмов; основная роль этих процессах принадлежит гидродинамической энергии.

Селевые процессы в Амурской области имеют весьма ограниченное распространение. Самой селеопасной горной системой области, преимущественного развития водокаменных селей, является Становой хребет. Сели, в основном, водокаменные и занимают русла малых рек и временных водотоков, но в дальнейшем сливаясь, образуют единые селеносные бассейны.

Сели водокаменного состава характерны также для хребтов Северный и Южный Дырындинский, Эзоп, Ям-Алинь, Токийский Становик. В низкогорье водокаменные потоки трансформируются в грязекаменные и вододревесногрязекаменные.

Эрозионные процессы флювиального генезиса проявляются в плоскостном смыле, линейной эрозии, приводящей к оврагообразованию, боковой эрозии, определяющей расширение днища долины в результате меандрирования реки и образования бифуркаций, как показано на рисунке 1.3.



Рис. 1.3. Меандрирование реки

Селевая деятельность малых и временных водотоков горной области Амурской области не носит катастрофического характера, и опасности для народнохозяйственных объектов не представляет, ввиду того, что районы проявления селей не освоены или освоены крайне низко.

Наиболее широко развитие плоскостного смыва приурочено к склонам денудационно-цокольных и денудационно-эрозионных равнин. В пределах Верхнезейской, Амуро-Зейской, Зейско-Буреинской равнин, где распространены аллювиальные и озёрно-аллювиальные рыхлые отложения и, представленные преимущественно галечным материалом с песчаным, супесчаным и суглинистым материалом. В этих условиях на незадернованных склонах, обнаженных в результате лесных пожаров, а особенно на крутых обрывах береговых склонов под воздействием дождевых и склоновых талых вод, формируются многочисленные беспорядочные углубления и борозды.

Развита плоскостная эрозия в чётких границах междуречий Томь - Белая, Белая - Ивановка, что связано с незначительным уклоном и показателем интенсивности эрозионного расчленения в среднем до 0,5 м (при относительном превышении высот от 1-2 м до 30-40 м), сельскохозяйственным освоением и отсутствием лесной растительности.

Наиболее благоприятными для оврагообразования являются площади, покрытые мощным чехлом аллювиально-делювиальных рыхлых отложений. Выделяются локальные участки с крупными активными оврагами, которыми поражены надпойменные террасы и склоны водоразделов Бирма - Томь, Томь - Белая, Белая - Ивановка, Ивановка - Завитая, Завитая - Буря [62].

Наиболее густая сеть активно развивающихся оврагов наблюдается на склонах долин малых притоков р. Зеи. Овраги распространены в долинах рек Гильчин, Топкоча, где показатель глубинной эрозии от 0,5 м и более [61]. Интенсивному развитию овражной сети благоприятствует распаханый холмисто-увалистый рельеф на легкоразмываемых неоген-четвертичных породах и влажный климат.

Формирование овражно-балочной сети определяет формирование урочищ и групп урочищ с характерным набором фаций.

Оврагообразные понижения формируются распаханых на склонах, вдоль железнодорожной магистрали и автомобильных дорог, на склонах, утративших раститель-

ность. В междуречье Завитая - Буря развитие оврагов связано, главным образом, с техногенезом территории, по добыче угля, показатель интенсивности глубинной эрозии здесь достигает 7,4 метров [62].

К территории распространения овраго- и балкообразных понижений приурочены группы урочищ пологих увалов эрозионно-денудационных лиственнично-берёзовых лесов с примесью дуба, сосны на бурых оподзоленных лесных, дерново-подзолистых глееватых почвах, на дресвяных суглинках, супесях, щебне, дресве и аккумулятивно-денудационных террасовых поверхностях с луговой, бобово-злаковой, растительностью на луговых чернозёмовидных и лугово-чернозёмовидных глееватых почвах, на песках, галечниках, суглинках, супесях, рисунок 1.4.



Рис. 1.4. Овраг на Зейско-Буреинской равнине

**Речная эрозия** на территории Амурской области имеет широкое распространение. Проявляется она как в виде бокового руслового подмыва, так и донного размыва.

**Донная эрозия** выявляется, в основном, в горных областях, где реки, как правило, еще не выработали профили равновесия, обладают большой энергией, переносят большое количество твёрдого материала, способствующего интенсивной эрозии коренного ложа водотоков. Преимущественное распространение процесса донной эрозии приурочено к речным долинам среднегорья. Значительную эрозионную работу здесь производят селевые паводки.

**Боковая эрозия**, проявление которой связано с подмывом и разрушением берегов показана на рисунке 1.5, приурочена к низкогорью, аккумулятивным и денудационно-эрозионным равнинам [62].



Рис. 1.5. Разрушение берега реки в результате подмыва рыхлых отложений

В этих условиях изменяют очертания береговой линии такие крупные реки как Амур, Зeya и их притоки. Эрозии в большей степени подвержены рыхлые отложения четвертичного возраста, слагающие поймы и речные террасы, и в меньшей степени эродируются скальные породы магматической, метаморфической, эффузивной и терригенной формаций в пределах низкогорного ландшафта. Наиболее интенсивно боковая эрозия развивается в периоды паводков на участках свободного меандрирования речного русла и в местах тесных «прижимов» рек, когда происходит резкое увеличение скорости течения воды, рисунок 1.6.



Рис. 1.6. Ущелье Пила

**Абразия** – процесс механического разрушения волнами и течениями коренных пород, разрушающих берега поверхностных водоёмов. Абразией наиболее сильно поражены борта р. Гилуй, Унаха, Уркан, Кохани.

В зависимости от преобладания процессов абразии или аккумуляции в береговой зоне этих водоемов могут быть абразионные или аккумулятивные берега. Для озёр ледникового расхождения характерны абразионные берега, сложенные скальными породами интрузивной, эффузивной и метаморфической формаций, рисунок 1.7.



Рис. 1.7. Река Уда

На территории Амурской области существует ряд небольших по размеру озёр. В горных районах это озёра ледникового происхождения. В долинах равнинных рек (Амура, Зеи, Селемджи) пойменные озёра преимущественно старичного типа, рисунок 1.8.



Рис. 1.8. Старичное озеро в пойме р.Зея

Формирование берегов этих водоёмов происходит в течение значительного геологического отрезка времени под влиянием природных факторов, основными из которых являются геологическое строение берегов, объёмы и характер твердого стока рек и временных водотоков, волновой режим.

В настоящее время закончено наполнение искусственных водоёмов – Зейского и Бурейского водохранилищ, рисунки 1.9 и 1.10.

Установление среднего меженного уровня сформировало береговую линию водохранилищ. Перерабатываются денудационные, эрозионно-денудационные, аккумулятивные склоны долины р. Зея, Бурея и их притоков. По периметру водохранилищ абразионные процессы чередуются с аккумулятивными.



Рис. 1.9. Зейское водохранилище

Крупные оползни, обвалы и подвижные осыпи развиваются на элювиально-делювиальных склонах каньонной части водохранилищ, интенсивно формируется абразионный обвально-осыпной оползневой берег и клиф. Идет интенсивный процесс формирования нового профиля равновесия. В зоне сработки уровня и глубины волновой деятельности зарождается аккумулятивная отмель.

Под влиянием водохранилища меняются инженерно-геологические, мерзлотно-гидрогеологические условия и в целом формируется неблагоприятная геоэкологическая обстановка.

Достаточно высокая мощность рыхлых образований, выстилающих поверхность террас в приплотинной части, их высокая обводнённость приведут к интенсификации процессов солифлюкции, поставляющей огромные массы обломочного материала в зону формирования береговой отмели. Усилению этих процессов будет способствовать и уничтожение защитного растительного покрова в береговой зоне как в результате целенаправленной очистки поверхности от леса, так и в результате самого затопления. В замкнутых понижениях полосы осушения получают развитие процессы заиления и развития влаголюбивой растительности, которая периодически будет пополнять водохранилище органикой, рисунок 1.10, 1.11.



Рис. 1.10. Бурейское водохранилище



Рис. 1.11. Заиление прибрежной полосы Зейского водохранилища

Другой, гораздо более мощной питающей базой органики, будут служить заболоченные участки высоких террасовых уровней.

Слагающий их торф при затоплении всплывет и станет накапливаться на участках аккумулятивных берегов, формируя т. н. «биогенные берега». Такое явление широко представлено на Зейском водохранилище. Предполагается, что биогенные берега проявят себя в заливах, образующимся при заполнении водой долин притоков р. Бурей. В

условиях положительных температур такие берега будут служить источником поступления в водохранилище органики в дисперсном состоянии в виде взвесей.

Учитывая, что в пределах широко развитой «главной террасы» уклоны нередко составляют менее  $5^\circ$ , в зоне сработки будет формироваться широкая береговая отмель. При колебании уровня воды береговая отмель, сформированная в предшествующий этап, станет размываться, и здесь будут формироваться вторичные уступы небольшой (1 - 3 м) высоты, определяя развитие берега по абразионному типу. Предполагается, что интенсивность их разрушения составит в первые 10 лет величину в 10 - 20 м, а на конечной стадии (стадии динамического равновесия) – от 25 до 200 м.

На пологих поверхностях (с углом наклона менее крутизны устойчивости береговой отмели) будут формироваться берега по нейтральному или аккумулятивному типу. Нейтральные берега, сложенные мелкообломочным материалом, как правило, после размыва дерново-почвенного слоя, имеющего небольшую эрозионную устойчивость, будут трансформироваться в зависимости от вдольберегового переноса рыхлого материала [96].

Процессы, ведущими факторами проявления которых являются поверхностные и подземные воды в совокупности со структурно-тектоническими, геологическими, ландшафтными и климатическими условиями, отнесены к группе инфильтрационных [68].

**Процессы заболачивания** развиты повсеместно, они характерны для плоских равнинных пространств и днищ речных долин. Верховые болота формируются на надпойменных террасах и на водораздельных пространствах. В поймах сформировались низинные болота грунтового питания, на склонах и делювиальных шлейфах – переходные болота смешанного типа питания.

На территории Верхнезейской равнины наиболее активно заболачивание распространено в долинах притоков р. Зей. На остальной площади заболоченные участки приурочены к плоским водоразделам. На поймах и в устьевых частях рек распространены низинные болота. За пределами затопляемой зоны распространены переходные болота смешанного питания. Наличие многолетней мерзлоты на небольшой глубине приводит к формированию верховых болот на плоских водораздельных пространствах.

В пределах Амуро-Зейской равнины отмечаются две зоны, характеризующиеся развитием различных типов болот. В северной части, в зоне островного распространения многолетней мерзлоты, в основном по днищам долин, развиты верховые болота с неразложившимся торфом мощностью до 1 м. В южной части Амуро-Зейской равнины болота и заболоченные земли располагаются в поймах рек или в слабопроточных и замкнутых котловинах надпойменных террас. Эти болота низинные, мощность торфа 0,4-0,6 м, редко достигает 2 м [81]. В долинах рек заболочены не только днища, но и пологие склоны, делювиальные шлейфы, на которых получили распространение переходные болота смешанного питания. В локальных понижениях рельефа на плоских водораздельных площадях происходит образование верховых болот.

В пределах Амурско-Зейской и Зейско-Буреинской равнин болота и заболоченные земли развиты преимущественно по долинам рек Томь, Селемджа, Мамын, Бысса, Иса, Нора и по плоским водораздельным поверхностям. Относительно мощные (более 0,5 м) торфяные отложения отмечены по зарастающим термокарстовым или старичным озёрам.

В пределах Амуро-Охотской геосинклинальной складчатой системы наибольшее развитие болот и заболоченных земель получили в районах неотектонических депрессий Ольдойского и Урканского предгорных прогибов. Сплошное развитие многолетнее мёрзлых пород и небольших глубин сезонного оттаивания – главные причины повсеместного заболачивания этих районов, мощность торфа составляет в среднем всего 0,5-0,8 м и редко превышая 1,5 м.

Для долин речной сети горного севера (Алдано-Становой щит и Амуро-Охотская

геосинклинальная система) характерно повсеместное широкое распространение заболоченных земель и всех типов болот, рисунок 1.12.



Рис. 1.12. Болото

На поймах расположены низинные болота грунтового питания, на пологих склонах и делювиальных шлейфах - переходные болота смешанного питания и на надпойменных террасах – верховые болота атмосферного питания в зонах склонового прерывистого и массивно-островного развития мерзлоты.

**Криогенные (мерзлотные) процессы** – это экзогенные процессы, обусловленные сезонным и многолетним промерзанием и оттаиванием увлажненных рыхлых отложений.

Многолетняя мерзлота залегает от 50 и менее метров на юге своего распространения, до 500 метров в северных районах. Отмечается зональность в распространении многолетней мерзлоты.

Развитию криогенных процессов и явлений на территории Амурской области способствуют суровый климат, разнообразные генетические типы рыхлых отложений и рельефа, наличие многолетнемёрзлых и сезонно промерзающих пород зоны аэрации с различной среднегодовой температурой.

На территории области отмечается зональность в распространении многолетней мерзлоты и зависимость от пространственных изменений и основных характеристик многолетнемёрзлых горных пород (прерывистости, мощности и температуры).

Площадное распространение многолетнемёрзлых пород изменяется с севера на юг, от сплошного, прерывистого и массивно-островного до островного и редкоостровного. На юге области отсутствуют многолетнемёрзлые породы, но выделяются площади устойчивого сезонного промерзания в зоне аэрации, рисунок 1.13 [63].

В северных и северо-восточных районах, в пределах высокогорных и среднегорных областей хребтов Станового, Джугдыр, Эзоп, Ям-Алинь, Селемджинский, Чельбаус и низкогорной области хребта Джагды многолетнемёрзлые породы сплошного распространения занимают практически всю площадь (95 - 100 %) [63]. Температуры пород от  $-2^{\circ}\text{C}$  до  $-7^{\circ}\text{C}$ , а мощность мерзлоты в пределах 100-500 метров [69].

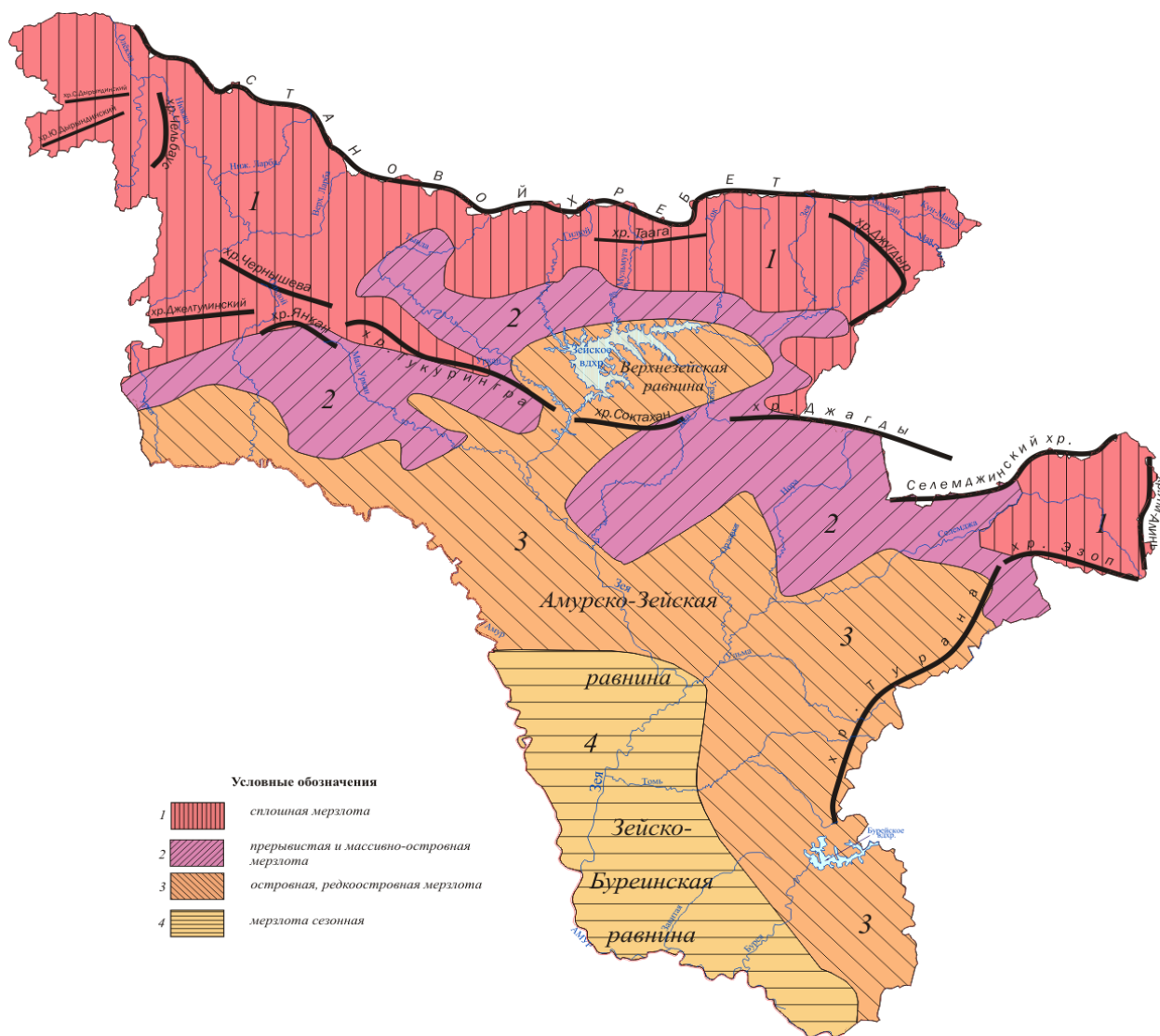


Рис. 1.13. Распространение мерзлоты на территории Амурской области

Северные горные районы и межгорные депрессии попадают в зоны непрерывной и слабо прерывистой многолетней мерзлоты, которая встречается по всем элементам рельефа при различном типе грунтов. От 60 до 80 и от 80 до 100 % площади территории занимают мёрзлые породы. Южнее располагаются зоны прерывистой, массивно-островной и островной многолетней мерзлоты. Площади, в зоне прерывистого распространения мерзлых пород составляют 40-60%, в зоне массивно-островного распространения многолетней мерзлоты – от 25 до 40 %, островная многолетняя мерзлота составляет от 10 до 25 % [69].

На севере Свободненского, Шимановского, Серышевского, Мазановского и других районов распространена редкоостровная многолетняя мерзлота, площадью, не более 10 %, а местами от 3 до 5 %. Южные районы области, где наиболее развито сельское хозяйство, находятся в зоне эпизодического распространения мерзлых толщ и в зоне, которая характеризуется как район без многолетнемерзлых пород.

Среди ландшафтообразующих факторов многолетняя мерзлота относится к факторам, проявление которых отмечается во всех природных процессах: рельефообразо-

вании, почвообразовании, сукцессионном изменении фитоценозов, формировании режима тепла и влаги.

Мерзлотные или криогенные процессы наиболее ярко проявляются на гольцах, на уплощенных водоразделах и вершинах, где задерживается атмосферная и снеговая вода в трещинах пород, в рыхлых отложениях склонов. На площадях устойчивого сезонного промерзания пород, процесс трещинообразования приурочен к выровненным, заболоченным участкам долин рек и водораздельных пространств. Попеременно замерзая и оттаивая в трещинах, вода в смеси с песком и дресвой отделяет куски породы от скал.

Проявление процессов склоновой денудации, выраженное в образовании различных по форме и размерам участков, сложенных с поверхности глыбами скальных пород и лишенных древесной растительности, на склонах крутизной меньше угла естественного откоса обломочного материала образуют каменные россыпи, тесно связанные с курумами и не только генетически, но и пространственно. Каменные россыпи на склонах и водоразделах переходят в курумовые потоки. Обвально-осыпные процессы проявляются в виде каменных и снежно-каменных лавин, обвалов, оползней, селей. В осевых частях хребтов Становой, Джугдыр, Ям-Алинь, Джагды и Эзоп фиксируются лавинные снежники практически во всех ледниковых цирках и часто на бортах троговых долин. По своей природе образование лавин относится к процессам гравитационной группы и обусловлены сочетанием метеорологических и геоморфологических факторов. Наибольшая лавинная опасность характерна для области высокогорья со следами горно-долинного оледенения, к районам со значительной лавинной опасностью относятся хребты Становой, Джугдыр, Эзоп, северная часть хребта Турана и со средней лавинной опасностью хребты Джагды, Ям-Алинь, Тукурингра [68].

**Гляциальные геологические явления** проявляются в виде скопления льда и снега.

**Наледь** – это ледяное тело изображенная на рисунке 1.14, образующееся в результате послойного замерзания речных или подземных вод, излившихся на земную поверхность или в полости горных пород вследствие напорной разгрузки подземных или поверхностных вод.



Рис. 1.14. Наледи на р.Зея

Главной причиной такого излияния является возникновение гидродинамического и гидростатического напора при сезонном промерзании подземных водоносных трасс, водотоков и водоёмов.

На территории области чаще всего встречаются наледи подземных вод и смешанного (подземного и поверхностного) питания [43]. Они подразделяются на наледи речных, надмерзлотных и подмерзлотных вод. Иногда вода не может подняться на поверхность, например, если она попадает в пространство между многолетнемёрзлыми породами и промёрзшими сезонноталыми слоями. Тогда она, замерзая, превращается в ледяную линзу, которая, увеличиваясь в объёме, приподнимает кровлю, образуя гидролакколит, или подземную наледь.

Наиболее широко наледи распространены в северных районах Амурской области (Тындинский, Зейский, Сковородинский, Селемджинский и др.). Их распространение подчиняется высотной зональности и широтной поясности и тесно связано с распространением многолетнемёрзлых пород.

Наледи характерны также для районов глубокого сезонного промерзания (юг Амурской области, с приуроченностью к плоскоувалистому ландшафту долин Амура и Зеи, а также их террасам).

Наледные процессы включают образование, развитие и разрушение наледей. Основными факторами, определяющими образование и развитие наледей, являются климат, рельеф, гидрогеологические условия, тектоника и многолетняя мерзлота.

Интенсивность развития наледей зависит от запасов подземных вод, водности предшествующего теплого сезона и глубины промерзания сезонно-талого слоя. Зачастую места выхода наледей на амурских реках приурочены к участкам резкого уменьшения сечения русла и очагам разгрузки подземных вод. Режим и формы развития наледей в большой степени зависят от мерзлотных условий территории.

Наледи в зоне сплошного распространения многолетнемёрзлых пород на территории области имеют ограниченное распространение. Это объясняется сокращением ежегодно восполняемых запасов подземных вод в условиях значительной промороженности (100 - 500 м) пород. Такие наледи прослеживаются в высокогорных и среднегорных областях по хребтам Становой, Джугдыр, Чельбаус, Каларский, Северный и Южный Дырындинский, магматический и метаморфический комплекс которых представлен в основном архейскими породами, разбитыми многочисленными тектоническими разломами, к которым и приурочена разгрузка подземных вод. В этих районах преобладают ключевые наледи, редко смешанные, характеризующиеся средними и большими размерами. Расположение наледей приурочено в большой степени к участкам понижений в рельефе, в руслах и поймах. Площадное распространение наледных процессов весьма слабое и составляет 0,1 % общей площади [43].

Наледоопасными участками являются склоны северной экспозиции с неглубоким залеганием вечномерзлых грунтов (имеющие надмерзлотные воды), групповые выходы родников подземных вод, сильно заболоченные склоны, устья водотоков в местах слияния нескольких водотоков, водотоки с распластанными руслами, малыми глубинами и выступающими из воды грядами галечника, перекаты со скальными выступами и валунами, порожистые участки.

Наледи в зоне прерывистого и массивно-островного распространения многолетнемёрзлых пород отмечаются в среднегорных и низкогорных областях хребтов Джугдыр, Становой, Джелтулинский Становик, Соктахан, Тукурингра, Янкан, Чернышева, Турана, Эзоп, а также в пределах Верхнезейской и краевых частях Амуро-Зейской впадин. Наледи, в основном, ключевые, реже смешанные больших размеров. В низкогорье преобладают наледи смешанного и подземного питания средних и больших размеров. Наибольших размеров по площади достигают ключевые наледи, расположенные в поймах и на террасах. Наименьшими размерами обладают русловые речные и русловые ключевые наледи.

Довольно широким распространением в данных мерзлотных условиях пользуются наледи в пределах равнин, приуроченных к зонам тектонической водоносной трещиноватости фундамента. Наледи, в основном, ключевые, реже смешанные и речные. В пределах Верхнезейской равнины, несмотря на наличие многолетней мерзлоты, образование наледей происходит в меньшей степени. Наледи, в основном, русловые, речные, реже ключевые пойменные.

В пределах южной части Амурской области незначительная территория представлена террасированной равниной и днищами крупных водотоков (Амур, Зeya, Томь). Для этих районов развитие наледей не характерно, или они встречаются крайне редко (одна наледь на 100 км<sup>2</sup>). По типу формирования наледи относятся к русловым, реже – к ключевым и смешанным, преимущественно малых и средних размеров. В морфологическом отношении наледи приурочены к участкам русел и пойм. При этом наименьшие их площади отмечаются в руслах рек (до 0,1 км<sup>2</sup>). Наледи с максимальными размерами приурочены к участкам пойм и имеют площадь до 0,2 км<sup>2</sup>.

В зоне отсутствия многолетнемерзлых пород частота проявления наледей не превышает 0,18-0,21 на 100 км<sup>2</sup>. В первом случае их форма изометрична или слегка вытянута, во втором – длина во много раз превышает ширину, а конфигурация контролируется руслом реки. Размеры наледей при этом изменяются от 0,002 до 0,2 км<sup>2</sup>.

На территории Зейско-Буреинской равнины наледи проявлены на реке Бирма, на участках р. Зeya - Усть-Ивановка - Богородское, Коршуновка - Арсентьевка на р. Завитая, в Кивда - Райчихинском угольном бассейне.

Практически вся территория севера Амурской области (зона БАМ) охвачена наледями подземных и грунтовых вод, имеющими различные размеры и динамику. Значительная часть наледей выработала хорошо выраженные наледные поля.

Территория Амурской области характеризуется широким распространением такого экзогенного процесса как наледообразование, тесно связанного с распространением многолетнемерзлых пород (ММП) и пород глубокого сезонного промерзания [68].

Наледи причиняют материальный ущерб хозяйству, перекрывая и разрушая дороги, нарушая естественные откосы горных выработок, осложняя процессы строительства и добычи полезных ископаемых. Крупные наледи интенсивно воздействуют на рельеф.

Не опасны в отношении наледообразования и благоприятны для прокладки трасс при водораздельные участки, зоны сочленения долин и склонов водоразделов, склоны антиклинальных долин, борта моноклинальных долин с падением пластов в глубь склона, сухие склоны и террасы южной экспозиции, водотоки с глубокими узкими руслами, заросшими растительностью [70].

На территории Амурской области, в зависимости от ландшафтно-геоморфологических условий, типа и характера многолетней мерзлоты, широкое развитие получили процессы пучения, термокарста, солифлюкции и морозобойного трещинообразования.

**Термокарст** – это совокупность физико-геологических процессов и явлений, состоящие из таяния внутриземного льда, вытаивания ледяных включений и залежей, просадок и провалов горных пород с образованием отрицательных форм микро- и макрорельефа (западин, воронок, канав и других понижений). На территории области выделены все виды термокарстовых форм по условиям генерации: современные, древние, смешанные.

В среднегорье явления термокарста носят эпизодический характер. Они тяготеют, в основном, к днищам долин мелких и средних водотоков, пролювиально-делювиальным шлейфам у основания склонов. Наиболее широко термокарстовые процессы распространены в пределах Станового нагорья, хребтов Джугдыр, Тукурингра,

Янкан и других в зоне развития непрерывной мерзлоты. Представлены современными формами - сезонным термокарстом.

В области низкогогорья процессы термокарста развиты практически повсеместно и морфологически широко представлены. Обычно процессы протаивания тяготеют к заболоченным днищам долин как мелких, так и крупных водотоков, хотя нередко они фиксируются и на выположенных водораздельных поверхностях.

Верхнезейская впадина, северная и центральная части Амуро-Зейской и северная и восточная части Зейско-Буреинской равнин характеризуются слабым развитием термокарста. Проявление термокарста на этой равнине приурочено к плоским заболоченным водораздельным пространствам в пределах распространения плиоцен-нижне четвертичной формации.

На северной окраине Амуро-Зейской равнины термокарстовые просадки и озёра выполняют преимущественно слабо заболоченные днища долин рек. Южнее интенсивность процессов нарастает. Термокарстовые проявления фиксируются не только в пределах долин но и на уплощенных водораздельных поверхностях. В пределах Зейско-Буреинской равнины развитие термокарстовых процессов тяготеет к заболоченным долинам рек. Процесс устроен как реликтовыми, так и современными формами. Иногда термокарст начинает активизироваться на площадях старых гарей.

Наличие различных криолитозон в пределах территории области предопределяет и разнообразие форм проявления криогенных явлений. Ведущую роль среди них играет сезонное и многолетнее пучение, представленное соответственно сезонными и многолетними буграми пучения.

**Криогенное пучение** - это сложный комплекс процессов, вызванный, прежде всего, промерзанием грунта и включающий криогенную миграцию воды, её замерзание и образование льда, разуплотнение грунтового скелета, приводящий к увеличению его объёма, поднятию и деформации поверхности грунта.

Наиболее интенсивно пучение развивается в поймах рек, надпойменных террасах с близким залеганием уровня грунтовых вод. Это обуславливает сезонное пучение грунтов на заболоченных поймах и надпойменных террасах Верхнезейской, Амуро-Зейской и Зейско-Буреинской равнин, а также сильно увлажненных отложений и торфов в долинах рек, впадин и котловин низкогогорных хребтов Станового, Тукурингра, Джагды и других.

Процессы многолетнего пучения, выделенные в пределах Амурской области, подразделяются на два типа: формирующиеся при замерзании замкнутых систем, водоносных внутри мерзлотных таликов. В результате чего образуются инъекционные бугры пучения, формирующиеся по принципу открытой системы при промерзании дисперсных отложений, подстилаемых водоносными слоями, образующие миграционные бугры пучения. На территории Амурской области инъекционные бугры пучения зафиксированы на Верхнезейской равнине и среднегорной части хребтов Янкан и Тукурингра. Большее число миграционных бугров пучения тяготеет к заболоченным днищам речных долин на участках тыловых швов. К заторфованным участкам плоских водоразделов и первых надпойменных террас в зонах островного и редко островного развития многолетнемерзлых пород.

Процессы криогенного выпучивания (вымораживания) на территории области развиты на высоких водоразделах и вершинах хребтов, а также на участках тыловых швов долин. Процесс выпучивания на участках долин носит локальный характер развития.

**Солифлюкция** – это пластично-вязкое течение увлажненных сезонноталых грунтовых масс на склонах по мёрзлой поверхности основания.

Отмечается закономерность развития солифлюкции на склонах в зависимости от геокриологической обстановки во всех ландшафтах. В зоне сплошного и прерывистого

распространения мерзлоты солифлюкция тяготеет к склонам южной экспозиции, а в зоне островного распространения многолетнемерзлых пород – преимущественно к склонам северной экспозиции, где она получила незначительное развитие.

Широким развитием солифлюкции характеризуются области низкогорий и холмисто-увалистых равнин. Для среднегорья в пределах троговых долин, характерно развитие солифлюкции на делювиальных отложениях, приуроченных к верховьям рек.

На Верхнезейской равнине солифлюкционные процессы широко развиты в долинах рек. Солифлюкция здесь образует террасы с характерным фестончатым рисунком поверхности и гряды.

На северо-восточной оконечности Амуро-Зейской равнины делли тяготеют к бортам водотоков в верхних их течениях, по большей части веерообразные, приуроченные к нижним частям склонов.

В пределах Зейско-Буреинской равнины повсеместное распространение получили солифлюкционные делли, фиксирующиеся на фоне ведущих криогенных процессов, в первую очередь – пучения сезонного и многолетнего, затем термокарстовых просадок и реже полигональных форм. Делли типа плоскостного смыва развиты весьма незначительно и представлены в большинстве своем только в области восточной окраины Зейско-Буреинской равнины [63].

Процесс морозобойного трещинообразования, обусловленный преимущественно напряжением, возникающим в промерзающих влажных глинистых и торфяных грунтах, имеет ограниченное распространение.

Система морозобойных трещин формирует различные формы криогенного микро- и мезорельефа. Общим признаком наличия такого рельефа и морозобойного трещинообразования, является их полигональная форма, создаваемая сеткой трещин. Морозобойные трещины наиболее широко распространены на выровненных заболоченных участках пойм и надпойменных террас, пологих склонов водораздельных поверхностей в пределах Верхнезейской, Амуро-Зейской и Зейско-Буреинской равнин.

В пределах Верхнезейской равнины морозобойным трещинообразованием особенно поражена западная часть, где развитие процесса зафиксировано, в основном, по долинам рек.

Морозобойные трещины и связанный с ними полигональный рельеф также широко развиты в северной части Амуро-Зейской и северо-восточной части Зейско-Буреинской равнин, где полигональные формы микрорельефа развиты по долинам рек. Причем данные формы рельефа отмечены только в криолитозоне массивно-островной мерзлоты.

В зоне островной и редкоостровной мерзлоты в пределах Амуро-Зейской и Зейско-Буреинской равнин процесс морозобойного трещинообразования развит весьма слабо. Здесь поражены отдельные небольшие участки, разбитые полигональными трещинами. Границы участков тянутся параллельно руслам рек.

В провинции устойчивого сезонного промерзания пород процесс трещинообразования приурочен к выровненным, заболоченным участкам долин рек и водораздельных пространств.

В полигенетическую группу входят процессы, развитие которых обусловлено комплексом гравитационных и криогенных факторов. К таким процессам, развитым на территории Амурской области, имеющим сходный генезис, относятся курумы и каменные россыпи.

**Курумы** – проявление процессов склоновой денудации, выраженное в образовании различных по форме и размерам участков, сложенных с поверхности глыбами скальных пород и лишенных древесной растительности, на склонах крутизной меньше угла естественного откоса обломочного материала. Каменные россыпи тесно связаны с курумами не только генетически, но и пространственно. Часто каменные россыпи на склонах и водоразделах переходят в курумовые потоки изображенных на рисунке 1.15.



Рис. 1.15. Курумник на Становом хребте

Геоморфологическая приуроченность данных процессов в пределах Амурской области совпадает с зонами сплошного и прерывистого распространения многолетне-мёрзлых толщ.

Наиболее широко развиты процессы в среднегорье. В условиях расчленения рельефа процессы полигенетической группы заменяются гравитационными. В основном, процессы приурочены к пологим водораздельным участкам и к склонам южной и северо-западной, реже северо-восточной ориентировки.

В среднегорье курумы и каменные россыпи формируются в результате выветривания коренных пород, находящихся под чехлом рыхлых отложений, и последующего выпучивания обломков на поверхность и приурочены к зонам сплошного и прерывистого распространения многолетней мерзлоты. Обширные каменные моря занимают большие площади в пределах хребтов Джугдыр, Становой, Ям-Алинь, Тукурингра, Дыриндинские, Эзоп и других.

В низкогорных залесённых областях проявление процессов полигенетической группы носит эпизодический характер.

На территории Амурской области развиты **карстовые процессы**.

Основным необходимым условием развития карста является наличие карстующихся горных пород – известняков, доломитов, гипсов, что в первую очередь определяет территориальное распространение карстовых явлений.

В пределах Алдано-Станового щита они входят в состав архейских метаморфических формаций и представлены мраморами; в пределах Амуро-Охотской геосинклинальной складчатой системы в составе палеозойских метаморфических образований (мраморизованные известняки); на Буреинском массиве в пределах Амуро-Зейского плато в составе палеозойских карбонатных, терригенных карбонатных формаций (известняки, мраморизованные известняки). На Зейско-Буреинской равнине в районе с. Владимировка проявлены сухие долины. Распространение карста в пределах этих ре-

гионов локально и обширных закарстованных площадей не отмечено. Широкому развитию карста препятствует горный рельеф и наличие многолетней мерзлоты.

Наиболее широко развиты карстовые явления в Амуро-Зейской карстовой провинции. Платформенный геотектонический режим, равнинный рельеф, значительные площади распространения карстующихся пород, перекрытых маломощными рыхлыми образованиями, преобладающее выпадение осадков в летний период, умеренные геокриологические условия способствуют интенсивному развитию карста. В провинции выделено шесть карстовых участков: Соктаханский, Депский, Урканский, Октябрьский, Чагойанский и Амурский.

Октябрьский участок приурочен к выходам кембрийских мраморизованных известняков и девонских известняков карбонатной и терригенно-карбонатной формаций у поселка Октябрьский. Карст представлен суходолами и воронками диаметром до 30 м, глубиной до 3 м. Сведений о глубинных формах нет.

Чагойанский участок расположен в долине р. Зея у с. Чагойан и приурочен к крупному массиву кембрийских мраморизованных известняков карбонатной формации. Распространены воронки диаметром до 300 м и глубиной до 10 м. Скважинами зафиксированы карстовые пустоты на глубинах 40-50 м. Близ сел Калашниково, Аян и Кольцово известны девять пещер длиной до 10-20 м, приуроченные к береговым обрывам реки Зеи [68].

Амурский участок расположен в долине р. Амур у сел Смирновка и Нововоскресеновка, где в береговых обрывах обнажаются известняки девонской карбонатно-терригенной формации. Площадь распространения карстующихся пород незначительна, но в береговых обрывах здесь известно 6 пещер. Размеры полостей не превышают 20 м, все они в настоящее время находятся в затухающей стадии развития.

Депский участок приурочен к протяженным выходам известняков в составе девонской терригенной карбонатной формации, простирающимся вдоль подножия хребта Соктахан по северной окраине Амуро-Зейской равнины. На большей части территории отложения перекрыты значительным чехлом аллювиальных и делювиальных отложений и маломощными рыхлыми образованиями плиоцен-нижнечетвертичной формации. Здесь широко представлены формы подаллювиального карста, выражающегося в повсеместном распространении карстово-суффозионных воронок, суходолов, источников и многочисленных карстовых озёр. Отмечены также единичные карстовые лога. Процесс активен в настоящее время и развивается ниже уровня грунтовых вод.

На Урканском карстовом участке девонские известняки терригенно-карбонатной формации залегают под миоценовыми образованиями терригенной угленосной формации. Последние в долинах рек Сианчик, Уркан и Зея почти полностью денудированы. Карстующиеся породы, попадающие в зону интенсивного водообмена поддолинной циркуляции подземных вод, подвержены закарстованию.

Гравитационная группа объединяет процессы, ведущим фактором проявления которых является сила тяжести. Они реализуются в виде обвалов, осыпей. Важнейшим фактором развития данной группы процессов являются геоморфологические условия – наличие горного рельефа и его крутосклонность.

Горный рельеф, сложенный скальными и полускальными породами, занимает 60 % территории Амурской области. Крутые склоны распространены на бортах речных долин. Это обусловило почти повсеместное развитие процессов гравитационной группы, многообразие их форм, интенсивность проявления которых подчиняется высотно-геоморфологической зональности.

**Обвалы** проявляются в местах, где в породах заложена густая система трещин в период формирования складчатых структур или литогенеза, подновлённая неотектоническими, сейсмическими процессами и выветриванием, а также эрозией и антропогенными факторами. Обвалы характерны для высокогорий, где они приурочены к крутым

(35-90°) склонам каров, цирков, троговых долин и принимают участие в формировании коллювиальных шлейфов, рисунок 3.16, подножий склонов наравне с осыпями. Распространены в осевой части Станового хребта, в породах интрузивной и метаморфической формаций на абсолютных метках более 1500 м.

Характерными особенностями склоновых отложений являются их малая мощность (за исключением конусов осыпания), большая динамичность и значительная изменчивость гранулометрического состава и свойств, зависящая от морфологии склонов, литологии подстилающих пород и степени их выветрелости, климатической зональности. Мощность отложений увеличивается вниз по склону и может достигать у подножия нескольких метров.

Для склонов среднегорных и низкогорных, расположенных в подзонах средней и южной тайги, наиболее характерно развитие делювиально-коллювиальных отложений.



Рис. 1.16. Коллювиальный шлейф

Вещественный состав делювиально-коллювиальных отложений тесно взаимосвязан с климатом и литологией подстилающих пород. На песчаниках образуется щебень размером до 20 - 30 см, на конгломератах – до 15 - 30 см, на алевролитах – до 10 - 15 см. На крупнозернистых гранитах развита дресва с суглинком. Объем щебня и дресвы увеличивается с глубиной от 20 до 70 %. Заполнитель на юге в зоне хвойно-широколиственных лесов, где интенсивно развиты процессы химического выветривания, чаще монтмориллонитово-гидрослюдистый тяжелосуглинистый, на базальтах – глинистый. В зоне средней тайги преобладают гидрослюдистые средние суглинки, на

базальтах – тяжелые суглинки гидрослюдистого состава.

Для гранулометрического состава мелкозема характерно высокое содержание песчаной фракции (25-55 %) и низкое количество фракций менее 0,001 мм (до 10-15 %), в районе отрогов хр. Ям-Алинь – до 1-7 %. Пластичность глинистых пород обычно взаимосвязана с их минералогическим и гранулометрическим составом и колеблется от 6 до 22. С изменением климата изменяется естественная влажность. Объемная масса щебнистых горизонтов в среднем 1,95 г/см<sup>3</sup>, пористость уменьшается с глубиной от 48 до 29 % (коэффициент пористости соответственно 0,91 и 0,41).

В среднегорье и низкогорье обвалы проявляются в виде вывалов, рисунок 1.17, на крутых подмываемых бортах речных долин в скальных и полускальных породах.



Рис. 1.17. Вывал

На подрезанных склонах вдоль линейных сооружений (трасса БАМ, автодороги), в карьерах имеют место мелкие техногенные обвалы и вывалы местного характера.

**Осыпи** образуются при непрерывном сносе продуктов выветривания горных пород к основаниям достаточно крутых обнажений под действием силы тяжести. Осыпающийся материал формирует у подножий склонов осыпные шлейфы и конусы выносов. Осыпи широко распространены в высокогорных областях хребтов Станового и Джугдыра. Распространены они и на хребтах Джагды, Тукурингра, Джелтулинский Становик, южный Дырындинский, Чельбаус, а также на обнаженных обрывистых уступах.

Осыпи встречаются лишь на сравнительно небольших участках. Здесь наблюдаются чаще древние полужакрепленные и закрепленные осыпи, испытывающие очень медленное движение вниз по склонам.

У подножий увалов по периферии впадин, на пологих склонах гор (до 10 - 15°) развиты делювиальные отложения мощностью до 3-5 м, реже 10 м, часто образующие предгорные шлейфы. Представлены они супесями и суглинками с включением дресвы, щебня и глыб. Характерной особенностью их является высокое содержание пылеватых и глинистых фракций, отсутствие четкого уменьшения пористости с глубиной, невысокое сцепление.

В среднегорье осыпные процессы приурочены, в основном, к привершинным крутым участкам водоразделов и эрозионным склонам речных долин. На породах вулканогенных, интрузивных и метаморфических формаций преобладают крупноглыбовые осыпи, на образованиях терригенных формаций - щебенистые и мелкоглыбовые.

В области низкогогорья распространение осыпные процессы проявляются либо на эрозионных бортах речных долин, либо на техногенно подрезанных склонах, как показано на рисунке 1.18.

На формирование осыпей существенное влияние оказывают лесные пожары и техногенные факторы. Зачастую они ведут к образованию активных осыпей в низкогогорье и денудационно-цокольных равнинах, не представляющих осыпной опасности в естественных условиях.



Рис. 1.18. Осыпь вдоль дороги

**Оползни** всех видов и типов распространены в пределах Амуро-Зейской, Зейско-Буреинской (Буреинское Белогорье) [43] показаны на рисунке 1.19, и Верхнезейской равнин. Наиболее интенсивно они развиваются на Амуро-Зейском плато, главным образом, в олигоцен-миоценовых отложениях.

Оползни приурочены к породам песчано-алеврито-сланцевого состава, в меньшей степени – к рыхлым песчано-глинистым отложениям.



Рис. 1.19. Оползень «Буреинское Белогорье»

Большинство оползней на территории Амурской области недействующие, что подтверждается зарастанием растительностью, отсутствием тыловых западин и сглаженностью оползневых форм.

Современные оползни развиваются на склонах, опирающихся на пойму или непосредственно подмываются рекой показанных на рисунке 1.20.

Единичные оползни-блоки и оплывины имеют место на левом борту долины р. Амур от с. Джалинда до г. Благовещенск. Наиболее сильно оползнями поражены правобережья Зеи (от г. Свободного до г. Благовещенска), Селемджи, западное побережье Зейского водохранилища. Оползневые склоны с активными оползнями занимают значительные площади в долинах рек Бурунда, Ольга, Ульма, Буряя в местах залегания палеоген-неогеновых пород. Оползни в покровных и коренных отложениях отмечаются также по правобережью р. Тыгда и в долине р. Сиваки.



Рис. 1.20. Оползень на рыхлых породах, подмываемых рекой

На Амуро-Зейском плато крупные блоковые оползни глубокого заложения развиваются в нелитифицированных песчано-глинистых грунтах, чаще с захватом коренных пород. Особенно сильно такими оползнями поражен правый склон долины р. Зеи в районе Прядчино, Новотроицкое и другие.

Техногенные оползни различного типа, в основном, оплывины и сплывы, широко развиты на подрезанных склонах и откосах, выемках автомобильных и железных дорог. На многих участках древние оползневые склоны были нарушены техногенными нагрузками.

В результате активизировались стабилизировавшиеся оползни и возникали новые оползневые участки. Особенно активно природные и техногенные оползни воздействуют на линейные сооружения на правобережье р. Большая Пера на участке г. Шимановск - г. Свободный, на участках горнодобывающих работ, рисунок 1.21.



Рис. 1.21. Техногенные оползни в Райчихинском угольном бассейне

Горные районы Амурской области относятся к районам со значительной лавинной опасностью (хребты Становой, Джугдыр, Эзоп, северная часть хребта Турана) и со средней лавинной опасностью (хребты Джагды, Ям-Алинь, Тукурингра). Наибольшая лавинная опасность характерна для области высокогорья со следами горно-долинного оледенения. В осевых частях хребтов Станового, Джугдыра, Ям-Алиня, Джагды и Эзоп лавинные снежники зафиксированы практически во всех ледниковых цирках и часто на бортах троговых долин. Средняя лавинная опасность наблюдается в области среднегорного и низкогогорного расчленённого рельефа. Слабой лавинной опасностью характеризуются области низкогогорья с пологими формами водоразделов.

Сели в Амурской области имеют весьма ограниченное распространение. Самой селеопасной горной системой области, преимущественного развития водокаменных селей, является Становой хребет. Сели, в основном, водокаменные и занимают русла малых рек и временных водотоков, но в дальнейшем сливаясь образуют единые селеносные бассейны [68].

Сели водокаменного состава характерны также для хребтов Северный и Южный Дырындинский, Эзоп, Ям-Алинь. В низкогорье водокаменные потоки трансформируются в грязекаменные и вододревесногрязекаменные.

**Линейная эрозия** распространена на довольно крутых склонах (свыше  $30^\circ$ ), что приводит к формированию ложбин, борозд, рисунок 1.22. Способствуют эрозионным процессам ливневые дожди, наличие тектонически ослабленных зон в близко залегающих к поверхности скальных породах. На более пологих склонах (от  $10$  до  $30^\circ$ ) эрозионная сеть характеризуется значительной разветвленностью, так как возрастает мощность рыхлых, легкоразмываемых отложений.



Рис. 1.22. Линейная эрозия (п.Токур, Селемджинский район)

Интенсивность склоновых процессов зависит от высотно-геоморфологической зональности, литогенеза, неотектонических, сейсмических процессов и выветривания, а также эрозии и антропогенных факторов.

Большинство оползней, регистрируемых на территории Амурской области в настоящее время, относится к недействующим, рисунок 1.23. Это подтверждается значительной задернованностью, залесенностью нижних и средних частей склонов и над оползневых откосов, частым отсутствием тыловых западин и сглаженностью оползневых форм. Все зарегистрированные оползни современные, так как развиваются они на склонах, опирающихся на пойму или непосредственно подмываются рекой [89].

По своей природе образование **лави**н относятся к процессам гравитационной группы и обусловлены сочетанием метеорологических и геоморфологических факторов.

Горные районы Амурской области относятся к районам со значительной лавинной опасностью (хребты Становой, Джугдыр, Эзоп, северная часть хребта Турана) и со средней лавинной опасностью (хребты Джагды, Ям-Алинь, Тукурингра).

Наибольшая лавинная опасность характерна для области высокогорья со следами горно-долинного оледенения. В осевых частях хребтов Станового, Джугдыра, Ям-Алиня, Джагды и Эзоба лавинные снежники зафиксированы практически во всех ледниковых цирках и часто на бортах троговых долин.

Средняя лавинная опасность наблюдается в области среднегорного и низкогорного расчленённого рельефа. Слабой лавинной опасностью характеризуются области низкогорья с пологими формами водоразделов.

**Эоловые процессы**, основным фактором которого является ветровая эрозия (дефляция, корразия) и наличие тонкодисперсных отложений, представлены раздувами на рыхлых песчаных отложениях в долине р.Зей в среднем и нижнем её течении и не имеют значительного влияния на рельефообразование из-за незначительного распространения.

В заключении добавим, что в Приамурье эндогенные процессы представлены сейсмичностью, продолжающееся движение литосферных плит обуславливает повышенную сейсмичность северных районов области, которые активно влияют на темпы развития экзогенных геологических процессов. В горных районах активизируются гравитационные процессы с образованием осыпей, обвалов, селей и оползней. В условиях многолетней мерзлоты происходит нарушение термического режима, что приводит к её деградации и способствует активизации солифлюкции и развития термокарста.

Наличие различных криолитозон в пределах территории области предопределяет и разнообразие форм проявления криогенных явлений. Широко развиты на подрезанных склонах и откосах, выемках автомобильных и железных дорог техногенные оползни различного типа. На многих участках древние оползневые склоны были нарушены техногенными нагрузками.

Под влиянием водохранилища меняются инженерно-экологические, мерзлотно-гидрогеологические условия и в целом формируется неблагоприятная геоэкологическая обстановка.

## ГЛАВА 2 БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО С МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ

Повышение эффективности и качества бетона и железобетона, являющихся основой современного индустриального строительства, требует непрерывного совершенствования технологии бетона в направлении экономии материальных и топливно-энергетических ресурсов, наиболее полного использования местных материалов, в том числе отходов производства.

Среди многочисленных отходов производств наибольший интерес представляет использование золошлаковых отходов, золы-уноса ТЭЦ и различных природных минеральных добавок, обладающих различной гидравлической активностью. Эффективность применения бетонов на золоцементном вяжущем (ЗЦВ) может быть повышена за счет введения химических добавок, обладающих воздухововлекающим, пластифицирующим и ускоряющим твердение бетона действиями.

Для получения композиционного вяжущего (КВ) рекомендуют совместный помол цемента, минерального наполнителя и добавки (Волженский А.В., Попов Л.Н. [16, 74]) при изготовлении смешанных цементов рекомендуют повторный помол портландцементов с минеральными добавками, что способствует получению высокопрочных смешанных цементов.

Планы развития атомной и космической отрасли России, включая решение задач по инженерной защите персонала, населения, оборудования, зданий и сооружений для отраслей промышленности, повысили актуальность исследований, направленных на создание радиационно-защитных строительных материалов с возможностью регулирования их структуры и свойств. Исследования проведены по применению золошлаковых отходов БТЭЦ, цеолитов, серы в производстве тяжелых мелкозернистых и легких бетонов на их основе. Проведены исследования по определению теплотехнических, механических, электрических свойств бетонов.

### 2.1 Исследование напряженно деформированного состояния бетона с минеральными добавками как затвердевающей среды с позиции статики затвердевающих сред

Для исследования физических свойств бетонов, приготовленных на основе минеральных сырьевых добавок таких, как золошлаковые отходы (ЗШО), зола – унос (З-У), цеолитовые породы, сера, применимы положения деформационных теорий пластичности, характеризующих затвердевающую среду.

Затвердевающие среды, к которым относятся цеолитовые, зольные и золошлаковые композиты (бетоны и др.) составляют самостоятельный класс сплошных сред. Свойства затвердевания присущи бетонным смесям вследствие физико-химических особенностей вяжущих компонентов и конструктивных особенностей системы.

Напряженное состояние бетонов – затвердевших сред, характеризуются интенсивностью касательных напряжений  $\tau$  и величиной среднего нормального напряжения  $\sigma$ , определяемыми выражениями (2.1, 2.2)

$$\tau = 0,4 \cdot \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6 \cdot (\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (2.1)$$

$$\sigma = \frac{1}{3} \cdot (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) \quad (2.2)$$

Бетоны представляют собой идеальные затвердевающие среды, для которых объемную деформацию принимают равной 0, т.е.  $\Theta = 0$ .

В процессе топохимических реакций при твердении бетонных смесей и трансформации в твердое состояние, бетоны как затвердевшие среды проходят следующие этапы, которые можно рассматривать как

– идеальную упруго-затвердевшую среду, характер которой приведен на рисунке 2.1;

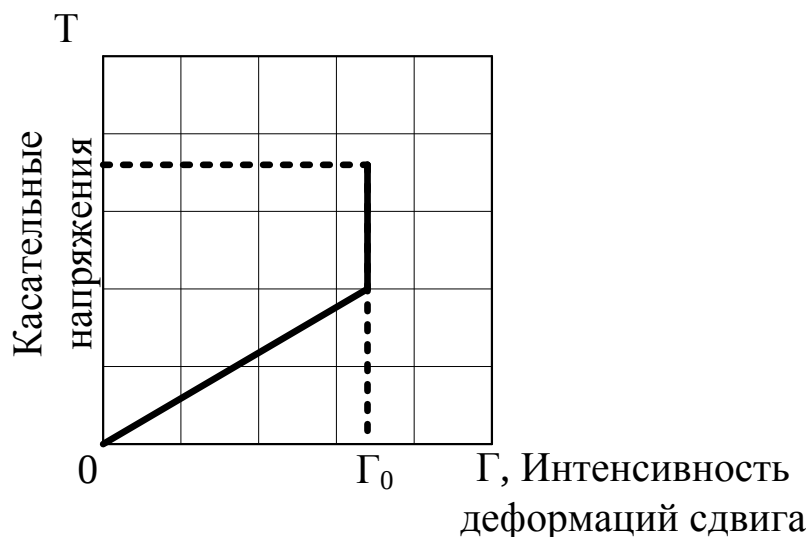


Рис. 2.1. Зависимость напряжений от деформаций для идеальной упруго-затвердевающей среды бетонов

– идеальную пластически - затвердевшую среду, приведенную на рисунке 2.2;

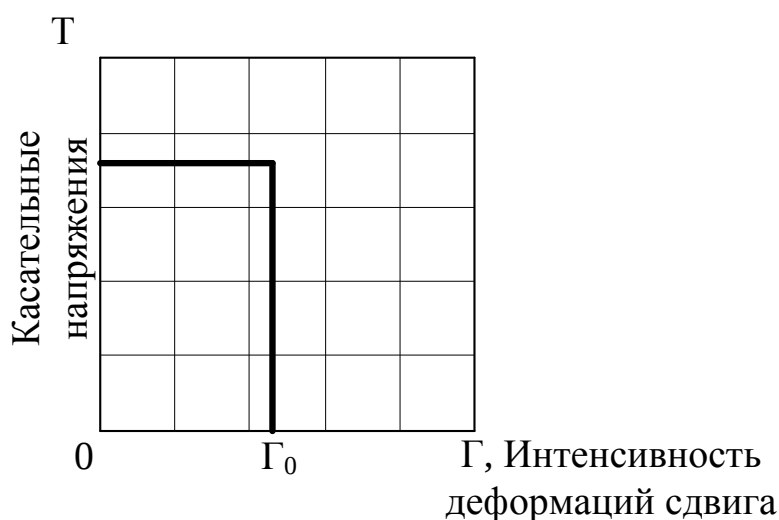


Рис.2.21. Зависимость напряжений от деформаций для идеальной пластически-затвердевающей среды бетонов

Предельная интенсивность деформаций сдвига  $\Gamma_0$  является важной физической константой. Принимаем, что бетоны обладают конечной прочностью, характеризующейся предельным значением интенсивности касательных напряжений при  $\tau = \tau_0$ . Рассмотрим поведение бетона в возрасте 28 суток естественного твердения. Из зависимости  $\sigma - \varepsilon$  при сжатии бетонных образцов, как показано на рисунке 2.3, видно, что в начальной стадии деформирования образцов напряжения бетонов без минеральных добавок (контрольные образцы) значительно ниже.

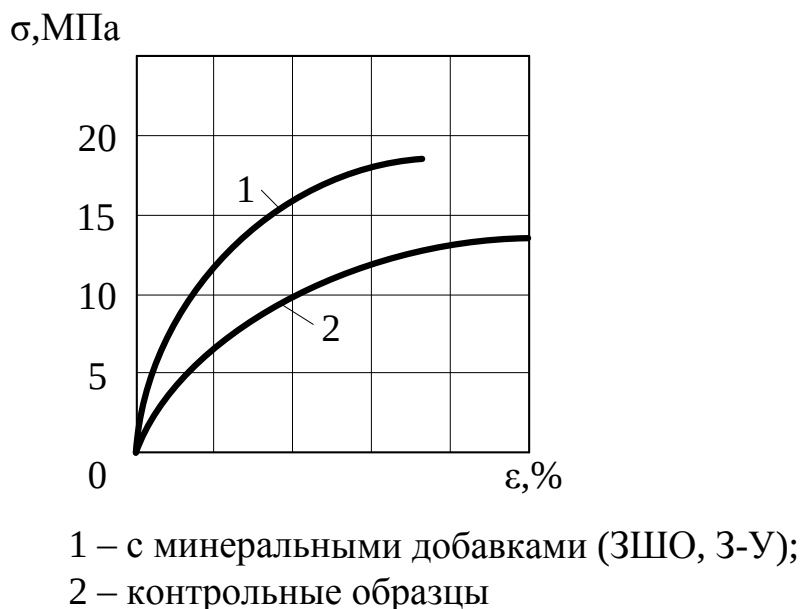


Рис. 2.3. Зависимость деформаций  $\sigma - \varepsilon$  бетонных образцов с минеральными добавками и без добавок

Так, бетонная смесь, представляющая пластически-затвердевшую среду при воздействии на нее диффузии, в начальной стадии деформирования воспринимает гидростатическое давление, и напряжения при достижении величин относительных деформаций усадки к моменту времени  $t$ , равных  $\varepsilon_{sh}(t)$ .

Для исследования физических свойств бетонов (пластично-затвердевающих сред), в том числе приготовленных с минеральными добавками, важное значение имеет определение действительных напряженно-деформированных состояний образцов, а также предельных деформаций и перемещений.

Бетонная смесь в различные периоды времени, существования переходит из пластического состояния в затвердевшую среду.

При этом в такой твердеющей системе проявляются кинематически и статически возможные состояния. Кинематически возможное состояние твердеющих бетонных смесей соответствует состояниям, которые удовлетворяют условиям затвердевания. Статически возможные состояния твердеющей бетонной смеси соответствуют состояниям, которые удовлетворяют уравнениям равновесия и граничным условиям по напряжениям. Отсюда следует, что при затвердевании бетонной смеси (при переходе ее из пластического состояния в твердое), условие пластичности заменяется условием затвердевания и переходит из критериев статически возможных в критерии кинематически возможных состояний.

Для бетонов, в том числе бетонов с минеральными добавками (ЗШО, зола-уноса, цеолитовые породы), свойства затвердевания проявляются благодаря физическим характеристикам составляющих бетона.

Рассмотрим пространственную задачу равновесия пластически затвердевающей бетонной смеси. Система разрешающих уравнений для данной области бетонной смеси, в которой произошло затвердевание, имеет значение  $T \neq 0$ ,  $\Gamma = \Gamma_0$ . Пластически затвердевающую среду (бетонную смесь) можно рассматривать как один из предельных случаев нелинейно-упругой среды, для определения действительного поля напряжений которой можно использовать экстремальный принцип [66, 67].

Для статически возможных напряженных состояний действительное поле соответствует минимуму полной дополнительной работы  $R$  внутренних сил в рассматриваемой области среды. Для пластически затвердевающей бетонной смеси применимо выражение

$$\min R = \min_V \left( \int_V \Gamma \cdot dT \right) \cdot dV = \Gamma_0 \cdot \min_V \int_V T \cdot dT \quad (2.3)$$

Отсюда следует, что задача определения действительного поля напряжений заключается в минимизации интенсивности касательных напряжений.

Для нахождения условного экстремума  $\tau$ , полагаем:

$$F^* = F + \lambda_x \cdot G_x + \lambda_y \cdot G_y + \lambda_z \cdot G_z, \quad (2.4)$$

где  $F = \tau$ ,

$$\begin{aligned} G_x &= \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = 0; \\ G_y &= \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} = 0; \\ G_z &= \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = 0, \end{aligned} \quad (2.5)$$

где левые части уравнений равновесия (2.4, 2.5) являются неголономными связями для работы внутренних сил  $R$ ;

$\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$  - множители Лагранжа.

Решив систему уравнений Остроградского-Эйлера [94], имеем в развернутой форме:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \lambda_x}{\partial x} - \frac{1}{3T} \cdot [\sigma_x - \frac{1}{2}(\sigma_y + \sigma_z)] &= 0; \\ \frac{\partial \lambda_x}{\partial y} - \frac{1}{3T} \cdot [\sigma_y - \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_z)] &= 0; \\ \frac{\partial \lambda_x}{\partial z} - \frac{1}{3T} \cdot [\sigma_z - \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y)] &= 0; \\ \frac{\partial \lambda_y}{\partial x} + \frac{\partial \lambda_x}{\partial y} - \frac{\tau_{xy}}{T} &= 0; \\ \frac{\partial \lambda_x}{\partial y} + \frac{\partial \lambda_y}{\partial x} - \frac{\tau_{yx}}{T} &= 0; \\ \frac{\partial \lambda_z}{\partial y} + \frac{\partial \lambda_y}{\partial z} - \frac{\tau_{yz}}{T} &= 0 \end{aligned} \quad (2.6)$$

Уравнения (2.4, 2.5) имеют замкнутую систему девяти уравнений для девяти неизвестных функций:  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}, \lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$ .

Из физического смысла следует, что множители Лагранжа  $\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$  представляют собой приведенные значений перемещений компонентов составляющих бетонную смесь:

$$\lambda_x = \frac{u_x}{\Gamma_0}; \lambda_y = \frac{u_y}{\Gamma_0}; \lambda_z = \frac{u_z}{\Gamma_0} \quad (2.7)$$

Из выражения (2.7) следует, что решение для пластически-затвердевающей бетонной смеси в напряжениях не зависит от предельных интенсивностей деформаций сдвига  $\Gamma_0$  и справедливо при  $\Gamma_0 = 0$  для полнотвердевающей бетонной смеси, то есть для такой структуры бетона справедливо условие:  $\lambda_x \neq 0; \lambda_y \neq 0; \lambda_z \neq 0$ , перемещения  $u_x; u_y; u_z$  тождественно равны нулю.

Рассмотрим плоскую деформацию пластически-затвердевающей бетонной смеси, для которой интенсивность касательных напряжений  $T(\tau)$  совпадает со значением главного касательного напряжения  $\tau$ , равным:

$$\tau = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2}{4} + \tau_{xy}^2} \quad (2.8)$$

Из выражения (2.8) следует, что для случая плоской деформации действительное поле напряжений соответствует минимуму функционала:

$$\int_S \tau \cdot ds \quad (2.9)$$

Тогда,

$$F = \tau + \lambda_x \cdot G_x + \lambda_y \cdot G_y, \quad (2.10)$$

где

$$\begin{aligned} F &= \tau; \\ G_x &= \frac{\partial \tau_x}{\partial x} \cdot \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0; \\ G_y &= \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial y} = 0 \end{aligned} \quad (2.11)$$

Определим:

$$\begin{aligned} F \cdot \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} &= \lambda_x; F \cdot \frac{\partial \sigma_y}{\partial x} = 0; F \cdot \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} = \lambda_y; \\ F \cdot \frac{\partial \sigma_x}{\partial y} &= 0; F \cdot \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = \lambda_y; F \cdot \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = \lambda_x; \\ F \cdot \sigma_x &= \frac{(\sigma_x - \sigma_y)}{4\tau} = \frac{\cos 2\Theta}{2}; \\ F \cdot \sigma_y &= -\frac{(\sigma_x - \sigma_y)}{4\tau} = -\frac{\cos 2\Theta}{2}; \\ F \cdot \tau_{xy} &= \frac{\tau_{xy}}{\tau} = \sin 2\Theta, \end{aligned} \quad (2.12)$$

где  $\Theta$  - угол между осью абсцисс (x) и направлением большего главного напряжения  $\sigma_1$ .

Отсюда система трех уравнений Остроградского-Эйлера в развернутой форме имеет вид:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \lambda_x}{\partial x} - \frac{(\sigma_x - \sigma_y)}{4\tau} &= 0; \\
\frac{\partial \lambda_y}{\partial y} - \frac{(\sigma_y - \sigma_x)}{4\tau} &= 0; \\
\frac{\partial \lambda_y}{\partial x} + \frac{\partial \lambda_x}{\partial y} - \frac{\tau_{xy}}{\tau} &= 0
\end{aligned} \tag{2.13}$$

Из уравнений (2.12) следует, что их правые части представляют собой деформации изотропной затвердевающей бетонной смеси.

Из выражения (2.13), следует, что функции  $\lambda_x, \lambda_y$  представляют собой приведенные значения перемещений:

$$\lambda_x = \frac{u_x}{\Gamma_0}; \lambda_y = \frac{u_y}{\Gamma_0} \tag{2.14}$$

Для уравнений (2.12-2.14) справедливы выражения

$$\lambda_z = 0; \tau_{yz} = \tau_{zx} = 0; \sigma_z = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}; T = \tau.$$

В выражении (2.13) заменим  $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$  через одну переменную  $\Theta$ , дифференцируем, получим дифференциальное уравнение вида:

$$\frac{\partial^2}{\partial y^2} \cdot (\cos 2\Theta) - \frac{\partial^2}{\partial x^2} \cdot (\cos 2\Theta) = 2 \frac{\partial^2}{\partial x \cdot \partial y} \cdot (\sin 2\Theta) \tag{2.15}$$

Отсюда следует, что физический смысл инвариантного к преобразованию координат уравнения (2.15) состоит в определении ограничений, накладываемых на функцию  $\Theta$  условием неразрывности деформаций.

В развернутой форме уравнение (2.15) имеет вид:

$$\begin{aligned}
&\frac{\partial^2 \Theta}{\partial y^2} \sin 2\Theta + 2 \frac{\partial^2 \Theta}{\partial x \partial y} \cos 2\Theta - \frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2} \sin 2\Theta = \\
&= 2 \left[ \left( \frac{\partial \Theta}{\partial x} \right)^2 \cos 2\Theta + 2 \left( \frac{\partial \Theta}{\partial x} \right) \left( \frac{\partial \Theta}{\partial y} \right) \sin 2\Theta - \left( \frac{\partial \Theta}{\partial y} \right)^2 \cos 2\Theta \right]
\end{aligned} \tag{2.16}$$

Уравнение (2.16) является нелинейным дифференциальным уравнением второго порядка гиперболического типа относительно функции  $\Theta$ , определяющим траекторию главных нормальных напряжений для затвердевающего бетона.

Из уравнения (2.16) определим характеристики:

– первое семейство  $\alpha$ -линии:

$$dy = dx \cdot \operatorname{tg} \Theta, \tag{2.17}$$

– второе семейство  $\beta$ -линии:

$$dy = -dx \cdot \operatorname{ctg} \Theta, \tag{2.18}$$

где  $\beta = \beta(x, y) = \operatorname{const}; \alpha = \alpha(x, y) = \operatorname{const}$ .

Первое семейство характеристик имеет направление аналогичное траекториям  $\sigma_1$ , второе семейство – направление по траекториям  $\sigma_2$ . Введем обозначения  $H_1$  и  $H_2$ , как коэффициенты Ламе ортогональной системы координат, совпадающей с  $\alpha$ - и  $\beta$ -линиями.

Уравнение (2.16) в канонической форме с учетом соотношений:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \alpha} = -\frac{1}{H_2} \cdot \frac{\partial H_1}{\partial \beta}; \frac{\partial \Theta}{\partial \beta} = \frac{1}{H_1} \cdot \frac{\partial H_2}{\partial \alpha}, \quad (2.19)$$

имеет вид:

$$\frac{\partial^2 \Theta}{\partial \alpha \cdot \partial \beta} = 0 \quad (2.20)$$

Решение уравнения (2.20) имеет вид:

$$\Theta = \frac{\xi(\beta)}{2} - \frac{\eta(\alpha)}{1} + const \quad (2.21)$$

Тогда, уравнение равновесия (2.11) относительно главных напряжений имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \sigma_1}{\partial x} \cdot \cos \Theta + \sin \Theta \cdot \frac{\partial^2 \sigma_1}{\partial y} - (\sigma_1 - \sigma_2) \cdot \left( \frac{\partial \Theta}{\partial x} \cdot \sin \Theta - \cos \Theta \cdot \frac{\partial \Theta}{\partial y} \right) &= 0; \\ \frac{\partial^2 \sigma_2}{\partial x} \cdot \sin \Theta - \cos \Theta \cdot \frac{\partial^2 \sigma_2}{\partial y} - (\sigma_1 - \sigma_2) \cdot \left( \frac{\partial \Theta}{\partial x} \cdot \cos \Theta + \sin \Theta \cdot \frac{\partial \Theta}{\partial y} \right) &= 0. \end{aligned} \quad (2.22)$$

Выражение (2.22) представляет собой систему двух квазилинейных дифференциальных уравнений первого порядка относительно двух неизвестных функций  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ ,  $\Theta$  - является известной функцией.

Каноническая форма системы (2.22) имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_1}{\partial \alpha} + (\sigma_1 - \sigma_2) \cdot \frac{\partial \ln H_2}{\partial \alpha} &= 0; \\ \frac{\partial \sigma_2}{\partial \beta} + (\sigma_2 - \sigma_1) \cdot \frac{\partial \ln H_2}{\partial \beta} &= 0 \end{aligned} \quad (2.23)$$

Отсюда следует, что плоская деформация пластически затвердевшей бетонной смеси является задачей кинематически определимой. Так, для определения двух неизвестных функций -  $u_x$  и  $u_y$  применимы системы двух уравнений:

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} = 0; \quad (2.24)$$

$$\left( \frac{\partial u_x}{\partial x} - \frac{\partial u_y}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right)^2 = \Gamma_0^2 \quad (2.25)$$

Уравнение (2.24) является уравнением несжимаемости, уравнение (2.25) – условием затвердевания бетонной смеси.

Введем функцию  $\Phi$  тождественно удовлетворяющую уравнению (2.24):

$$u_x = \frac{\partial \Phi}{\partial y}; u_y = -\frac{\partial \Phi}{\partial x} \quad (2.26)$$

Приведем уравнение (2.25):

$$\left( \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \right)^2 + 4 \cdot \left( \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} \right)^2 = \Gamma_0^2, \quad (2.27)$$

где  $\Gamma_0$  – предельные касательные напряжения;

$\Phi$  – модуль пластичности, зависит от  $\sigma_i, T$ , т.е.  $\Phi = \Phi(\sigma_i, T)$ .

Отсюда следует, что уравнение (2.27) аналогично разрешающим дифференциальным уравнениям статически определимой плоской задачи идеальной жесткопластичной среды, имеют вид:

$$\begin{aligned} (\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2 &= 4\tau_s^2; \\ \sigma_x &= \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}; \sigma_y = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}; \tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \cdot \partial y} \end{aligned} \quad (2.28)$$

Из уравнения (2.28) следует:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + 4 \cdot \left( \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \cdot \partial y} \right)^2 = 4\tau_s^2 \quad (2.29)$$

Для пластически-затвердевающей бетонной смеси деформации определяются как:

$$\varepsilon_x = -\varepsilon_y = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \cdot \partial y}; \gamma_{xy} = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \quad (2.30)$$

Из уравнений (2.29, 2.30) следует, что компонентами деформированного состояния пластически-затвердевающей среды (бетонные смеси) и компоненты напряженного состояния жесткопластичной среды (переход бетонной смеси из пластического состояния в твердое тело) имеют место соотношения:

$$\begin{aligned} \frac{\varepsilon}{\Gamma_0} &= -\frac{\varepsilon_x}{\Gamma_0} \approx \frac{\tau_{xy}}{2\tau_s}; \\ \frac{\gamma_{xy}}{\Gamma_0} &\square \frac{(\sigma_x - \sigma_y)}{2\tau_s} \end{aligned} \quad (2.31)$$

Выводы: уравнение (2.31) позволяет определить деформации и перемещения в пластически-затвердевающих средах, которым соответствуют бетонные смеси.

Расчет строительных конструкций из бетона и железобетона имеет свои особенности. Так, решение задачи Прандтля о действии равномерно-распределённой нагрузки на бетонную смесь в разное время воздействия позволяет определить деформации и перемещения в пластически-затвердевшей среде при действии касательных напряжений,

– в пластической среде системы:

$$\sigma_y = -2\tau_s \left(1 + \frac{\pi}{2}\right); \sigma_x = -\pi\tau_s; \tau_{xy} = 0;$$

– в затвердевшей среде:

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0; \gamma_{xy} = \Gamma_0$$

Для областей скольжения:

– в пластической среде:

$$\sigma_y = 0; \sigma_x = -2\tau_s; \tau_{xy} = 0;$$

– в затвердевшей среде:

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0; |\gamma_{xy}| = \Gamma_0.$$

В работах [94, 22, 42] показано, что для определения предельных перемещений в пространственной и плоской задачах пластически-затвердевшие среды (бетонные смеси) возможно использование приближенных методов, позволяющих получать верхнюю и нижнюю оценки предельных значений  $u_x, u_y, u_z$ . Аналогично жесткопластическим средам приближенные методы основываются на применении кинематически и статически возможных состояний системы. Способы исследования состояний системы называют кинематическим и статическим методом.

Так, для пластически-затвердевающей среды истинное предельное перемещение системы является максимальным из перемещений всех кинематически возможных состояний, а истинные предельные перемещения системы являются минимальным из перемещений всех статически возможных напряженных состояний.

Таким образом, для пластически-затвердевающей среды кинематический метод дает нижнюю оценку предельного перемещения, статический метод – верхнюю оценку.

Отсюда следует, что для жесткопластичной среды и пластически-затвердевшей бетонной смеси метод предельного фактора позволяет получить нижнюю оценку напряженного состояния.

Так, расчет статически определяемых конструкций из пластически-затвердевающих бетонных смесей сводится к определению усилий и перемещений в узлах системы. В статически неопределимых конструкциях перемещения узлов не являются постоянными величинами, а изменяются с увеличением интенсивности нагрузки.

Для затвердевших бетонов в конструкциях действующую внешнюю нагрузку на них можно определить прямым методом.

Рассмотрим задачу статики затвердевающих сред – твердение бетона, при изготовлении на длинном стенде (100м) плит безопалубочного формования, которая характеризуется возникновением больших напряжений в точках контакта уплотняющих валиков с бетонной смесью.

На бетонную смесь действует равномерно распределенная нагрузка  $q_0$  по контуру круглого вала в неограниченной пластически-затвердевшей бетонной смеси в предположении плоской деформации среды. Механической моделью для решения является кольцо радиусом  $z_0 \left(1 + \frac{U_0}{2}\right)$ , нагруженное внутренним давлением  $q_0$ . Данная задача является одномерной.

Из рисунка 2.4 следует соотношение:

$$\varepsilon_r = \frac{dU_r}{dr}; \varepsilon_\varphi = \frac{U_r}{r}; \varepsilon_z = 0, \quad (2.32)$$

$$\frac{dU_r}{dr} + \frac{U_r}{r} = 0; U_r = U_r^0 \frac{r_0}{r}, \quad (2.33)$$

$$\varepsilon_r = -\varepsilon_\varphi = -U_r^0 \frac{r_0}{r} = \frac{\Gamma_0}{2}, \quad (2.34)$$

отсюда следует:

$$U_r^0 = \frac{\Gamma_0 \cdot r_0}{2}, \quad (2.35)$$

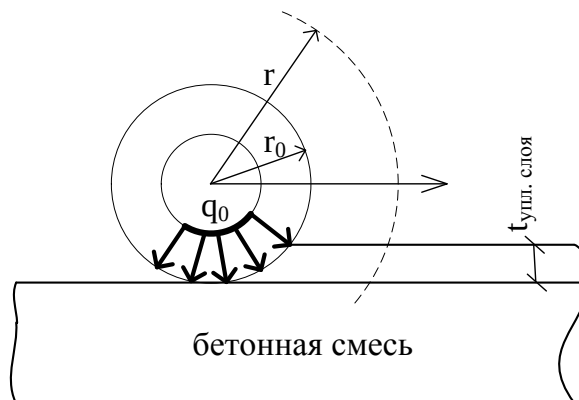


Рис. 2.4. Действие уплотняющего валика на бетонную смесь

При достижении величиной  $U_r^0$  предельного значения, интенсивность деформаций сдвига на линии контура трамбуемого валика достигает значения  $\Gamma_0$  и наступает затвердевание бетонной смеси при соблюдении условий  $r = r_0$  и  $\Gamma = \Gamma_0$   $r = r_0 - \Gamma = \Gamma_0$ , при  $r > r_0$  и  $\Gamma < \Gamma_0$   $r > r_0 - \Gamma < \Gamma_0$ .

Отсюда следует, что при  $r > r_0$ ,  $T = 0$  и деформации бетонной смеси остаются постоянными.

Условия равновесия и граничные условия на контуре валика  $r = r_0$  имеют вид:

$$npu \ r=r_0; \sigma_r=-q_0; \sigma_\phi=\infty, \quad (2.36)$$

$$\text{npu } r > r_0; \sigma_r = \sigma_\varphi = 0, \quad (2.37)$$

Характер распределения в бетонной смеси при действии уплотняющих валиков описывается уравнениями (2.36, 2.37) при переходе из пластически-затвердевающей в абсолютно-затвердевающей среду (состояние), при достижении условия,  $G_0 \rightarrow 0$ .

При достижении в бетоне предельных напряжений происходит разрушение образца, и предельную нагрузку можно определить точными или приближенными методами. В основе метода приближенной оценки несущей способности для бетонов справедливы методы статики абсолютно-затвердевающей среды.

Для бетонных смесей, представляющих жестко пластичную среду, условие  $T = \tau_s$  приводит для истинного поля перемещений к минимизации функционала от  $\Gamma$  по всему объему бетонного образца за счет концентрации величины  $\Gamma$  в наиболее напряженных сечениях.

## 2.2 Характеристики материалов для бетонов с минеральными добавками предприятий Амурской области

В качестве вяжущего использовался портландцемент марки ПЦ 400-Д0 и ПЦ 400-Д20 по ГОСТ 10178-85, что соответствует марке ЦЕМ I 32,5Б и ЦЕМ II/А-П 32,5Б по ГОСТ 31108-2016 «Цементы общестроительные. Технические условия» Теплоозерского цементного завода (табл.2.1).

Таблица 2.1

| Характеристики портландцемента                                              |                  |                                |                                |                          |                                     |                       |        |                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-----------------------|--------|------------------------------------------------------------|
| Химический состав                                                           |                  |                                |                                |                          |                                     |                       |        |                                                            |
| Оксиды<br>Кол-во                                                            | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO                      | MgO                                 | SO <sub>3</sub>       | п.п.п. | R <sub>2</sub> O<br>(Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O) |
| -                                                                           | 22,7             | 6,4                            | 3,62                           | 54,61                    | 1,17                                | 0,03                  | 7,62   | 0,64                                                       |
| Минералогический состав                                                     |                  |                                |                                |                          |                                     |                       |        |                                                            |
| Содержание клинкерных минералов, %                                          |                  |                                |                                | Щёло-<br>чи, %           | Содержание<br>гипса SO <sub>3</sub> | Содержание<br>АМД*, % |        |                                                            |
| C <sub>3</sub> S                                                            | C <sub>2</sub> S | C <sub>3</sub> A               | C <sub>4</sub> AF              |                          |                                     |                       |        |                                                            |
| 67,5                                                                        | 15,8             | 7,1                            | 16,4                           | 0,64                     | До 5                                | До 15                 |        |                                                            |
| *АМД – активные минеральные добавки                                         |                  |                                |                                |                          |                                     |                       |        |                                                            |
| Физико-технические свойства                                                 |                  |                                |                                |                          |                                     |                       |        |                                                            |
| Удельная поверх-<br>ность, см <sup>2</sup> /г                               |                  | НГ* , %                        |                                | Сроки схватывания, ч-мин |                                     |                       |        |                                                            |
|                                                                             |                  |                                |                                | начало                   |                                     | Конец                 |        |                                                            |
| 2700±200                                                                    |                  | 27-29                          |                                | 2-10                     |                                     | 4-55                  |        |                                                            |
| *НГ- нормальная густота цементного теста при стандартном способе уплотнения |                  |                                |                                |                          |                                     |                       |        |                                                            |

Портландцемент характеризуется остатком на сите №008 – 15,6 %, и активностью цемента – 41,7 МПа.

В качестве минеральных добавок исследовали золу-уноса от сжигания бурых углей ТЭЦ г. Благовещенска (табл. 2.2), цеолиты Куликовского месторождения (табл. 2.3), соответствующие требованиям ГОСТ Р 56592-2015 «Добавки минеральные для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия» и ГОСТ 25818-91 «Золы-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия».

Современные разработки технологий изготовления качественных и современных стройматериалов с применением в качестве исходного сырья многотонных отходов промышленного производства (зола уноса ТЭС и шлаки) позволяют использовать золу для получения таких стройматериалов как:

**Ячеистый бетон или пенобетон.** Использование золы в технологии изготовления пенобетона позволяет улучшить агрегативную устойчивость смесей в промежутке с самого начала и до полного схватывания цементного теста. Благодаря этому предотвращается диффузия компонентов в пространстве из-за гравитационных сил и негативное влияние на образование структуры. Второй положительный момент – мелкодисперсный состав. Он способствует генерированию плотной упаковки частичек в межпоровой перегородке ячеистого бетона. Если такого явления нет, то первичные продукты гидратации приобретут гелеобразное состояние. При их высыхании начнут появляться усадочные явления. Образующая перегородка будет отличаться низкой прочностью, что приведет к резкому падению прочностных показателей пенобетона. Разработанная технология с добавлением модифицирующих добавок и специальное оборудование позволяют изготавливать мелкие изделия на базе неавтоклавного пенобетона согласно ГОСТ с большой ( $\geq 30\%$ ) экономией цемента.

**Улучшение характеристик тяжелых бетонов с помощью золы-уноса.** Зола может применяться для производства сборных и монолитных ЖБ конструкций. Это позволяет управлять структурообразованием, подвижностью и жизнеспособностью, скоростью твердения и прочностью бетонной смеси. Эффективность применения золы в равной степени зависит от показателей исходного сырья (цемента и золы) и правильного подхода к определению путей ее использования. Технологии компании позволяют применять золу в 3 направлениях:

- добавка вместо части цемента;
- зола вместо части песка;
- самостоятельный компонент.

**Производство керамзитобетона (легкий бетон).** Основное требование к технологии производства легких бетонов состоит в обеспечении плотной структуры. Удовлетворение данного условия обеспечивается содержанием в керамзитобетонной смеси фракции до 1,2 мм на уровне 40 %, в песчаной фракции порядка половины частиц должны быть менее 0,15 мм. Современные керамзитовые заводы не выпускают керамзитовый песок, и это приводит к тому, что многие заводы «грешат» добавлением обычного песка в конструкционно-теплоизоляционный керамзитобетон. В качестве эффективного заменителя в легких бетонах служит зола, которую можно полностью или частично использовать вместо других видов мелкого заполнителя.

**Малоцементные бетоны для обустройства оснований автодорог.** Мосты, аэродромы ремонтируются с помощью шлакосиликатных бетонов, куда может добавляться зола уноса. Кроме того, шлакосиликатные бетоны служат для устройства кислотостойких полов в химических, металлургических цехах и других производствах, где есть агрессивные среды. Такие полы получают путем заливки или выкладывают плитками из шлакосиликатных бетонов.

**Получение зольных вяжущих материалов.** Они находят свое место в производ-

стве строительных конструкций гидротермального и влажно-воздушного твердения. Этому материалу под силу заменить цемент в процессе изготовления товарного бетона, строительного раствора и готовых изделий строительных предприятий. Наиболее целесообразно их строить в непосредственной близости к ГРЭС и ТЭС. Также зола уноса применяется в качестве добавки к цементу, не снижающей свойств материала, для приготовления спецбетонов, получения легких бетонных заполнителей, в дорожном строительстве.

Целесообразность использования золы уноса (табл. 2.2.) для различных стройматериалов должна быть обоснована на технологических и физико-механических испытаниях данной минеральной добавки.

Таблица 2.2

## Характеристики золы уноса Благовещенской ТЭЦ

| Химические свойства               |                                      |                                |                                                  |      |                         |       |                                                |      |
|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------|------|-------------------------|-------|------------------------------------------------|------|
| П.П.П.*                           | SiO <sub>2</sub>                     | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                   | MgO  | SO <sub>3</sub>         | CaO   | Mo                                             | Ma   |
| 3,98                              | 54,2                                 | 18,1                           | 13,5                                             | 0,13 | н/об                    | 3,0   | 0,036                                          | 0,33 |
| *П.П.П. – потери при прокаливании |                                      |                                |                                                  |      |                         |       |                                                |      |
| Физико-технические свойства       |                                      |                                |                                                  |      |                         |       |                                                |      |
| Плотность,<br>кг/м <sup>3</sup>   | Объемная<br>масса, кг/м <sup>3</sup> |                                | Удельная по-<br>верхность,<br>см <sup>2</sup> /г |      | Водопотреб-<br>ность, % |       | Поглощение CaO<br>через 28 суток,<br>мг/г золы |      |
| 2150                              | 730                                  |                                | 2400                                             |      | 61                      |       | 31                                             |      |
| Гранулометрический состав         |                                      |                                |                                                  |      |                         |       |                                                |      |
| Размеры поверхностей сит, мм      |                                      |                                |                                                  |      |                         |       |                                                |      |
| 10                                | 5                                    |                                | 2,5                                              | 1,25 | 0,63                    | 0,315 | 0,14                                           |      |
| 18,6                              | 28,1                                 |                                | 26,4                                             | 9,4  | 10,1                    | 9,11  | 9,38                                           |      |

Использовались отходы непосредственно из отвалов БТЭЦ, образованных при гидрозолоудалении, при их естественной влажности в составах.

Золошлаковые отходы, отобранные из отвалов, предварительно проходили специальную обработку: сушились при температуре + 705° С, измельчались в шаровой мельнице.

Цеолиты Куликовского месторождения (табл. 2.3) представлены морденитовыми туфами с содержанием цеолитов в породе – 35 %. Активность цеолитового порошка определена по ГОСТ 25094-2015 «Добавки активные минеральные для цементов. Метод определения активности» и составила 315 мг CaO/г добавки. Содержание вредных примесей не превышает ПДК.

Таблица 2.3

## Характеристики цеолитов Куликовского месторождения Амурской области

| Химические свойства         |                     |                                |                                |      |                                      |      |                             |                  |                               |
|-----------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|--------------------------------------|------|-----------------------------|------------------|-------------------------------|
| П.П.П.*                     | SiO <sub>2</sub>    | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO  | SO <sub>3</sub>                      | CaO  | Na <sub>2</sub> O           | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |
| 9,78                        | 70,7                | 10,28                          | 2,16                           | 0,41 | 0,10                                 | 1,68 | 0,76                        | 3,20             | 0,01                          |
| Физико-технические свойства |                     |                                |                                |      |                                      |      |                             |                  |                               |
| Средняя пористость, %       | Влаго-содержание, % |                                | % микропор от общей пористости |      | Средняя плотность, г/см <sup>3</sup> |      | Механическая прочность, МПа |                  |                               |
| 30                          | 9-15                |                                | 63-68                          |      | 2,39                                 |      | 24,5-53,9                   |                  |                               |

Цеолиты – это полезные ископаемые, относящиеся к группе каркасных алюмосиликатов, содержащие в своем составе оксиды щелочных и щелочноземельных металлов, отличающиеся строго регулярной структурой пор, которые в обычных температурных условиях заполнены молекулами воды. Вода, при нормальных условиях заполняющая свободный объем кристаллической решетки, может удаляться при нагревании или вакуумной откачке, что приводит к резкому увеличению адсорбционных свойств цеолита.

Для оценки качества цеолитового сырья и определения возможных направлений его использования необходимо знать его физико-химические и другие свойства. Из физико-химических параметров цеолитов, определяющих области их практического применения, наибольший интерес представляют плотность, объемная масса, пористость, влагосодержание, сорбционная емкость. Важное значение термическая стабильность, устойчивость по отношению к агрессивным веществам и ионизирующим излучениям, а также содержание токсических элементов. При нагревании и воздействии других вышеуказанных факторов происходит разрушение кристаллической решетки цеолита, что приводит к частичной или полной потере их полезных свойств [95]

Цеолитовый туф измельчался в щековой дробилке и шаровой мельнице до остатка на сите №008 – 40 и 20%, удельная поверхность, соответственно – 200 и 240 м<sup>2</sup>/кг. Кроме того, использовались отсеивы от дробления цеолита – остаток на сите №008 – 60 %, удельная поверхность – 110 м<sup>2</sup>/кг.

В качестве мелкого заполнителя использовался песок из отложений р. Зея, характеристики которого приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4

| Характеристики песка                                                                                                                                                           |                          |      |                |                                                      |      |                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------|----------------|------------------------------------------------------|------|------------------------|
| Физико-технические свойства                                                                                                                                                    |                          |      |                |                                                      |      |                        |
| Насыпная плотность, кг/м³                                                                                                                                                      | Средняя плотность, кг/м³ |      | Пустотность, % | Содержание пылевидных, илистых и глинистых частиц, % |      | Модуль крупности*      |
| 1570                                                                                                                                                                           | 2500                     |      | 32,7           | 1,6                                                  |      | 2,76                   |
| * влияние модуля крупности песка при получении бетона:                                                                                                                         |                          |      |                |                                                      |      |                        |
| -       свыше 2,5 (крупная зернистость) – рекомендован для приготовления бетонных смесей класса В25;                                                                           |                          |      |                |                                                      |      |                        |
| -       2,5-2,0 (средние частицы) – допускается использование в бетонах В15 и выше;                                                                                            |                          |      |                |                                                      |      |                        |
| -       2,0-1,5 (мелкие зерна) – применяется для приготовления бетона при строительстве подводных частей мостовых конструкций, при изготовлении кирпича и цементных растворов; |                          |      |                |                                                      |      |                        |
| -       1,5-1,0 (очень мелкой фракции) – используется преимущественно при производстве строительных мелкодисперсных составов.                                                  |                          |      |                |                                                      |      |                        |
| Гранулометрический состав                                                                                                                                                      |                          |      |                |                                                      |      |                        |
| Остаток на сите                                                                                                                                                                | Размер сита, мм          |      |                |                                                      |      | Прошло через сито №014 |
|                                                                                                                                                                                | 2,5                      | 1,25 | 0,63           | 0,315                                                | 0,14 |                        |
| Частный, г                                                                                                                                                                     | 120                      | 160  | 220            | 360                                                  | 135  | 5                      |
| %                                                                                                                                                                              | 12                       | 16   | 22             | 36                                                   | 13,5 | 0,5                    |
| Полный, %                                                                                                                                                                      | 12                       | 28   | 55             | 86                                                   | 99,5 | 100                    |

Испытания песка проводились согласно 8735-2014 «Песок для строительных работ методы испытаний».

В качестве крупного заполнителя использовался щебень из плотных пород, поставляемый каменным карьером (с. Верхнеблаговещенское). Испытания щебня прово-

дили по ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия»

ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний». Характеристики щебня приведены в таблице 2.5.

Бетоны в своем составе содержат кроме основных компонентов комплексы химических добавок и наполнителей, необходимых для улучшения качества бетонной смеси. Для удобоукладываемости смесей с водоцементным соотношением (В/Ц) не более 0,4 необходимо использование наполнителей и пластификаторов. Ввод добавок в составы бетонных смесей не изменяет санитарно-токсикологических характеристик, затвердевший бетон не дает вредных выбросов и излучений.

Таблица 2.5

## Физико-технические характеристики щебня

| Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup> | Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup> | Пустотность, % | Содержание пылевидных, илистых и глинистых частиц, % | Содержание пластинчатых, лещадных и игловых частиц, % | Марка щебня по дробимости |
|---------------------------------------|--------------------------------------|----------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------|
| 1400                                  | 2680                                 | 47,8           | 1,8                                                  | 21                                                    | Др 8                      |

В процессе исследований для увеличения подвижности и текучести бетонной смеси и экономии цемента использовалась добавка в виде пластификатора С-3. Данный вид добавки является смесью натриевых солей полиметиленафталинсульфоокислот различной молекулярной массы. Образованный при органическом соединении поверхностно-активный состав воздействуют на получение экономически выгодной цементной смеси.

При исследовании бетонов с добавлением суперпластификатора С-3 отмечены следующие положительные тенденции:

- улучшения качества бетонных соединений;
- уменьшения потребления цемента до 14% без ущерба для прочности конечных изделий;
- лучшей формовки, укладки бетонов, что уменьшает затраты на труд, увеличивает объёмы выработки;
- снижения потребления воды на 35 %;
- основы при изготовлении различных добавок.

Рассмотрим характеристики и преимущества использования этого соединения (табл. 2.6).

Таблица 2.6

## Характеристики пластификатора С-3

| Плотность, г/см <sup>3</sup> | рН раствора при 2,5% жидком составе | Содержание активных веществ, % | Содержание воды, % | Количество золы, % |
|------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| 1,16-1,2                     | 7-9                                 | 69                             | 10                 | 38                 |

Использование суперпластификатора С-3 обеспечивает бетонной смеси:

- повышение морозостойкости и подвижности состава до П-5;
- возрастание прочности на 40%, что соответствует классу В45;
- замедление схватывания при дальнейшей транспортировке;
- снижение усадки;
- увеличение адгезии с арматурой в 1,6 раза, а водонепроницаемости до показателя W12.

### 2.3 Влияние добавок цеолитового порошка на свойства тяжелых бетонов

Испытания проводились по ГОСТ 10181-2014 «Смеси бетонные. Методы испытаний». Разные способы формирования железобетонных изделий требуют бетонную смесь различной подвижности. Изучены водопотребность, изменение осадки стандартного конуса и жесткость различных бетонных смесей с добавкой цеолитового туфа.

На основе полученных данных рассчитывалось предельное напряжение сдвига по формуле (2.38)

$$\tau = \frac{\rho_{см} \cdot V}{2 \cdot S} \quad (2.38)$$

где  $\rho_{см}$  - средняя плотность бетонной смеси, кг/м<sup>3</sup>

$V$  – объем конуса, см<sup>3</sup>

$S$  – площадь основания конуса после его расплыва, см

Из бетонной смеси формировались образцы размером 10х10х10 см, которые подвергали тепловлажностной обработке по режиму 3+6+3 часа при температуре изотермической выдержки 80° С. После тепловлажностной обработки образцы остывали в нормальных условиях и испытывались на сжатие.

Для испытаний была выбрана бетонная смесь, обеспечивающая бетон класса В20 и 70 % прочности после пропаривания. В изучаемых составах 20% цемента заменялись молотым цеолитовым туфом с удельной поверхностью 200 м<sup>2</sup>/кг. Расход материалов составил, кг/м<sup>2</sup>: песок – 690, щебень – 1380, цемент (в контрольных замесах) – 320. Результаты приведены в таблице 2.7.

Анализ данных показал, что при одинаковом расходе воды бетонная смесь с добавкой цеолита имеет меньшую подвижность и, соответственно, большую жесткость. При этом прочность бетонов с равным расходом воды больше у цеолитсодержащей бетонной смеси по сравнению с контрольной.

При равной подвижности, бетонная смесь с добавкой цеолита имеет несколько меньшую жесткость. Прочность бетона, при этом, ниже контрольных образцов на 5..7.%. Увеличение осадки конуса цеолитсодержащих бетонных смесей до 12 см приводит к уменьшению прочности в 1,5 - 1,6 раза. При этом В/Ц возрастает с 0,67 до 0,74 (табл. 2.7). Прочность контрольных составов уменьшается в 1,56 раза при увеличении В/Ц с 0,6 до 0,71.

Таблица 2.7

Результаты испытаний бетонных смесей

| Цеолит, % от массы цемента       | Расход воды, л/м <sup>3</sup> | В/Ц  | Осадка конуса, см | Жесткость, сек | Прочность при сжатии после ТВО*, МПа | Предельное напряжение сдвига, Па |
|----------------------------------|-------------------------------|------|-------------------|----------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| -                                | 192                           | 0,60 | 3                 | 26             | 13,4                                 | 1280                             |
| 20                               | 192                           | 0,60 | 0                 | 32             | 16,1                                 | 2260                             |
| 20                               | 214                           | 0,67 | 3                 | 23             | 12,5                                 | 1300                             |
| -                                | 226                           | 0,71 | 12                | 7              | 8,6                                  | 862                              |
| 20                               | 226                           | 0,71 | 8                 | 10             | 10,0                                 | 1060                             |
| 20                               | 238                           | 0,74 | 12                | 6              | 8,2                                  | 865                              |
| ТВО*- тепловлажностной обработки |                               |      |                   |                |                                      |                                  |

Были изучены некоторые физико-механические свойства тяжелых бетонов, приготовленных с использованием добавок цеолитовых туфов различной дисперсности.

Цеолитовый туф с удельной поверхностью 110, 200 и 240 м<sup>2</sup>/кг вводился в замес вместо части цемента. Бетонные кубы с ребром 10 см формовались на лабораторной виброплощадке. Условия твердения: нормальные или пропаривание по режиму 2+6+2 часа, при изотермической выдержке 85<sup>0</sup> С.

Составы бетонов приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8

| Составы бетонов                         |          |                                            |        |       |        |       |                   |      |
|-----------------------------------------|----------|--------------------------------------------|--------|-------|--------|-------|-------------------|------|
| Цеолит                                  |          | Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> , кг |        |       |        |       | Осадка конуса, см |      |
| Удельная поверхность м <sup>2</sup> /кг | % замены | цемент                                     | цеолит | песок | щебень |       |                   | вода |
|                                         |          |                                            |        |       | 5-10   | 10-20 |                   |      |
| -                                       | -        | 410                                        | -      | 574   | 533    | 800   | 197               | 2,5  |
| 110                                     | 10       | 369                                        | 41     | 574   | 533    | 800   | 197               | 1,0  |
|                                         | 20       | 328                                        | 82     | 574   | 533    | 800   |                   | 0,5  |
|                                         | 30       | 287                                        | 123    | 574   | 533    | 800   |                   | 0,5  |
| 200                                     | 10       | 369                                        | 41     | 574   | 533    | 800   | 197               | 1,0  |
|                                         | 20       | 328                                        | 82     | 574   | 533    | 800   |                   | 0,5  |
|                                         | 30       | 287                                        | 123    | 574   | 533    | 800   |                   | 0,5  |
|                                         | 40       | 246                                        | 164    | 574   | 533    | 800   |                   | 0,5  |
| 240                                     | 10       | 369                                        | 41     | 574   | 533    | 800   | 197               | 1,0  |
|                                         | 20       | 328                                        | 82     | 574   | 533    | 800   |                   | 0,5  |

Эталонный состав бетона обеспечивает марку бетона М450.

Результаты испытаний приведены в таблице 2.9.

Анализ полученных данных позволяет отметить явно выраженную зависимость прочности бетона от дисперсности цеолита. С увеличением тонкости цеолита, прочность бетона, независимо от условий твердения, существенно возрастает.

Лучшие результаты по прочности получены на цеолите с удельной поверхностью 240 м<sup>2</sup>/кг. Замена таким цеолитом 20 % портландцемента не приводит к снижению прочности бетона нормального твердения по сравнению с эталоном.

Таблица 2.9

| Физико-механические свойства тяжелых бетонов |          |                                                     |                           |         |                                      |
|----------------------------------------------|----------|-----------------------------------------------------|---------------------------|---------|--------------------------------------|
| Цеолит                                       |          | средняя<br>плотность<br>бетона<br>кг/м <sup>3</sup> | Прочность при сжатии, МПа |         |                                      |
| Удельная<br>поверхность<br>м/кг              | % замены |                                                     | пропаривание              |         | нормальное<br>твердение,<br>28 суток |
|                                              |          |                                                     | 1 сут.                    | 28 сут. |                                      |
| -                                            | -        | 2406                                                | 28,0                      | 41,8    | 46,1                                 |
| 110                                          | 10       | 2430                                                | 17,3                      | 27,9    | 33,2                                 |
|                                              | 20       | 2400                                                | 14,4                      | 23,8    | 25,4                                 |
|                                              | 30       | 23,75                                               | 13,2                      | 17,7    | 23,6                                 |
| 200                                          | 10       | 2425                                                | 17,0                      | 33,4    | 40,0                                 |
|                                              | 20       | 2400                                                | 15,5                      | 29,1    | 36,7                                 |
|                                              | 30       | 2380                                                | 17,5                      | 26,1    | 30,5                                 |
|                                              | 40       | 2385                                                | 17,5                      | 22,7    | 25,3                                 |
| 240                                          | 10       | 2370                                                | 27,8                      | 37,7    | 48,9                                 |
|                                              | 20       | 2370                                                | 25,3                      | 33,6    | 47,1                                 |

При замене 10 % портландцемента прочность бетона с цеолитом на 6 % превышает прочность бетона на чистом портландцементе.

Прочность пропаренных образцов из бетона с добавкой цеолита ниже прочности эталонных образцов как в раннем возрасте – 1 суток, так и в позднее время – 28 суток.

## 2.4 Исследование структурообразования золоцементных композиций с добавками

При затворении золы-уноса и цемента водой гидратация их происходит не одновременно. В то время, как цемент активно гидратируется, зола остается инертной. В этом случае степень гидратации цемента выше, чем в цементе без золы. Это явление объясняется эффектом мелкодисперсных порошков, который заключается в том, что частицы золы расширяют свободное пространство, в котором создаются продукты гидратации портланд-цемента и тем самым способствуют ускорению его гидратации.

В связи с тем, что стандартное определение сроков схватывания характеризует лишь некоторую промежуточную прочность преимущественно коагуляционной структуры, имеющей место в первый период нарастания прочности цементного теста, и не дает полной информации о кинетике и механизме гидратации, твердения и формирования структуры с первых минут гидратации до образования цементного камня, для исследования процесса взаимодействия золоцементного теста с различными добавками и различным количеством золы в составе золоцементного вяжущего (ЗЦВ) определяли кинетику нарастания пластической прочности цементного теста с помощью конического пластомера системы МГУ. Метод заключается в определении нагрузки, необходимой для погружения металлического конуса в достаточно большой объем цементного теста на глубину, постоянную для всех измерений. Тесто нормальной густоты укладывали в смазанное кольцо и определяли пластическую прочность по формуле (2.39)

$$P_{пл} = K \frac{P}{h^2}, \text{ МПа} \quad (2.39)$$

где  $h$  – глубина погружения конуса, см;

$P$  – нагрузка, действующая на конус, мПа;

$K$  – коэффициент, зависящий от угла конуса;

Глубина погружения конуса  $h = 0,5$  см.

Исследования проводили на золоцементном вяжущем (ЗЦВ) с содержанием золы от 0 до 60 %. Определение пластической прочности проводили через каждые 30 минут, установлены характеристики изменения пластической прочности ЗЦВ с различным содержанием золы. Пластическая прочность цементного теста через 3 часа с момента затворения имеет значение 0,1 МПа, а у золоцементного теста состава Ц:З=80:20 пластическая прочность равна 0,02 МПа, т.е. введение золы - уноса в цементные системы без химических добавок увеличивает индукционный период существования коагуляционной структуры, что вызвано тем, что в начальный период гидратации образуется большое количество гидросульфоалюмината кальция. Это происходит вследствие создания в жидкой фазе благоприятных условий для его образования - пониженная концентрация ионов кальция.

Присутствие добавок в цементных системах и золоцементных системах с содержанием золы-уноса до 50 % при постоянном и сниженном В/Ц затормаживает процессы структурообразования.

На следующем этапе исследовалась кинетика набора пластической прочности ЗЦВ при увеличении его удельной поверхности.

Увеличение удельной поверхности как у цемента, так и у композиционного вяжущего состава Ц:З=50:50 и 30:70 /ТМЦ-50, ТМЦ-30 соответственно/ практически не ускоряет процессы структурообразования. Присутствие химических добавок в этих це-

ментных и золоцементных системах и при постоянном и при сниженном В/Ц замедляет процессы структурообразования.

Таким образом, при увеличении удельной поверхности КВ с содержанием золы до 50 %, т.е. при получении тонкомолотого многокомпонентного вяжущего нарастание пластической прочности идет так же, как и при простом механическом введении золы-уноса.

При исследовании влияния способа введения золы – уноса в составе вяжущего низкой водопотребности на кинетику нарастания пластической прочности выявлено, что введение добавки С-3 в состав вяжущего в процессе помола существенно ускоряет темп роста пластической прочности.

## **2.5 Физико-химический анализ процессов гидратации и твердения композиционного вяжущего (КВ) с добавкой золы-уноса**

Для определения особенностей в структуре затвердевшего цементного камня с золой-уноса проведены исследования методом микроскопии.

Электронно-микроскопические исследования свидетельствуют, что продукты пуццолановой реакции на поверхностном слое между цементным камнем и частицей золы-уноса выполняют важную роль в развитии прочности и долговечности золоцементного камня и бетона на его основе. Для подтверждения вышеизложенного были проведены исследования золоцементных вяжущих методом дифференциальной термогравиметрии. Дегидратация  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  также сопровождается потерей массы вещества.

Результатом активного взаимодействия  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  с кремнеземом является появление на кривых дифференциального термического анализа (ДТА) у образцов с золой экзотермического эффекта при  $t=900-930^\circ\text{C}$ . Этот пик отличается остроконечностью, малой симметричностью и высокой интенсивностью, он является диагностическим для волокнистых гидросиликатов кальция типа CSH. Эти данные хорошо идентифицируются с результатами электронно-микроскопического исследования. На кривых ДТА образцов без золы-уноса экзотермический эффект CSH не обнаруживается. На термограммах образцов суточного возраста отмечается экзотермический эффект при  $820^\circ\text{C}$ , который в сочетании с эндотермическим эффектом при  $t = 230^\circ\text{C}$  можно идентифицировать с тоберморитом. На кривых ДТА в 28-суточном возрасте тоберморит практически не обнаруживается. В цементном камне за это время происходит перекристаллизация с образованием ксонотлита-  $\text{C}_6\text{S}_6\text{H}$  (эндотермические эффекты при  $770^\circ\text{C}$ ).

Таким образом, комплексными физико-химическими методами установлено, что добавка золы-уноса положительно влияет на образование в цементном камне низкоосновных гидросиликатов кальция типа CSH. Установлено, что в процессе твердения кремнезем золы-уноса не полностью связывается и его часть остается в свободном состоянии. Это предопределяет незатухающий характер пуццолановой реакции в твердеющей цементной системе между цементом и золой-уноса и длительный рост прочности бетона на композиционном вяжущем. Совместный помол исходных материалов при соотношении 50:50 дает возможность получить бетоны, прочность которых восходит к исходным портландцементам. При удельной поверхности  $S = 4275 \text{ см}^2/\text{г}$  прочность бетона повысилась с 29,7 до 38,6 МПа, при  $S = 5392 \text{ см}^2/\text{г}$  - с 30,1 до 44,6 МПа.

Прочность бетонов на смешанных вяжущих, полученных простым смешением цемента и золы при удельной поверхности компонентов вяжущего порядка  $5000 \text{ см}^2/\text{г}$  (помол в течение 3-х часов) выше прочности бетонов, т.е. при совместном помоле компонентов вяжущего, на 10 %. В свою очередь прочность бетонов на тонкомолотых многокомпонентных цементах (ТМЦ) значительно ниже прочности бетонов на вяжущих низкой водопотребности (ВНВ) – на 12 % в составах с 50 % золы, на 28 % в беззолых

составах. Прочность бетонов на ВНВ-50 равна прочности бетонов на исходном портландцементе с такой же удельной поверхностью.

Наиболее выгодными по степени использования вяжущих свойств цемента являются смешанные вяжущие состава Ц:З=50:50.

## **2.6 Оптимизация процессов приготовления многокомпонентных смесей**

Химический состав каждого из компонентов смеси характеризуется значениями  $C$ ,  $A$ ,  $F$ ,  $S$  концентрацией основных оксидов  $CaO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $SiO_2$ . В технологии цемента требования к химическому составу смеси сводятся к поддержанию на заданном уровне модульных химических характеристик, отражающих влияние химического состава смеси на свойства цемента. Основные модульные характеристики – коэффициент насыщения  $KH$ , силикатный модуль –  $n$ , глиноземный модуль –  $p$ .

Управление процессом приготовления смеси в условиях колебания химического состава смешиваемых веществ заключается в регулировании их пропорций с целью стабилизации модульных характеристик готовой смеси.

Технология приготовления смеси представляет собой последовательность непрерывных операций дозирования и совместного перемешивания компонентов. Оптимизация технологического процесса приготовления бетонной смеси состоит в рациональном выборе их вещественного состава. В результате проектирования состава бетонной смеси определяют пропорции исходных компонентов, обеспечивающих требуемую прочность, подвижность смеси и минимизацию расхода цемента – наиболее дорогого компонента смеси. Предварительный состав бетонной смеси определен по эмпирическим зависимостям, которые связывают основные качественные показатели бетона и бетонной смеси с характеристиками исходных веществ и их пропорциями в смеси. Известно, что прочность бетона зависит от активности цемента и цементно-водного отношения, подвижности смеси, расхода воды, удельной поверхности вяжущего и заполнителей. Состав бетонных смесей, из которых готовились контрольные образцы подобран с учетом заданных характеристик смеси и бетона. Установлено, что эффективное перемешивание осуществляется в смесителях интенсивного принудительного выравнивания концентраций смешиваемых материалов во всех зонах смесительного агрегата и получении готовой смеси с заданным набором стабильных показателей – концентрации химических соединений, распределением фракций по крупности.

При постоянстве свойств смешиваемых веществ требование обеспечения заданного состава приготавливаемой смеси обеспечивается выбором оптимального состава. Проблема состоит в организации точного дозирования веществ и последующего интенсивного перемешивания для получения однородного состава смеси. В условиях случайных вариаций составов смесей для обеспечения требуемой степени стабильности смесей применяют усредненные системы. Конструкции усреднительных агрегатов определяются физическими характеристиками материалов – крупность, вязкость, влажность, сегрегируемость и другие. Так, усреднение тонкодисперсных веществ осуществляется в специальных емкостях – силосах, где гомогенизация достигается пневмоперемешиванием материала. Таким образом, сущность смесительно-усреднительного технологического комплекса состоит в обеспечении непрерывного приготовления требуемого количества многокомпонентной смеси с заданными свойствами из разнородных и нестабильных по составу веществ.

Смесительно-усреднительный технологический комплекс образует последовательные участки предварительного усреднения, смешивания и окончательного усреднения получаемой смеси.

## 2.7 Многоуровневая оптимизация процессов приготовления смесей

В производстве строительных материалов и изделий применяют универсальную трехуровневую систему управления, направленную на комплексную оптимизацию процессов приготовления многокомпонентных смесей.

Известно, что вещества со сходным набором свойств могут быть получены различными способами путем перемешивания исходных веществ в различных пропорциях. Подход к формализованному решению задач расчета и оптимизации состава смесей состоит в использовании математических моделей смесительных операций. Математические модели задают системой линейных и нелинейных уравнений, которые по характеристикам исходных веществ и заданному размеру их массовых долей в составляемой смеси рассчитать значения показателей смеси, определяемых свойств готового продукта. В качестве определяемых характеристик являются химический и фракционный составы смеси веществ, задающих в совокупности процентное содержание химических соединений и концентрацию фракций.

Для решения задачи построим математическую модель, входами которой являются состав смеси и контролируемые показатели качества ее компонентов, выходом – набор показателей качества готового продукта – смеси, изделий. Моделью активности композиционного вяжущего (КВ), входами которого являются активность цемента, является количество минеральных добавок (золошлаковые отходы, зола-уноса, цеолитовые породы, сера, микрокремнезем, стекольный бой).

Основные параметры модели прочности получаемого бетона – водоцементное отношение бетонной смеси и количественный и качественный составы композиционного вяжущего и содержание добавок. Для построения математической модели применен кибернетический подход с использованием метода регрессионного анализа. Построение регрессионной модели «состав - свойства» с учетом специфики процесса приготовления многокомпонентной смеси является важной проблемой оптимизации процесса перемешивания смесей.

## 2.8 Исследование влияния механической активации золошлакоцементных композиций (КВ) на свойства бетона

В качестве исходного сырья использовали золошлаковые отходы (ЗШО) Благовещенской ТЭЦ, отобранные непосредственно из отвалов из 4 различных мест, с таким расчетом, чтобы пробы отличались зерновым составом и влажностью.

Влажность приходилась несколько корректировать в лабораторных условиях с тем, чтобы получить сравнимые исходные значения. Характеристики проб ЗШО приведены в таблице 2.10.

Таблица 2.10

Физические характеристики золошлаковых отходов БТЭЦ

| № проб ЗШО | Влажность, % | Удельная поверхность, см <sup>2</sup> /г |
|------------|--------------|------------------------------------------|
| 1          | 12           | 2050                                     |
| 2          | 12           | 3960                                     |
| 3          | 28           | 1920                                     |
| 4          | 28           | 3700                                     |

Исследовались три состава золошлакоцементных композиций, отличающихся соотношением по массе «ЗШО: цемент», было исследовано 12 лабораторных составов, отличающихся физико-механическими свойствами отвальных ЗШО и их содержанием в смеси, (табл. 2.11).

Таблица 2.11

## Составы золошлакоцементных композиций

| Маркировка составов<br>ЗШО композиции | № проб ЗШО | Соотношение<br>«цемент:ЗШО» |
|---------------------------------------|------------|-----------------------------|
| 1                                     | 2          | 3                           |
| 1-1                                   | 1          | 1:1                         |
| 1-2                                   | 2          | 1:1                         |
| 1-3                                   | 3          | 1:1                         |
| 1-4                                   | 4          | 1:1                         |
| 2-1                                   | 1          | 1:1,5                       |
| 2-2                                   | 2          | 1:1,5                       |
| 2-3                                   | 3          | 1:1,5                       |
| 2-4                                   | 4          | 1:1,5                       |
| 3-1                                   | 1          | 1:2                         |
| 3-2                                   | 2          | 1:2                         |
| 3-3                                   | 3          | 1:2                         |
| 3-4                                   | 4          | 1:2                         |

## 2.9 Исследование влияния раздельной технологии приготовления бетонной смеси на прочностные характеристики тяжелого бетона

Цементные бетоны являются композиционными материалами полиструктурного строения, и это предопределяет раздельную технологию приготовления, которая позволяет управлять его микро- и макро- структурой, с целью экономии материальных и энергоресурсов при одновременном повышении качества изделия.

В качестве эксперимента взято приготовление высокомарочного бетона В35 для железобетонных тонкостенных панелей покрытия, выпускаемых ООО «Амурский завод ЖБК» г. Благовещенск.

Условия твердения контрольных образцов и образцов, изготовленных по раздельной технологии одинаковы. Результаты исследования приведены в таблице 2.12.

Таблица 2.12

## Прочность образцов в зависимости от условий твердения и технологии приготовления

| Способ<br>твердения   | Показатели                                                   | Контрольные<br>образцы | Образцы,<br>изготовленные<br>по раздельной<br>технологии |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------|
| Тепловая<br>обработка | Среднее значение прочности при сжатии, МПа                   |                        |                                                          |
|                       | 1. Через 3ч после тепловой обработки                         | 17,5                   | 20,8                                                     |
|                       | 2. Через 7 суток                                             | 30,6                   | 32,13                                                    |
|                       | 3. Через 28 суток                                            | 40,4                   | 45,2                                                     |
|                       | Эффективность использования цемента                          | 0,09                   | 0,1                                                      |
| Нормальные<br>условия | Среднее значение прочности при сжатии, МПа:                  |                        |                                                          |
|                       | 1. Через 7 суток                                             | 30,7                   | 35,3                                                     |
|                       | 2. Через 14 суток                                            | 35,4                   | 37,5                                                     |
|                       | 3. Через 28 суток                                            | 41,0                   | 49,4                                                     |
|                       | Эффективность использования цемента<br>(Эц=Ц-расход цемента) | 0,1                    | 0,15                                                     |

Готовились образцы-кубы (10x10x10 см) по отдельной технологии, и в качестве контрольных, такие же образцы, изготовленные по обычной технологии.

Отдельная технология заключалась в следующем: предварительно приготавливалось наполненное цементное тесто с 50 % расчетного количества песка в скоростном смесителе-активаторе в течение 1 мин. с последующим смешиванием с остальными наполнителями вручную в течение 4 мин. Для контрольных образцов смесь готовилась вручную перемешиванием в течение 6 мин. Расход материалов для бетона взят в лаборатории Амурского завода ЖБК. Полученные данные показывают, что на заводе имеются резервы по экономии цемента.

## **2.10 Использование омагничивания воды в технологии производства бетона**

Использование интенсивных технологий и воздействие химически активных сред, требует привлечения новых эффективных и долговечных строительных материалов, обеспечивающих экологическую безопасность и экономическую эффективность строительного производства. Решение этих задач направлено на создание эффективных бетонов специального назначения с заданными свойствами.

Рациональным направлением создания таких бетонов является разработка цементных композитов и исследование свойств композиционного вяжущего с добавкой золы-уноса, цеолитов, ЗШО, серы и химическими добавками. Изучение процессов структурообразования материала, разработка способов и поиск компонентов для повышения его качества, а также уточнение существующих и введение новых характеристик материала, позволяющих совершенствовать методы проектирования и прогнозирования влияния рецептуры на свойства композита, имеют важное научно-практическое значение, способствует развитию теории композиционных материалов и позволяют создать методологические основы для создания химически стойких и радиационно-защитных серых композитов [77, 78, 79].

Бетоны представляют собой сложную структуру, включающую частицы на макроуровне (заполнители, наполнители, добавки) а также частицы на наноуровне (гидратные фазы цемента с размерами частиц 10-100 нм, зерна исходного цемента). При уменьшении размера частицы происходит увеличение доли поверхностных несвязанных атомов, что приводит к искажению кристаллической структуры у поверхности частиц, уменьшению содержания внутренних дефектов, изменению твердости, прочности и электрических характеристик. Исходный цемент имеет удельную поверхность около 300 м<sup>2</sup>/кг. В реакцию с водой вступает лишь третья часть его объема. У домолотого цемента частицы реагируют с водой 80-90 % их объема. Следовательно, на получение заданного бетона, цемента потребуется меньше.

Известно, что реакционной способностью воды можно управлять воздействием на нее магнитным полем [80].

Наложение на водные растворы внешнего магнитного поля изменяет их структуру, степень гидратации ионов, плотность, вязкость, поверхностное натяжение, электропроводность, показатель pH, растворимость, диэлектрическую проницаемость, электропроводность, магнитную восприимчивость и др. характеристики.

Процесс твердения бетона, затворенного магнитоактивированной средой, изучен теоретически, но единого взгляда о механизме влияния магнитного поля на свойства цементного камня нет. Экспериментально обнаружено, что затворение бетона омагниченной водой влияет на скорость схватывания, прочность, уменьшается размер цементных гранул (образуется тонко - зернистая структура), увеличивается скорость гидратации, увеличивается удельная поверхность твердой фазы, уменьшается пористость.

Несмотря на положительные преимущества метода, только единичные заводы железобетонных конструкций используют ее в своих технологиях. В чем причина низкой востребованности этого метода?

Проведенные в течение многих лет исследования во многом оказались противоречивыми, отсутствуют четкие представления о механизме влияния омагниченной воды на процессы твердения цементного камня, нет надежных промышленных приборов для получения необходимой степени магнитной активации воды.

Приведенные выше выводы дают основу оптимистическим взглядам на продолжение исследования улучшения свойств бетона за счет структур образования на атомарном уровне, изменения минералогического состава, получения композитов со специальными свойствами. Для цементных бетонов интересны технологии, позволяющие управлять структурой цементного камня, например, такие как:

- домол цемента перед его применением до наноразмерных частиц;
- омагничивание воды;
- сочетание нескольких методов; 4) введение в цементное тесто нанодобавок (наномодификаторов).

Для исследования влияния омагниченной воды с предварительным домолом цемента на прочность и электрические свойства цементного бетона в лаборатории были проведены исследования изменений свойств бетонных образцов (кубов с ребром 5 см), затворенных магнитоактивированной водой. Магнитная обработка воды в статическом и динамическом режимах (скорость 0,5 м/с) проводилась прибором индивидуального изготовления с постоянными магнитами индукцией поля до 0,1 Тл.

Прочность на сжатие бетона измеряли на прессе ИП-100 (ИМС-500) со скоростью нагружения 0,4 МПа/с, электрическое сопротивление – тераомметром Е6-13А, диэлектрические характеристики на низких частотах определяли с помощью измерителя импеданса Е7-14 при комнатной температуре. Погрешность измерений не превышала 10 %.

Для приготовления бетонной смеси использовали природный песок (зерно до 1,2 мм), щебень (зерно 5 мм), портландцемент марки ПЦ 400-Д0 Теплоозерского завода ЕАО ДВФ (зерно 0,01 мм) и водопроводную воду.

Со всеми компонентами были проведены спектральный и химический анализы. Перед использованием цемента и песка к ним применили домол с помощью агатовой шаровой мельницы. Размер зерна при этом у цемента уменьшился на порядок, а у песка стал около 0,2 мм.

Удельная поверхность цемента  $1,6 \times 10^4$  м<sup>2</sup>/кг, песка 160 м<sup>2</sup>/кг. Состав бетонной смеси (в частях) составил:

- цемент – 1;
- песок – 1,7;
- щебень – 3,4;
- вода – 0,4.

Водоцементное отношение – 0,4.

Технологическая схема приготовления бетона:

- все компоненты взвешивают в соответствии с расчетом;
- наливают воду в смеситель;
- через несколько секунд медленно загружают цемент;
- затем подают песок;
- цементно-песчаный раствор перемешивают в течение минуты;
- за 15 с до окончания перемешивания в смеситель высыплют щебень;
- вновь раствор перемешивают в течение минуты;
- готовую бетонную смесь загружают в металлические формы и уплотняют на

вибраторе типа 435-А.

В лаборатории были приготовлены 10 бетонных кубиков: в двух первых использовалась обычная вода, а в восьми – омагниченная вода. Испытание образцов на прочность проводили после 3; 7; 14; 21; 28 суток хранения в нормальных условиях.

Скорость твердения и прочность бетонных образцов при их затворении водой (1 – обычная вода, 2 – омагниченная вода) приведены на рисунке 5.5. После 7 суток у образцов серии 2 прочность возросла на 10 %, а через 28 суток – на 15 %.

Сравнения результатов показывают, что независимо от метода затворения образцов, прочность изделий, затворенных на омагниченной воде, выше. Процесс магнитной активации воды уменьшает расход цемента на 10 %.

Сроки схватывания бетона сократились на 1 час. В ходе эксперимента обнаружили уменьшение электропроводности, увеличение диэлектрической проницаемости и вязкости воды на 8 %. Пористость бетона уменьшилась от 28 % до 21 %.

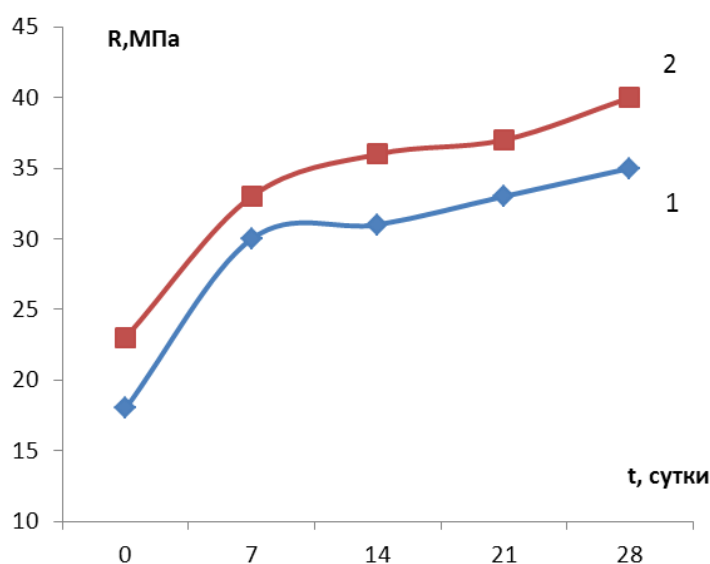


Рис. 2.5. Скорость твердения и прочность образцов бетона

Как показали исследования, использование омагничивания воды в технологии производства бетона улучшает его основные свойства. Для дальнейшего исследования планируется увеличить число испытуемых образцов для накопления статистических данных с использованием прибора для контроля степени магнитной активации (эффективности) воды.

Магнитная обработка воды, по-видимому, изменяет реакцию гидратации силиката кальция в два этапа. Вода, прошедшая через магнитную установку, обладает способностью быстрее растворять неорганические вещества. В первый этап оксид кальция образует раствор электролита, а оксид кремния образует желеобразную систему – гель. В дальнейшем (2 этап) происходит кристаллизация из раствора: в твердую фазу переходят ионы и из раствора, и из геля. Так как гель обладает разветвленной пространственной структурой (похожей на структуру полимера) и длительное время находится в межкристаллических промежутках, то этот этап протекает очень длительное время. Как показали расчеты, в течение первого месяца расходуется не более 80 % геля. Полностью гель расходуется примерно через год – полтора.

Омагниченная вода уменьшает электропроводность бетона от  $0,75 \cdot 10^{-8} \text{ (Ом} \cdot \text{м)}^{-1}$  до  $10^{-9} \text{ (Ом} \cdot \text{м)}^{-1}$ , увеличивает диэлектрическую проницаемость (8 %), тангенс угла диэлектрических потерь уменьшается до 0,03 (30 %). В сухом бетоне диэлектрические

потери могут быть обусловлены миграционной поляризацией, сквозной электропроводностью и неоднородностью структуры.

Для теоретического прогноза эффективности метода магнитной обработки надо, по-видимому, знать, сколько в воде ионов «тонких» (малые по размеру катионы), и сколько там «толстых» (анионов). На процессы кристаллизации и коагуляции при омагничивании воды определенное влияние оказывают ферромагнитные частицы (всегда присутствующие в воде). Для ответа на эти вопросы нужно располагать данными полного химического анализа, т. е. знать ионный состав воды.

Экспериментально установлено, что применение магнитоактивированной воды позволяет:

- повысить прочность изделий 10-15 %,
- уменьшить расход цемента на 10 %,
- сократить сроки схватывания бетона на 1 час,
- уменьшить пористость бетона на 25 %,
- снизить электропроводность на 10 %,
- увеличить диэлектрическая проницаемость на 8 %,
- уменьшить тангенс угла диэлектрических потерь на 30 %.

Исследования показали, что, хотя прочность бетонных образцов возросла, но электроизоляционные свойства не улучшились.

Для внедрения предлагаемого метода, основанного на использовании омагничивания воды для приготовления бетонной смеси, необходимо накопление статистических данных, т. е. продолжения работы на большом количестве бетонных образцов.

## 2.11 Модификация бетонов серой

Придание бетонным и железобетонным конструкциям стойкости к внешним воздействиям представляет сложную технологическую задачу. Поэтому повышение долговечности строительных конструкций при различных воздействиях является актуальной проблемой строительства. Современные технологии способствует появлению новых агрессивных факторов и их сочетаний, действующих на сооружения. Строительные конструкции работают в сложных эксплуатационных условиях при воздействии электрохимических, радиационных и силовых нагрузок. Поэтому разработка композиционных бетонов, предназначенных для восприятия факторов и нагрузок, является важной задачей современного материаловедения - модификация бетонов серой, в основе положены два аспекта. Первое направление - использование серы в качестве термопластичного связующего, второе - вещества для пропитки пористых материалов с целью повышения физико-механических характеристик и долговечности. Так, кристаллическая структура серы при введении в бетонную матрицу повышает радиационную стойкость и устойчивость минералов класса оксидов цементного камня. Полимерная модификация компонентов матрицы цементного камня серой повышает стойкость полимер-серного вяжущего к радиационному излучению. Высокое удельное электросопротивление тяжелых бетонов порядка  $10^{11} \dots 10^{12}$  Ом·м, снижается для влажного до  $10^4 \dots 10^5$  Ом·м и падает до нескольких Ом·м при полном водонасыщении бетонных образцов вследствие высокой пористости и водо-газопроницаемости и наличием электролитов - растворов солей и оснований. Удельное электросопротивление высушенного до постоянной массы и пропитанного расплавом серы бетонных образцов увеличивается с  $10^4 \dots 10^5$  до  $10^{12} \dots 10^{13}$  Ом·м; расплавом серы, модифицированной 5% ГЦПД от массы серы - до  $10^{14} \dots 10^{15}$  Ом·м. Причиной снижения электросопротивления и диэлектрических свойств бетона является увлажнение в результате адсорбционного и диффузного переноса влаги. При испытании образцов в нормальных условиях электриче-

ские свойства образцов не изменились. Образцы, пропитанные модифицированной серой, имели более высокие значения электросопротивления, что объясняется аморфно-кристаллической структурой серы, которая чувствительна к температурным изменениям и большей адгезией к компонентам цементной матрицы. Для получения бетонов с высокими диэлектрическими свойствами и высокой стабильностью, необходимо поддерживать режим сушки бетонных образцов перед пропиткой. В этом случае из пор и капилляров будет удалена свободная вода, и часть физической и кристаллохимической, что повысит электросопротивление бетона с  $10^4 \dots 10^5$  до  $10^9 \dots 10^{11}$  Ом·м.

Радиационно-устойчивый серобетон можно использовать для защиты от действия и замедление поглощения смешанного гамма и нейтронного ионизирующего излучения при строительстве зданий и сооружений в районах с повышенным радиационным фоном, в качестве эффективного защитного материала при сооружении хранилищ радиационных отходов, атомных реакторов. Эффективным бетоном для ремонта строительных конструкций является модифицированный бетон добавкой «олеат натрия - силикат-натрия». Опытами установлено, что введение добавки приводит к повышению пластичности цементного теста и образцы набирают прочность в ранние сроки твердения, а также улучшает реологические свойства цементного теста. Введение в КВ добавки олеат натрия - силикат-натрия приводит к уменьшению усадки, что объясняется увеличением водоудерживающей способности цементного теста за счет перевода воды в связанное состояние, абсорбированием ее железосодержащих веществ и силикагеля. Установлено, что с введением водной суспензии комплексной добавки и перемешивания компонентов обеспечивается высокая водоудерживающая способность, наибольшая прочность и низкая деформативность бетона.

В практике строительства все большее место занимают конструкции и сооружения, возведенные из бетонов нового поколения с высокими эксплуатационными свойствами. Бетоны отличаются высокой прочностью, морозостойкостью, коррозионной стойкостью, низкой проницаемостью, обеспечивающими повышенную долговечность конструкций.

Решение данного вопроса может быть достигнуто развитием отрасли производства эффективных строительных материалов на базе местного сырья, а также внедрением ресурсосберегающих технологий в строительство.

Задачей проведенных исследований является использование минеральных добавок Амурской области для получения высокоэффективных бетонов с более высокими и качественными характеристиками.

Изучены физико-механические свойства комплексных цеолитсодержащих вяжущих, оценке малых добавок цеолитов на свойства композиционных вяжущих (смешанных цементов) и изучение основных строительно-технических и физико-химических свойств зол и золошлаковых отходов БТЭЦ, их влияние на прочность и удобоукладываемость бетонной смеси. Разработаны составы серных композиционных материалов, модифицированных сополимерной серой.

### **ГЛАВА 3 ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ В БЛАГОВЕЩЕНСКЕ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ**

Проблема энергосбережения в строительстве приобретает в последнее время особую актуальность в связи с угрожающим ростом темпов энергопотребления в мире. В России в недалеком прошлом находил применение экономически необоснованный подход к расходу энергетических ресурсов на строительство и эксплуатацию зданий и сооружений. Это было вызвано, в первую очередь, относительно низкой стоимостью топливно-энергетических ресурсов в нашей стране. Отсюда – недостаточный учет вопросов энергосбережения при нормировании теплозащиты ограждающих конструкций; ориентация на массовое изготовление однослойных сборных железобетонных конструкций; недооценка энергосбережения за счет совершенствования объемно-планировочных решений зданий. Данные обстоятельства привели к тому, что существующий жилищный фонд оказался неэффективным с точки зрения энергоиспользования.

В последнее время специалистами и учеными поднимается вопрос о глобальном кризисе мировых запасов топлива. При его расточительном использовании встает и другая проблема, также озвученная специалистами – это значительное ухудшение экологии, загрязнение атмосферы, потепление климата. В области проектирования и строительства, также встает вопрос об экономии энергоресурсов и защите окружающей среды. В этой сфере, в первую очередь необходимо выполнить требования к повышению тепловой защиты зданий, т.е. проектировать и возводить здания с применением энергосберегающих технологий. Здесь, как бы, одним выстрелом убивается два зайца: экономятся государственные ресурсы на отопление и защищается окружающая среда от лишних выбросов в атмосферу.

При разработке СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» поднимается вопрос о необходимости энергосбережения и повышения уровня теплозащиты. Согласно новым нормам приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций должно быть не менее требуемых значений, определяемых исходя из условий энергосбережения и санитарно-гигиенических и комфортных условий. Для различных районов страны с учетом продолжительности отопительного периода и средней температуры воздуха за этот период введено значение градусо-суток отопительного периода (ГСОП), определяющее общий расход тепла на отопление здания [5]. Из планируемого снижения уровня энергопотребления рассчитаны значения сопротивления теплопередаче отдельных элементов ограждающих конструкций, которые увязаны с ГСОП, а не с расчетной температурой наружного воздуха в зимний период, как это было ранее. Нормативные требования к тепловой изоляции зданий и сооружений резко в 3,3–3,4 раза возросли. Введение новых норм по теплозащите позволяет снизить удельное энергопотребление на 40 % по сравнению с нормами до внесения изменений.

Необходимо ориентироваться не только на стоимость здания при строительстве, но и учитывать затраты при дальнейшей эксплуатации здания. Если говорить о жилых зданиях, энергосберегающие технологии позволят сдерживать рост энергетических тарифов. С каждым годом растет квартирная плата за отопление и при современных расчетах составляет ощутимые для потребителя значения. Программа повышения энергоэффективности позволит владельцам квартир и домов снизить счета за коммунальные услуги на 20 %, что уменьшит бюджетные расходы семьи, и что немаловажно, внесет существенный вклад в улучшение экологической обстановки.

Теплопотери в зданиях вызваны следующими причинами: до 40 % – за счет инфильтрации нагретого воздуха, до 30 % – в результате нерегулируемого режима эксплуатации систем отопления и горячего водоснабжения. Значительная часть потерь

тепла – до 30 % – приходится на ограждающие конструкции из-за недостаточной величины их сопротивления теплопередаче [5].

Город Благовещенск относится к I климатическому району, IV подрайону. Климат здесь достаточно суровый, резко континентальный с муссонными чертами, что выражается в больших годовых (45 - 60 °С) и суточных (до 20°С) колебаниях температур воздуха. Зима холодная, средняя температура наиболее холодной пятидневки в соответствии с СП 131.13330.2012. Строительная климатология составляет – 33°С. Температурный минимум за последние 10 лет был зафиксирован, когда температура воздуха в городе опустилась до отметки -37,1 °С.

Строительными нормами определены следующие параметры микроклимата помещений жилых зданий: минимальная температура в жилой комнате должна быть не менее 20 °С, в угловой комнате не менее 22 °С, кухне и туалете 19 °С, ванной 24 °С, на лестничной клетке 16 °С [5]. Поддержание в помещении температуры не ниже нормативной, будет зависеть от приборов отопления (их температуры и теплопередачи), от количества оконных проемов и их теплозащитных свойств, от расположения самого помещения и т.д. Таким образом, понятие энергоэффективности неразрывно связано с вопросами энергосбережения. Энергоэффективность при проектировании жилых зданий – это комплекс мероприятий, принятых на стадии проектирования, которые снижают потребляемую зданием тепловую энергию, необходимую для поддержания в помещениях требуемых параметров микроклимата.

Актуальной задачей современного проектирования зданий в Благовещенске является совершенствование энергосберегающей деятельности. Необходимо принимать новые конструктивные решения, способствующие снижению теплопотерь при возведении жилья и его эксплуатации, повышать тепловую эффективность ограждающих конструкций здания, включая стены. Чем меньше здание теряет тепла, тем меньше энергии для восполнения тепловых потерь потребует.

Можно предложить следующие рекомендации по повышению энергоэффективности зданий. В первую очередь необходима высокоэффективная теплоизоляция дома. Для этого на стены, потолки и пол, надподвальное и чердачное перекрытие необходимо крепить материалы невысокой теплопроводности: минеральная или стекловата, пенопласт, пенополиуретан. Многослойная теплоизоляция не позволит выпускать тепло и впускать холодный воздух. При этом значительно снижаются теплопотери. Совершенствование теплоизоляции зданий снижает ежегодное энергопотребление на 70-75 % и, как следствие, нагрузку на экологию – объемы выбросов углекислого газа.

Наружные стены являются важной и сложной несущей и ограждающей конструкцией здания, они должны обладать высокой механической прочностью, необходимыми теплотехническими и звукоизоляционными свойствами, соответствующей огнестойкостью и другими качествами. Рассмотрим некоторые виды конструкций наружных стен, применяемых при проектировании и строительстве в условиях г. Благовещенска.

Кирпичная кладка все также любима, востребована и желанна человеком. И по сей день она хранит в себе очарование древности, благообразие и прочность. Но стены сплошной конструкции не удовлетворяют теплотехническим и экономическим критериям. Новый СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» предусматривает резкое возрастание требуемого приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций в целях экономии энергии при обеспечении оптимальных параметров микроклимата. Нормативные требования к тепловой изоляции зданий и сооружений резко в 3,3–3,4 раза возросли. По существу произошел переход от санитарно-гигиенических критериев тепловой защиты зданий к экономическим, направленным на снижение расходов энергоресурсов на отопление зданий.

Это потребовало радикальной переоценки материалов, применяемых в наружных ограждениях, и существенного изменения конструктивных решений наружных стен. В новом строительстве не удовлетворяют теплотехническим и экономическим критериям наружные стены сплошной однородной конструкции из таких традиционных материалов, как легкие бетоны, кирпич и дерево [5].

Выполним теплотехнический расчет и определим толщину стены из сплошной кладки из глиняного кирпича.

Приведенное сопротивление теплопередаче  $R_0$ ,  $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$  ограждающих конструкций следует принимать не менее нормируемых значений  $R_{\text{req}}$ ,  $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ , определяемых по таблице 4 (СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий») в зависимости от градусо-суток района строительства  $D_d$ ,  $^\circ\text{C} \cdot \text{сут}$ .

Градусо-сутки отопительного периода  $D_d$ ,  $^\circ\text{C} \cdot \text{сут}$ , определяем по формуле

$$D_d = (t_{\text{int}} - t_{\text{ht}}) \cdot z_{\text{ht}}, \quad (3.1)$$

где  $t_{\text{int}}$  – расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания,  $^\circ\text{C}$ ,  
 $t_{\text{ht}}$ ,  $z_{\text{ht}}$  – средняя температура наружного воздуха,  $^\circ\text{C}$ , и продолжительность, сут, отопительного периода.

Определяем градусо-сутки отопительного периода для г. Благовещенска:

$$D_d = (20 + 10,7) \cdot 210 = 6447,0^\circ\text{C} \cdot \text{сут}$$

Требуемое приведенное сопротивление теплоотдачи составит:

$$R_{\text{req}} = 3,66 \text{ м}^2\text{C}/\text{Вт}.$$

Сопротивление теплопередаче  $R_0$ ,  $\text{м}^2\text{C}/\text{Вт}$  ограждающей конструкции следует определять по формуле:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_B} + R_K + \frac{1}{\alpha_H}, \quad (3.2)$$

где  $R_K$  – термическое сопротивление ограждающей конструкции,  $\text{м}^2\text{C}/\text{Вт}$ ;  
 $\alpha_H = 23 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{C}$  – коэффициент теплоотдачи (для зимних условий) наружной поверхности ограждающей конструкции,  $\text{Вт}/\text{м}^2\text{C}$ .

Термическое сопротивление  $R_K$ ,  $\text{м}^2\text{C}/\text{Вт}$ , ограждающей конструкции с последовательно расположенными слоями следует определять как сумму термических сопротивлений отдельных слоев:

$$R_K = R_1 + R_2 + \dots + R_n, \quad (3.3)$$

где  $R_1, \dots, R_n$  – термическое сопротивление отдельных слоев ограждающей конструкции,  $\text{м}^2\text{C}/\text{Вт}$ , определяемое по формуле:

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (3.4)$$

где  $\delta$  – толщина слоя, м.

$\lambda$  – расчетный коэффициент теплопроводности слоя материала,  $\text{Вт}/\text{м}^2\text{C}$ , принимаемый по приложению СП 50.13330.2012

$$R_0 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{X}{0,81} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{1}{23} \geq 3,66; \quad X \geq 2,48.$$

В результате расчетов получена толщина однородной кирпичной стены для Благовещенска 2,48 м.

Таким образом, ужесточение требований в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» заставляет проектировщиков обратить особое внимание на использование новых конструктивных решений фасадов.

Однослойными могут быть наружные стены из таких материалов, как ячеистый бетон, полистиролбетон и в некоторых случаях керамзитобетон. Критерием в этом случае является плотность (и зависящая от нее теплопроводность) этих материалов, которая не должна быть более  $600 \text{ кг/м}^3$ . Этому показателю со значительным запасом удовлетворяет полистиролбетон, плотность которого в конструкциях наружных стен составляет  $250\text{--}350 \text{ кг/м}^3$  при соответствующих значениях коэффициентов теплопроводности. Вместе с тем полистиролбетон такой плотности имеет самую низкую прочность ( $7\text{--}12 \text{ кг/см}^2$ ) и недостаточную морозостойкость. При такой прочности наружные стены могут быть только ненесущими, кроме того, проблемным является закрепление на стенах карнизов, полков и т. п. Недостаточная морозостойкость требует обязательной фасадной защиты, в качестве которой обычно используют внешнюю облицовку в полкирпича. Стоимость полистиролбетона выше на 25 - 40 % пенополистирола. Эти обстоятельства ограничивают применение полистиролбетона в конструкциях наружных стен.

Наиболее перспективно в однослойных наружных стенах применение ячеистых бетонов. Важнейшими физико-механическими показателями ячеистых бетонов являются прочность, плотность, морозостойкость, теплопроводность, усадка и водопоглощение [5].

В Благовещенском районе Амурской области при возведении гражданских зданий остается приоритетна и любима кирпичная кладка. Поэтому по условиям энергосбережений предлагается выполнять слоистую конструкцию стен. Кирпичные стены по условиям энергоэффективности должны быть, как правило, слоистыми с использованием эффективного утеплителя для обеспечения требуемой теплозащиты. Расчеты и практика проектирования показали, что эффективным в этом случае может считаться утеплитель, расчетный коэффициент теплопроводности которого не превышает  $0,05\text{--}0,06 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$  для строительства объектов гражданского строительства в Благовещенске и Благовещенском районе.

Рассмотрим особенности возведения трехслойных стен из кирпича Традиционная оштукатуренная кирпичная кладка дает возможность создавать интересные и выразительные архитектурные решения, которые при этом решают одновременно проблемы тепло-энергосбережений (при облегченной кладке).

Между наружной (облицовочной, толщиной 120 мм) и внутренней (несущей, толщиной 510 мм) стенками, выложенными из кирпича расположен слой теплоизоляционного материала (пенополистирола). Плита из пенополистирола толщиной 5 см по теплотехническим параметрам эквивалентна кирпичной стене толщиной 1 м. Таким образом, решается противоречие между строительной механикой и теплотехникой.

Выполним теплотехнический расчет для облегченной кирпичной кладки. Теплотехнические характеристики слоев многослойной наружной стены из кирпича приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Теплотехническая характеристика слоев для многослойной наружной кирпичной стены

| Слои конструкции наружной стены                                                             | $\delta$ , мм | $\lambda_0$ , Вт/м $^{\circ}\text{C}$ |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------------|
| Цементно - песчаный раствор                                                                 | 20            | 0,93                                  |
| Кирпичная кладка из сплошного кирпича глиняного обыкновенного на цементно-песчаном растворе | 640           | 0,81                                  |
| Пенополистирол                                                                              | X             | 0,04                                  |
| Кирпичная кладка из сплошного кирпича глиняного обыкновенного на цементно-песчаном растворе | 120           | 0,81                                  |
| Цементно - песчаный раствор                                                                 | 20            | 0,93                                  |

$$R_0 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,64}{0,81} + \frac{X}{0,04} + \frac{0,12}{0,81} + \frac{1}{23} \geq 3,66$$

$X \geq 0,09 \text{ м}$ . Принимаем толщину утеплителя 100 мм, общая толщина стены составит 0,86 м.

Применение трехслойной конструкции для утепления стен здания требует проработки всех законов строительной физики.

*Во-первых*, ремонтно-восстановительные работы такой конструкции чрезвычайно дороги и трудоемки, поэтому к применяемому утеплителю нужно подходить с особой ответственностью. Главных требований два:

– высокая устойчивость к усадке (а обеспечить это условие могут только плиты плотностью не менее 45-60 кг/м<sup>3</sup>);

– материал обязательно должен быть гидрофобизирован (водопоглощение по объему не более 1 %).

*Во-вторых*, в рассматриваемой системе внутренний слой каменной кладки несет на себе все механические нагрузки, приходящиеся на наружные стены (его толщина определяется из прочностного расчета). Слагать его могут только надежные и прочные камни. Поэтому при возведении здания предлагается силикатный кирпич.

*В-третьих*, перед внешним слоем стоят две совершенно другие, но не менее важные задачи: украшать фасад и защищать утеплитель. Поэтому наружная стенка всегда тоньше и стройнее внутренней.

*В-четвертых*, чтобы нагруженный и ненагруженный слои в системе работали дружно, используют специальные связи. В такой конструкции нельзя выполнять их жесткими, т.е. из тех же каменных материалов, из которых выполнены слои. Причина в том, что кирпичные перемычки, пересекающие утеплитель, превращаются в «мостики холода», через которые на улицу течет из дома тепло. Самое эффективное решение, позволяющее повысить теплотехническую однородность и снизить теплопотери – использование гибкой стеклопластиковой или базальтопластиковой арматуры. Коэффициент теплопроводности таких связей 0,45 Вт/м·°С против 50 Вт/м·°С у гибких стальных связей. Они укладываются в швы кладки на глубину 60-80 мм на расстоянии 600 мм друг от друга по высоте стены и 500-1000 мм вдоль стены (2-5 штуки на 1 м<sup>2</sup>).

*В-пятых*, для предотвращения образования «мостиков холода», балки и плиты перекрытий должны опираться только на внутреннюю стенку и не заходить в толщу утеплителя.

Современная строительная индустрия постоянно требует применения новых материалов и технологий, отличающихся экономичностью, практичностью, надежностью. Расположение плотных, плохо пропускающих водяные пары материалов изнутри, а легких и пористых снаружи благоприятно влияет на влажностный режим стены и не создает условий для скопления в ней влаги. Если же теплоизоляционный материал надежно защищен от атмосферных воздействий (дождя, снега, солнечной радиации), такая стена в течение всего года сохраняет высокие теплозащитные свойства.

С точки зрения поддержания нормального температурно-влажностного режима утепление с наружной стороны стены является оптимальным.

Фасады этого типа представляют собой конструкцию, в которой между утеплителем и защитной облицовкой расположена вентилируемая воздушная прослойка, показана на рисунке 3.1.

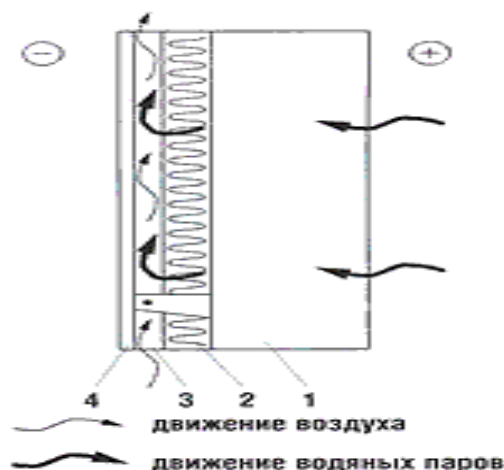


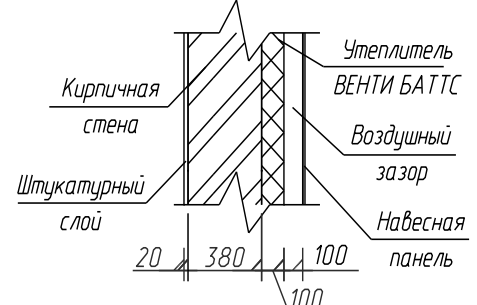
Рис. 3.1. Схема фасадной стены с вентилируемой воздушной прослойкой:  
1 – утепляемая стена; 2 – утеплитель; 3 – вентилируемая воздушная прослойка;  
4 – наружная облицовка

Идеальным решением для наружного покрытия стен являются вентилируемые фасады, в которые сегодня «одеваются» многие объекты жилищной и коммерческой недвижимости в городе Благовещенске.

Выполним теплотехнический расчет для стены, выполненной по конструкции вентилируемого фасада. Теплотехнические характеристики слоев такой конструкции приведены в таблице 3.2

Таблица 3.2.

Характеристика материалов наружной стены

|  | Наименование                                               | $\rho$<br>(кг/м <sup>3</sup> ) | $\delta$ (м) | $\lambda$<br>(Вт/м <sup>2</sup> ·°С) |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------|--------------------------------------|
|                                                                                     | Кирпичная кладка                                           | 1800                           | 0,38         | 0,87                                 |
|                                                                                     | Минераловатные плиты ВЕНТИ БАТТС (ТУ 5762-004-45757203-99) | 85                             | х            | 0,036                                |
|                                                                                     | Цементно-песчаный раствор (штукатурка)                     | 1800                           | 0,02         | 0,93                                 |
|                                                                                     |                                                            |                                |              |                                      |

$$\delta_{yt} = \left[ R_0^{mp} - \left( \frac{1}{\alpha_s} + \frac{\delta}{\lambda_1} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_n} \right) \right] \cdot \lambda_{yt},$$

$$\delta_{yt} = \left[ 3,66 - \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,38}{0,87} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{1}{12} \right) \right] \cdot 0,036 = 0,1 \text{ м}$$

Как видно из результатов теплотехнического расчета для конструкции вентилируемого фасада толщина стены самая минимальная и составляет всего 0,5 м.

Навесные вентилируемые фасады – идеальная защита здания. Основная идея новейших решений устройства навесных вентилируемых фасадов – это технологичность, быстрота и качество в придании нового современного облика строящемуся или реконструируемому фасаду здания, возможность дополнительного утепления стен фасада, долгий срок эксплуатации: 25-45 лет. С помощью вентилируемого фасада можно решить целый ряд важнейших вопросов: тепло- и звукоизоляция стен зданий, а также их

защита от тепловых деформаций и воздействия окружающей среды. К его преимуществам можно отнести отказ от предварительной подготовки стен для монтажа фасадов, а также, что немаловажно, длительный срок эксплуатации и высокая ремонтпригодность вентилируемого фасада. Для устройства вентилируемого фасада могут применяться разнообразные облицовочные материалы (керамогранит, кассеты, алюкобонд).

Системы вентилируемых фасадов имеют хорошую тепло- и звукоизоляцию, они экологичны и экономичны, быстро монтируются на любую поверхность, не требуют покраски, оштукатуривания и применения других «косметических» средств. Вентилируемый фасад значительно сокращает расходы в процессе эксплуатации здания. В летнее время тепловая защита предохраняет стены от перегрева и минимизирует применение дополнительных систем кондиционирования. Зимой воздушная прослойка между фасадом и стеной здания уменьшает теплопотери, а наружная теплоизоляция способствует накоплению тепла в несущих строительных конструкциях. Навесным вентилируемым фасадам не требуется капитальный ремонт, а в случае необходимости просто заменяется один из элементов конструкции фасада, что выполняется в сжатые сроки и не влечет за собой значительных финансовых затрат.

При этом можно заменить традиционную кирпичную кладку внутренней части стены на более легкие и теплоизоляционные материалы. Предлагается следующее конструктивное решение, когда внутренняя часть стены выполнена из газосиликатных блоков, как показано на рисунке 3.2. При этом толщина стены будет составлять всего 0,41 м.

Вентилируемый фасад в будущем принесет значительную финансовую экономию в оплате использованной электрической и тепловой энергии, текущих ремонтах. Учитывая вышеперечисленные достоинства можно рекомендовать вентилируемый фасад как более эффективный вид ограждающих конструкций зданий.

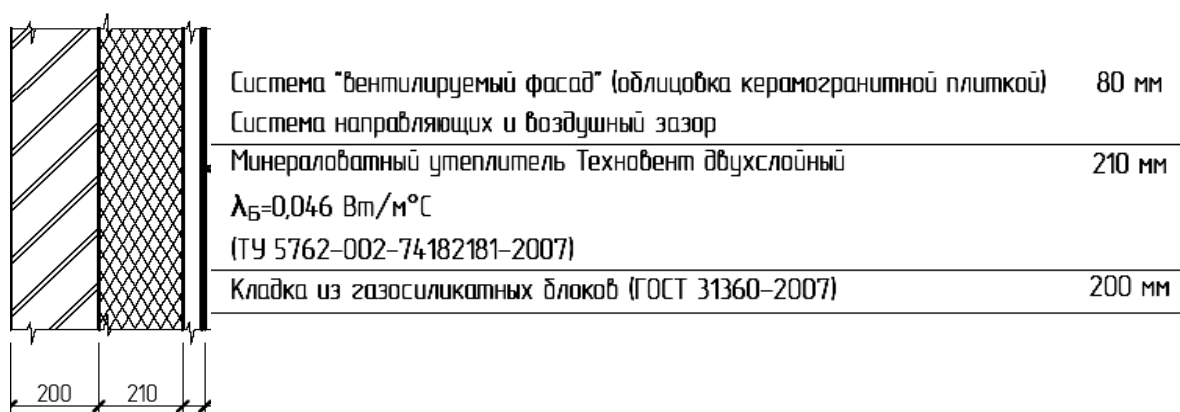


Рис. 3.2. Конструкция вентилируемого фасада для каркасного общественного здания

Утепление стен лучше проводить снаружи, что значительно эффективнее защищает от ветра и создаёт нормальный теплообмен. Расположение плотных, плохо пропускающих водяные пары материалов изнутри, а легких и пористых снаружи благоприятно влияет на влажностный режим стены и не создает условий для скопления в ней влаги.

Нужно учитывать, что теплоизоляционные материалы минеральная вата, пенопласт и стекловата имеют нежелательное свойство накапливать влагу и затем промерзают. Поэтому их требуется защищать сверху плёнкой с обеих сторон.

Если же проектируются однослойные ограждающие конструкции, то необходимо повышать их пористость (например, ячеистые легбетонные смеси с коэффициентом теплопроводности  $0,10-0,15 \text{ Вт/м}^2\text{С}^\circ$ ).

Наиболее экономично проектирование и возведение каркасных зданий с последующей отделкой лёгкими утеплителями. Они намного дешевле и имеют низкую теплоот-

дачу. В каркасных зданиях, несущие функции выполняют монолитные железобетонные колонны, а кирпичные стены выполняют ограждающие функции. Такие стены устанавливаются на консоль монолитного перекрытия, таким образом, стены распределяют свою нагрузку поэтажно. Толщина таких стен составляет 0,38 м. Но такая толщина не справляется с теплотехническими требованиями, поэтому в качестве наружной отделки предлагается утеплять их с наружной стороны эффективным теплоизоляционным материалом, толщиной не менее 0,14 м. В результате, толщина стены составит 0,52 м.

Необходимо использовать инновационные оконные системы (трехкамерные конструкции со специальной теплозащитной технологией примыкания окон к стенам). Такие окна могут сократить потери тёплого воздуха до 40 %. Большое количество окон по возможности ориентировать на юг и юго-запад, откуда поступает максимальное количество инсоляции, что будет приносить больше тепла, чем его потерь.

Незаметная потеря тепла происходит через инфракрасное излучение, которое беспрепятственно проникает сквозь стену, забирая с собой тепло. При борьбе с невидимым излучением тепла эффективна плёнка с содержанием алюминия (пенофол). Она удерживает тепло зимой и прохладу летом. Это тоже дополнительное единовременное вложение и удорожание стоимости квадратного метра здания, но зато значительно уменьшит эксплуатационные затраты.

При проектировании зданий можно достигнуть эффективности в вопросе энергосбережений при принятии архитектурно-планировочных решений. Существенное влияние на удельные теплопотери в жилых и общественных зданиях оказывают их объемно-планировочные решения и, в частности, соотношение площади ограждающих конструкций к общей площади зданий, соотношение площади оконных проемов к площади наружных стен, конфигурация зданий в плане, размещение их на рельефе и относительно стран света.

В этой области можно рекомендовать следующие планировочные решения:

1. Переход на проектирование и строительство ширококорпусных жилых домов с сокращением на 20 - 30 % удельной площади ограждающих конструкций на квадратный метр площади жилья.

2. Использование ширококорпусных домов при вторичной застройке реконструируемых кварталов, в том числе с возведением ширококорпусных домов вторичной застройки на месте существующих пятиэтажных домов без их сноса, но с одновременной реконструкцией и продлением жизненного цикла до уровня новых зданий.

3. Возведение мансардных этажей на существующих зданиях с ограждающими конструкциями повышенной теплозащиты, соответствующей второму этапу норм «Строительная теплотехника», исключая тем самым сверхнормативные потери тепла через покрытия реконструируемых зданий [99].

Для повышения энергоэффективности зданий необходимо также применять регулируемые приборы отопления. Автоматизированные системы управления техническими устройствами в здании снижают температуру помещения во время отсутствия людей или в ночное время. Такое отопительное оборудование позволит контролировать и автоматически регулировать интенсивность отопления в зависимости от температуры на улице.

Необходимо повышать уровень теплозащиты ограждающих конструкций и в зданиях старой застройки. Для существующего жилого фонда зданий в области повышения энергоэффективности необходим капитальный ремонт или реконструкция, когда устанавливаются новые, более эффективные приборы центрального отопления, в квартирах и подъездах жилых домов монтируются пластиковые окна с двойными и тройными стеклопакетами, остекляются балконы, а фасад облицовывается теплоизолирующими современными материалами. При таком решении обеспечивается существенное повышение теплотехнической однородности наружных ограждений. Дополнительная

теплозащита достигается при этом простым конструктивным решением, без выселения жильцов во время ремонта. Улучшение температурно-влажностного режима существующих наружных ограждений и повышение их энергосберегающих свойств сохраняет при этом существующую полезную площадь [88]. По расчетам специалистов, после реконструкции теплопотери дома снижаются на 30 - 40 %.

Здания, составляющие жилищный фонд Амурской области, многообразны. Они отличаются друг от друга не только архитектурой, объемно-планировочными решениями, этажностью, инженерным оборудованием, но и конструктивными решениями и строительными материалами, используемыми для их строительства.

С позиции энергетических характеристик здания можно классифицировать по периоду строительства. Период строительства зданий в достаточно точной степени дает представление об их объемно-планировочном и конструктивном решении, а также о материале ограждающих конструкций.

Здания жилищного фонда Амурской области можно разделить на восемь периодов строительства: дореволюционный (до 1917 г.); послереволюционный (с 1917 по 1927 гг.); довоенный (с 1928 по 1945 гг.); послевоенный (с 1946 по 1957 гг.); типовых домов с малогабаритными квартирами (с 1958 по 1970 гг.); домов по каталогам унифицированных изделий (с 1971 по 1980 гг.); современный (с 1981 по 2000 гг.); домов с повышенными теплозащитными качествами (после 2000 г.). Очевидно, что здания, построенные в различные периоды, имеют разную степень износа.

Существенной частью городского жилищного фонда Амурской области являются типовые дома первых массовых серий: крупнопанельные, кирпичные. У таких домов низкие теплозащитные качества наружных ограждений и, как следствие, высокое теплопотребление в отопительный период года. Вместе с тем, эти дома построены из долговечных материалов (бетон, кирпич), обустроены всеми основными видами инженерного оборудования, предназначены для посемейного заселения квартир. Не вызывают беспокойства прочность, устойчивость и конструктивная надежность зданий. Подавляющее большинство из них обладает запасами прочности, способными воспринять нагрузку от надстраиваемых одного-двух этажей без усиления существующих несущих конструкций. Это позволяет ощутимо (на 25...40 %) снизить себестоимость дополнительного жилья, получаемого при реконструкции, по сравнению с аналогичными показателями в новом строительстве [95].

Повышение теплозащитных качеств наружных ограждающих конструкций эксплуатируемых жилых домов может являться как самостоятельным мероприятием, так и входить в состав комплекса работ по обновлению зданий. Эти работы могут проводиться при капитальном ремонте, реконструкции.

Зарубежный опыт обновления жилищного фонда с применением новых технологий, позволяющих производить реконструкцию жилого дома без выселения жильцов, увеличивать его этажность и осуществлять ремонт здания на средства, полученные от продажи квартир, свидетельствует о возможности получения дополнительного жилья с меньшими финансовыми затратами, чем это потребовало бы новое строительство. При проведении мероприятий по термообновлению зданий в Амурской области важнейшим условием является применение современных конструктивных решений дополнительного утепления наружных ограждений, приспособленных к российским условиям.

Проблему повышения теплозащиты наружных стен существующих зданий технически можно решить путем их утепления либо с наружной, либо с внутренней стороны. Выбор конкретного варианта расположения теплоизоляции выполняется на основе анализа его достоинств и недостатков.

Вариант устройства дополнительной теплоизоляции снаружи здания имеет следующие достоинства:

- обеспечивается защита основного материала стены (кирпичная кладка, бетон) от переменного замораживания и оттаивания и других атмосферных воздействий;
- выравниваются температурные колебания основного массива стены, благодаря чему исключается появление в нем трещин вследствие неравномерных температурных деформаций, что особенно актуально для наружных стен из крупных панелей. Эти факторы благоприятствуют увеличению долговечности несущей части наружной стены;
- сдвигается точка росы во внешний теплоизоляционный слой, благодаря чему исключается отсыревание внутренней части стены;
- создается благоприятный режим стены по условиям ее паропроницаемости, исключая необходимость устройства специальной пароизоляции;
- создаются условия формирования более благоприятного микроклимата помещения вследствие возрастания теплоаккумулирующей способности массивной части стены. По данным [97] кирпичные стены с наружной теплоизоляцией при отключении источника тепла остывают в 6 раз медленнее стен с внутренней теплоизоляцией при одной и той же толщине слоя утеплителя. Поэтому колебания уровня теплоотдачи систем отопления, кратковременные притоки холодного воздуха при открывании окон и дверей, температурные колебания наружного воздуха не столь ощутимо сказываются на внутреннем микроклимате помещений. Эта особенность наружной теплоизоляции может быть использована для экономии энергии в системах с регулируемой подачей тепла, а также при пассивном использовании солнечной энергии в случае значительных размеров светопрозрачных ограждений, что может обеспечить до 18 - 25 % экономии тепловых ресурсов при ориентации помещений на юг для центральных и южных регионов;
- улучшается в ряде случаев архитектурно-художественный облик фасадов зданий;
- сохраняется площадь помещений;
- обеспечивается возможность утепления зданий без создания дискомфортных условий проживания или выселения жильцов.

Недостаток этого способа состоит в необходимости применения специальных средств подмащивания.

Этого недостатка лишен способ утепления наружных стен изнутри здания. Кроме того, внутренняя теплоизоляция более выгодна для уменьшения теплопотерь в углах здания. Однако в общем балансе теплопотерь значительно более эффективной оказывается наружная теплоизоляция и, в первую очередь, из-за существенного превышения суммарной длины теплопроводных включений в виде примыканий внутренних стен и перекрытий по фасадам здания над длиной теплопроводных включений в его углах.

Если при наружной теплоизоляции теплопотери через теплопроводные включения снижаются при утолщении слоя утеплителя, и в ряде случаев ими можно пренебречь, то при внутренней теплоизоляции негативное влияние этих включений возрастает с увеличением толщины слоя утеплителя. По данным [97], в случае устройства теплоизоляции снаружи толщина слоя утеплителя может быть на 25 - 35 % меньше, чем для случая внутренней теплоизоляции. Особо следует отметить, что при устройстве внутреннего утепления требуется демонтаж отопительных приборов, а также разборка конструкции полов в местах примыкания к наружным стенам. Эти работы достаточно сложно выполнить без отселения жильцов.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод, что, в первую очередь, следует применять наружную теплоизоляцию стен зданий. Внутреннюю теплоизоляцию допустимо применять только при невозможности использования наружной при обязательном расчете и проверке годового баланса влагонакопления в конструкции.

Внутренняя теплоизоляция может выполняться в зданиях временного пребывания людей (туристических базах, временках и т. п.), а также в зданиях со сложной архитектурной формой фасадов, представляющих художественную или историческую ценность.

Заключение: при проектировании и возведении зданий в городе Благовещенске, для повышения энергоэффективности зданий рекомендуется следующее:

- многослойная эффективная теплоизоляция ограждающих конструкций;
- применение эффективного теплоизоляционного материала типа пенополистирол, минеральная вата и так далее (с коэффициентом теплопроводности 0,03-0,05 Вт/м<sup>2</sup>С°, при этом утеплитель стен эффективнее располагать снаружи;
- защита теплоизоляционного материала сверху плёнкой с обеих сторон для повышения теплозащитных качеств;
- при проектировании однослойных ограждающих конструкций необходимо повышать их пористость и применять материалы с коэффициентом теплопроводности 0,10-0,15 Вт/м<sup>2</sup>С°;
- проектировать и возводить каркасные здания с последующей отделкой лёгкими утеплителями;
- использовать инновационные оконные системы;
- для защиты от потери тепла через инфракрасное излучение использовать плёнку с содержанием алюминия (пенофол);
- принимать эффективные объемно-планировочные решения (например, ширококорпусные жилые дома);
- применять регулируемые приборы отопления.

Для утепления целесообразно применять легкие эффективные теплоизоляционные материалы. Можно дать следующие рекомендации по применению теплоизоляционных материалов в Благовещенске:

В качестве основного теплоизоляционного материала следует использовать экструдированный пенополистирол, например, «Европлекс» XPS-35, т.к. он обладает высокой прочностью на сжатие, небольшим удельным весом, и сравнительно небольшой ценой.

Для противопожарной защиты следует выполнять рассечки над оконными проемами на глубину не менее 150мм, а также устраивать противопожарный межэтажный разрыв, стартовые и финишные рассечки, из негорючей минеральной ваты, например, «Базалит Л-75». Так как в отличие от пенополистирола они обладают высокой термостойкостью (температура применения материала составляет до + 700 градусов), не горят, сохраняют свои свойства и геометрическую форму, при воздействии огня не выделяют в атмосферу вредных и опасных веществ.

При строительстве жилых зданий желательно использовать только негорючие минераловатные плиты, например, Базалит 125, или Rockwool Венти Баттс (для вентилированных фасадов);

Рекомендуется применять для внутреннего слоя стены газосиликат. Это новый для Амурской области материал. Тем более что он существенно повышает теплоизоляционные качества стены, имеет высокую прочность, позволяет сократить толщину стены, ее вес, приводит к существенной экономии, является экологичным, и негорючим материалом [93].

Единовременные капитальные затраты на возведение здания, за счет применения дорогих эффективных материалов, конечно увеличится. Но такие конструктивные решения снизят будущие затраты на эксплуатацию здания.

Особенностью современного проектирования жилых зданий должна являться система энергосберегающих мероприятий обеспечивающих снижение затрат энергии на поддержание комфортных условий микроклимата.

## ГЛАВА 4 ОПТИМИЗАЦИЯ ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТОГО ТОНКОСТЕННОГО СТЕРЖНЯ ОТКРЫТОГО ПРОФИЛЯ

### 4.1 Постановка задачи оптимизации центрально-сжатого тонкостенного стержня открытого профиля

В данной работе объектом исследования является тонкостенный стержень открытого профиля.

Примем геометрические допущения В.З. Власова (в тех случаях, в которых это не вносит существенную ошибку) о деформировании тонкостенного стержня открытого профиля [14]: 1) профильная линия поперечного сечения тонкостенного стержня открытого профиля является недеформируемой в плоскости этого сечения; 2) деформации сдвига срединной поверхности тонкостенного стержня открытого профиля равны нулю.

Полагаем, что материал стержня однородный, сплошной, изотропный, идеально упругий, соответствует закону Р. Гука (Robert Hooke).

Предмет исследования – оптимальное проектирование центрально-сжатого тонкостенного стержня открытого профиля.

Устанавливаем связь между размерами поперечных сечений стержня и параметрами проектирования (оптимизации)  $s_i$  ( $i = \overline{1, n_s}$ ), где  $n_s$  – количество таких параметров. Например, эти размеры и параметры проектирования могут быть тождественны между собой. Полагаем, что указанные размеры принимают дискретные значения.

Совокупность параметров проектирования образует вектор  $\bar{s}$  размерностью  $n_s$ , который представляет собой некоторое сочетание параметров проектирования.

Задаем множество  $\Omega_b^{(s)}$  возможных сочетаний параметров проектирования (соответствует множеству возможных или принципиально реализуемых конструкций [53]), каждый элемент которого определяет стержень с положительными размерами поперечных сечений стержня и, возможно, с некоторыми дополнительными требованиями к таким размерам. Само это множество может определяться, например, имеющимся в наличии (предполагаемым к использованию) листовым прокатом определенной толщины (из которого будет изготавливаться стержень) или максимально возможными габаритами поперечного сечения стержня (например, исходя из технологических или архитектурных требований).

Устанавливаем связь между вектором параметров проектирования и объемом  $V$  стержня:

$$V = V(\bar{s}). \quad (4.1)$$

Полагаем, что стержень центрально сжат (возможно, что не по всей своей длине) квазистатическими нагрузками (силами), характеризующимися параметрами  $F_i$  ( $i = \overline{1, n_F}$ ), где  $n_F$  – количество таких параметров.

Совокупность параметров нагрузок образует вектор  $\bar{F}$  размерностью  $n_F$ , который представляет собой некоторое сочетание нагрузок.

Все возможные сочетания нагрузок, определяемые условиями функционирования системы (например, снеговым районом строительства, схемами снеговых нагрузок и др.), объединим множеством  $\Omega_b^{(F)}$  возможных сочетаний нагрузок. Пусть элементы этого множества могут быть представлены или изолированными точками, или сим-

плексом.

Пусть выполнение условий (ограничений)

$$g_i(\bar{s}, \bar{F}) \leq 0, \quad i = \overline{1, n_g}, \quad (4.2)$$

показывает допустимость системы, а невыполнение – недопустимость. Здесь  $n_g$  – количество ограничений (общей устойчивости, местной устойчивости и др.).

Требуется найти такой вектор  $\bar{s}^*$  оптимальных параметров проектирования, что

$$\begin{aligned} \bar{s}^* &\in \Omega_B^{(s)} \cap \Omega_D^{(s)}(\bar{F}) \quad \forall \bar{F} \in \Omega_B^{(F)}, \\ \Omega_D^{(s)}(\bar{F}) &= \{\bar{s} \mid g_i(\bar{s}, \bar{F}) \leq 0, \quad i = \overline{1, n_g}\}, \end{aligned} \quad (4.3)$$

где  $\Omega_D^{(s)}(\bar{F})$  – множество допустимых сочетаний параметров проектирования системы, на которую действуют нагрузки, параметры которых объединены вектором  $\bar{F}$ , при учете всех вводимых ограничений.

Это множество соответствует множеству допустимых конструкций [53] при  $\bar{F}$ .

Причем вектор  $\bar{s}^*$  должен удовлетворять условию

$$V(\bar{s}^*) \leq V(\bar{s}) \quad (4.4)$$

при любом  $\bar{s}$ , для которого справедливо, что

$$\bar{s} \in \Omega_B^{(s)} \cap \Omega_D^{(s)}(\bar{F}) \quad \forall \bar{F} \in \Omega_B^{(F)}. \quad (4.5)$$

Очевидно, что  $V$  – целевая функция. А сама поставленная задача относится к задачам оптимизации сооружений.

#### 4.2 Метод решения задачи оптимизации центрально-сжатого тонкостенного стержня открытого профиля

Метод решения поставленной задачи восходит к приведенному в монографии [32]. Применительно к сжатому стержню он описан в работе [31]. На рисунке 4.1 изображена укрупненная блок-схема этого метода.

Работоспособность подобной блок-схемы проявилась в ходе выполнения прежних исследований автора, описанных в монографии [32].

Для реализации рассматриваемого метода решается ряд дополнительных задач, среди которых имеются следующие:

- сформировать матрицу начальных напряжений (геометрической жесткости) тонкостенного стержня открытого профиля (для детализации блоков 2 и 7 блок-схемы);
- разработать процедуру поиска оптимальных размеров поперечного сечения тонкостенного стержня открытого профиля (для детализации блока 8 блок-схемы).

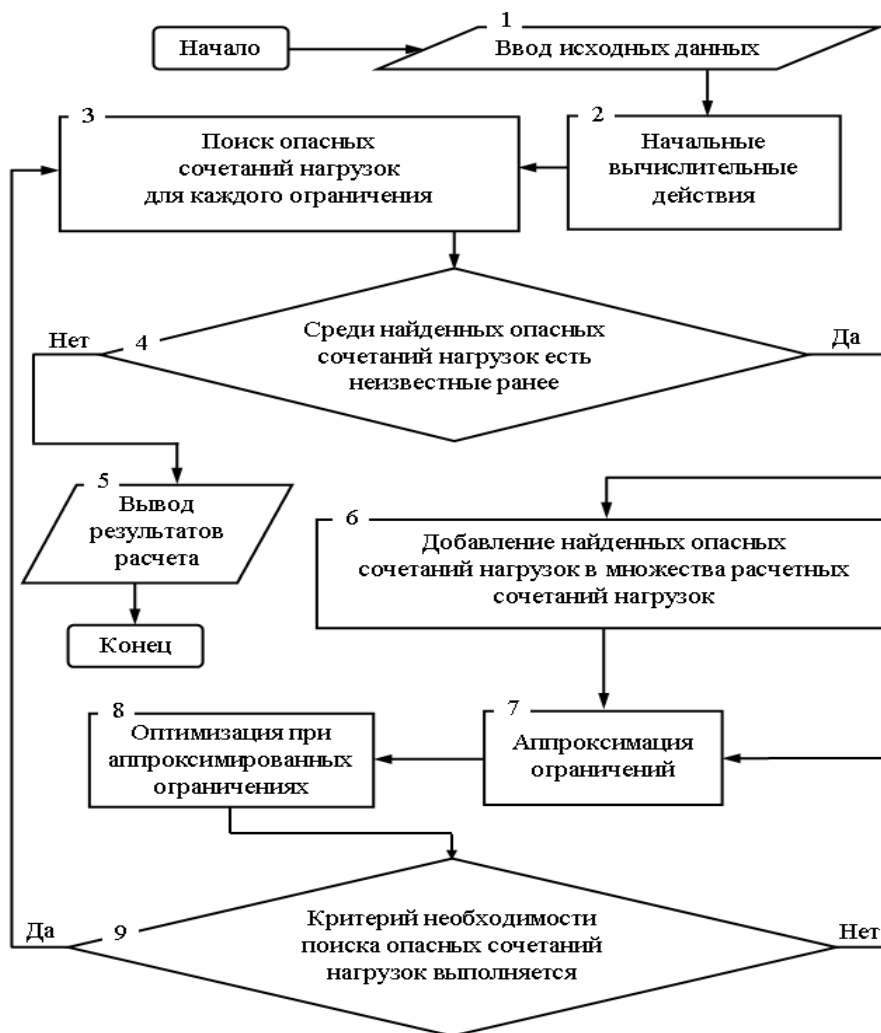


Рис. 4.1. Укрупненная блок-схема метода решения задачи оптимизации

#### 4.3 Матрица начальных напряжений (геометрической жесткости) тонкостенного стержня открытого профиля

Сформируем матрицу начальных напряжений (геометрической жесткости) тонкостенного стержня открытого профиля.

Это позволит развить метод конечных элементов применительно к расчету на общую устойчивость тонкостенного стержня открытого профиля и систем, в составе которых имеются такие стержни.

Для такого расчета необходимы матрица жесткости и матрица начальных напряжений (геометрической жесткости) тонкостенного стержня открытого профиля.

Формулы для вычисления элементов первой из этих матриц (при сформулированных выше условиях) известны (в части, касающейся кручения стержня, они приведены в работе) [12].

Задача о вычислении элементов второй матрицы представляет интерес (в связи с разнообразием возможных подходов к ее решению, необходимостью обеспечивать приемлемую точность моделирования явления потери устойчивости и др.).

В данной работе предлагается подход к формированию матрицы начальных напряжений (геометрической жесткости), отличающийся от изложенного в ранних ра-

ботах автора [34, 36] использованием иной формы параметрической части функционала устойчивости равновесия Дж. Брайана (G. N. Bryan): 1) компоненты деформации вычисляются по точной (а не приближенной) формуле нелинейной теории упругости (по формуле (I.22), а не (I.119) из работы [64]); 2) помимо нормального напряжения учтено касательное.

Наиболее близкие и подробные (на наш взгляд) исследования общей устойчивости тонкостенного стержня открытого профиля с применением функционала Дж. Брайана содержатся в работе [70]. Однако ни в ней, ни в продолжающей работе [71] метод конечных элементов для таких стержней не представлен.

Итак, пусть положение произвольной точки  $M$  тонкостенного стержня определяется в правой прямоугольной системе координат  $XYZ$  изображенный на рисунке 1.2 координатами:  $X$  – координата, отсчитываемая вдоль продольной оси  $X$  стержня;  $y$  и  $Z$  – координаты, отсчитываемые вдоль главных центральных осей  $Y$  и  $Z$  поперечного сечения стержня. Начало системы координат  $XYZ$  находится на одном из концов стержня, ось  $X$  направлена к другому концу стержня.

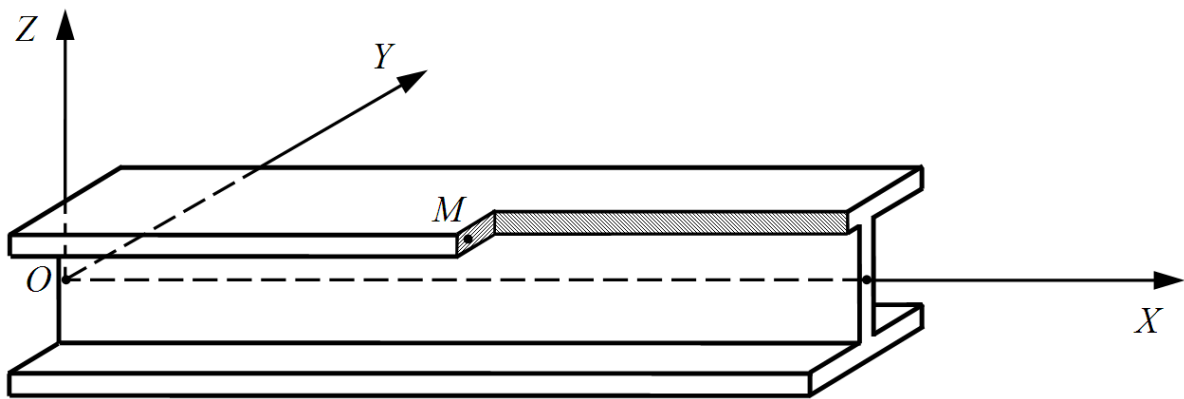


Рис. 4.2. Положение точки  $M$  тонкостенного стержня

Описать перемещение точки  $M$  можно тремя функциями:  $u(x, y, z)$  – перемещение вдоль линии, параллельной продольной оси  $X$  стержня;  $v(x, y, z)$  и  $w(x, y, z)$  – перемещения вдоль линий, параллельных главным центральным осям  $Y$  и  $Z$  поперечного сечения стержня.

Рассмотрим два состояния равновесия стержня: первое (начальное) состояние равновесия до потери устойчивости стержня, второе (новое) состояние равновесия.

Пусть  $u_0(x, y, z)$ ,  $v_0(x, y, z)$  и  $w_0(x, y, z)$  – перемещения точки  $M$  в начальном состоянии равновесия. Тогда перемещения той же точки в новом состоянии равновесия

$$\begin{aligned} u(x, y, z) &= u_0(x, y, z) + u_1(x, y, z), \\ v(x, y, z) &= v_0(x, y, z) + v_1(x, y, z), \\ w(x, y, z) &= w_0(x, y, z) + w_1(x, y, z), \end{aligned} \quad (4.6)$$

где  $u_1(x, y, z)$ ,  $v_1(x, y, z)$  и  $w_1(x, y, z)$  – дополнительные достаточно малые перемещения точки  $M$ , которые переведут ее из начального состояния равновесия в новое состояние равновесия.

Изменение полной потенциальной энергии системы с точностью до квадратов перемещений, описывающих переход системы в новое, отклоненное состояние, смежное

с начальным состоянием равновесия, устойчивость которого исследуется, можно записать в виде (4.7)

$$\Delta \mathfrak{E} = W_2 + \lambda V_2, \quad (4.7)$$

где  $\lambda$  – параметр нагрузки;

$W_2$  и  $V_2$  – величины, вычисляемые по формулам теории упругости.

Критический параметр  $\lambda^*$  нагрузки, показывающий, во сколько раз необходимо изменить величины действующих нагрузок, чтобы стержень потерял устойчивость, можно определить из условия (4.7).

$$\Delta \mathfrak{E} = W_2 + \lambda V_2 = 0. \quad (4.8)$$

При построении матрицы жесткости тонкостенного стержня открытого профиля можно воспользоваться слагаемым  $W_2$  из этого условия, а матрицы начальных напряжений (геометрической жесткости) –  $V_2$ .

Построение первой из этих матриц не является предметом данного исследования. Выражения для элементов матрицы жесткости известны (в части кручения – по работе [12]; одновременно для всех элементов такой матрицы они приводятся, например, в работе [34]).

Согласно теории В.З. Власова [15] в тонкостенном стержне открытого профиля нормальное напряжение не действует на площадках, параллельных продольной оси  $X$  стержня, а касательное – не действует на продольных гранях стержня. Поэтому формула для вычисления  $V_2$  из работы [8] при использовании энергетического критерия устойчивости (вариационного принципа) в форме Дж. Брайана (G. N. Bryan) примет вид

$$V_2 = \frac{1}{2} \int_V \bar{\sigma}_x^0 \left[ \left( \frac{\partial u_1}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v_1}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial w_1}{\partial x} \right)^2 \right] dV + \\ + \int_V \bar{\tau}_{xs}^0 \left[ \frac{\partial u_1}{\partial x} \frac{\partial u_1}{\partial s} + \frac{\partial v_1}{\partial x} \frac{\partial v_1}{\partial s} + \frac{\partial w_1}{\partial x} \frac{\partial w_1}{\partial s} \right] dV \quad (4.9)$$

где  $V$  – объем стержня;

$\bar{\sigma}_x^0$  и  $\bar{\tau}_{xs}^0$  – нормальное и касательное напряжения в точке  $M$ , действующие на площадке, перпендикулярной продольной оси  $X$  стержня, при  $\lambda = 1$  (эти напряжения определяют из решения линейной задачи для начального состояния равновесия системы);

$s$  – координата, отсчитываемая вдоль касательной к профильной линии поперечного сечения стержня.

Для вычисления  $V_2$  необходимо знать перемещения  $u_1(x, y, z)$ ,  $v_1(x, y, z)$  и  $w_1(x, y, z)$ .

Известно, что перемещения точки  $M$  определяются четырьмя функциями координаты  $x$  [75]:  $\xi$  – продольное перемещение (в направлении продольной оси  $X$  стержня) центра тяжести поперечного сечения стержня;  $\eta$  и  $\zeta$  – поперечные перемещения (в направлениях главных центральных осей  $Y$  и  $Z$  поперечного сечения стержня) центра изгиба поперечного сечения стержня;  $\varphi$  – угол поворота поперечного сечения стержня вокруг продольной оси  $X$  стержня.

Можем записать [75]

$$u_1 = \xi - y \frac{d\eta}{dx} - z \frac{d\zeta}{dx} - \omega \frac{d\varphi}{dx}, \quad v_1 = \eta - (z - a_z)\varphi, \quad w_1 = \zeta + (y - a_y)\varphi, \quad (4.10)$$

где  $\omega$  – секторальная координата точки  $M$ ;  $a_y$  и  $a_z$  – координаты центра изгиба поперечного сечения стержня, отсчитываемые вдоль главных центральных осей  $Y$  и  $Z$  поперечного сечения стержня.

Примем аппроксимирующие функции для конечного элемента:

$$\begin{aligned} \xi &= a_1 + a_2 x, \\ \eta &= a_3 + a_4 x + a_5 x^2 + a_6 x^3, \\ \zeta &= a_7 + a_8 x + a_9 x^2 + a_{10} x^3, \\ \varphi &= a_{11} + a_{12} x + a_{13} x^2 + a_{14} x^3, \end{aligned} \quad (4.11)$$

где  $a_i$  – некоторый  $i$ -й коэффициент.

Подставляя эти аппроксимирующие функции в выражения (4.10), а те (в свою очередь) – в формулу (9), получим (в части, касающейся одного конечного элемента)

$$V_2 = \frac{1}{2} \bar{a}^T K_\sigma \bar{a}, \quad \bar{a} = (a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 \ a_5 \ a_6 \ a_7 \ a_8 \ a_9 \ a_{10} \ a_{11} \ a_{12} \ a_{13} \ a_{14})^T, \quad (4.12)$$

где  $K_\sigma$  – матрица начальных напряжений (геометрической жесткости) тонкостенного стержня открытого профиля (симметричная размером  $14 \times 14$ ).

При формировании матрицы  $K_\sigma$  напряжения  $\bar{\sigma}_x$  и  $\bar{\tau}_{xs}$  определяются формулами (14)

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_x &= \frac{N}{A} + \frac{M_y}{I_y} z + \frac{M_z}{I_z} y + \frac{B_\omega}{I_\omega} \omega, \\ \bar{\tau}_{xs} &= \frac{Q_z S_y^{\text{от}}}{I_y t} + \frac{Q_y S_z^{\text{от}}}{I_z t} + \frac{M_\omega S_\omega^{\text{от}}}{I_\omega t}, \end{aligned} \quad (4.13)$$

где  $N$  – продольная сила;  $M_y$  и  $M_z$  – изгибающие моменты, взятые относительно главных центральных осей  $Y$  и  $Z$  поперечного сечения стержня;

$Q_y$  и  $Q_z$  – поперечные силы, направленные вдоль главных центральных осей  $Y$  и  $Z$  поперечного сечения стержня;

$B_\omega$  – изгибно-крутящий бимомент;

$M_\omega$  – изгибно-крутящий момент;

$A$  – площадь поперечного сечения стержня;

$I_y$  и  $I_z$  – осевые моменты инерции поперечного сечения стержня, взятые относительно главных центральных осей  $Y$  и  $Z$  этого сечения;

$I_\omega$  – секторальный момент инерции поперечного сечения стержня;  $S_y^{\text{от}}$ ,

$S_z^{\text{от}}$  и  $S_\omega^{\text{от}}$  – статические моменты отсеченной части поперечного сечения

стержня;  $t$  – толщина стенки тонкостенного стержня открытого профиля.

При выводе формул для вычисления элементов матрицы  $K_\sigma$  вводятся дополнительные геометрические характеристики поперечного сечения стержня:

$$I_{ijk} = \int_A ijk dA, \quad I_{ijk}^{\text{от}} = \int_A \frac{S_i^{\text{от}}}{t} \frac{dj}{ds} k dA, \quad I_{ij}^{\text{от}} = \int_A \frac{S_i^{\text{от}}}{t} \frac{dj}{ds} dA, \quad (4.14)$$

где  $i$ ,  $j$  и  $k$  – какие-либо координаты точки  $M$ :  $y$ ,  $z$ ,  $\omega$ .

Например,  $I_{zyy} = \int_A zy y dA$ . Для вычисления таких геометрических характеристик

можно использовать алгоритм, описанный в работе [26].

В связи с изложенным матрицу  $K_\sigma$  можно представить в виде суммы отдельных матриц, каждая из которых зависит от одного из усилий ( $N$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ ,  $B_\omega$ ,  $Q_y$ ,  $Q_z$  и  $M_\omega$ ).

Приведем формулы для вычисления таких элементов матрицы  $K_\sigma$ , которые расположены на главной диагонали и ниже ее той части матрицы, которая зависит от усилия  $N$  (именно эти элементы используются для анализа устойчивости центрально-сжатого стержня):

$$\begin{aligned} k_{\sigma,2,2} &= NI^{(0)}, \quad k_{\sigma,4,4} = k_{\sigma,2,2}, \quad k_{\sigma,5,4} = 2NI^{(1)}, \\ k_{\sigma,5,5} &= 4NI^{(2)} + 4NI^{(0)} \frac{I_z}{A}, \quad k_{\sigma,6,4} = 3NI^{(2)}, \\ k_{\sigma,6,5} &= 6NI^{(3)} + 12NI^{(1)} \frac{I_z}{A}, \quad k_{\sigma,6,6} = 9NI^{(4)} + 36NI^{(2)} \frac{I_z}{A}, \\ k_{\sigma,8,8} &= k_{\sigma,2,2}, \quad k_{\sigma,9,8} = k_{\sigma,5,4}, \quad k_{\sigma,9,9} = 4NI^{(2)} + 4NI^{(0)} \frac{I_y}{A}, \\ k_{\sigma,10,8} &= k_{\sigma,6,4}, \quad k_{\sigma,10,9} = 6NI^{(3)} + 12NI^{(1)} \frac{I_y}{A}, \\ k_{\sigma,10,10} &= 9NI^{(4)} + 36NI^{(2)} \frac{I_y}{A}, \quad k_{\sigma,12,4} = a_z NI^{(0)}, \\ k_{\sigma,12,5} &= 2a_z NI^{(1)}, \quad k_{\sigma,12,6} = 3a_z NI^{(2)}, \quad k_{\sigma,12,8} = -a_y NI^{(0)}, \\ k_{\sigma,12,9} &= -2a_y NI^{(1)}, \quad k_{\sigma,12,10} = -3a_y NI^{(2)}, \\ k_{\sigma,12,12} &= a_y^2 NI^{(0)} + NI^{(0)} \frac{I_z}{A} + a_z^2 NI^{(0)} + NI^{(0)} \frac{I_y}{A}, \\ k_{\sigma,13,4} &= k_{\sigma,12,5}, \quad k_{\sigma,13,5} = 4a_z NI^{(2)}, \quad k_{\sigma,13,6} = 6a_z NI^{(3)}, \\ k_{\sigma,13,8} &= k_{\sigma,12,9}, \quad k_{\sigma,13,9} = -4a_y NI^{(2)}, \quad k_{\sigma,13,10} = -6a_y NI^{(3)}, \\ k_{\sigma,13,12} &= 2a_y^2 NI^{(1)} + 2NI^{(1)} \frac{I_z}{A} + 2a_z^2 NI^{(1)} + 2NI^{(1)} \frac{I_y}{A}, \\ k_{\sigma,13,13} &= 4NI^{(0)} \frac{I_\omega}{A} + 4a_y^2 NI^{(2)} + 4NI^{(2)} \frac{I_z}{A} + 4a_z^2 NI^{(2)} + 4NI^{(2)} \frac{I_y}{A}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
k_{\sigma,14,4} &= k_{\sigma,12,6}, \quad k_{\sigma,14,5} = k_{\sigma,13,6}, \quad k_{\sigma,14,6} = 9a_z NI^{(4)}, \\
k_{\sigma,14,8} &= k_{\sigma,12,10}, \quad k_{\sigma,14,9} = k_{\sigma,13,10}, \quad k_{\sigma,14,10} = -9a_y NI^{(4)}, \\
k_{\sigma,14,12} &= 3a_y^2 NI^{(2)} + 3NI^{(2)} \frac{I_z}{A} + 3a_z^2 NI^{(2)} + 3NI^{(2)} \frac{I_y}{A}, \\
k_{\sigma,14,13} &= 12NI^{(1)} \frac{I_\omega}{A} + 6a_y^2 NI^{(3)} + 6a_z^2 NI^{(3)} + 6NI^{(3)} \frac{I_z}{A} + 6NI^{(3)} \frac{I_y}{A}, \\
k_{\sigma,14,14} &= 36NI^{(2)} \frac{I_\omega}{A} + 9a_y^2 NI^{(4)} + 9a_z^2 NI^{(4)} + 9NI^{(4)} \frac{I_z}{A} + 9NI^{(4)} \frac{I_y}{A}.
\end{aligned} \tag{4.15}$$

В вышеприведенных формулах использовано обозначение

$$I^{(i)} = \int_0^l x^i dx, \tag{4.16}$$

где  $l$  – длина стержня.

Матрицу начальных напряжений удобно согласовывать не с вектором  $\bar{a}$  коэффициентов в аппроксимирующих функциях (4.11), а с вектором

$$\bar{q}^* = (q_1^H \ q_2^H \ q_3^H \ q_4^H \ q_5^H \ q_6^H \ q_7^H \ q_1^K \ q_2^K \ q_3^K \ q_4^K \ q_5^K \ q_6^K \ q_7^K)^T, \tag{4.17}$$

элементами которого являются перемещения и деформации концевых поперечных сечений стержня изображенных на рисунке 4. 3.

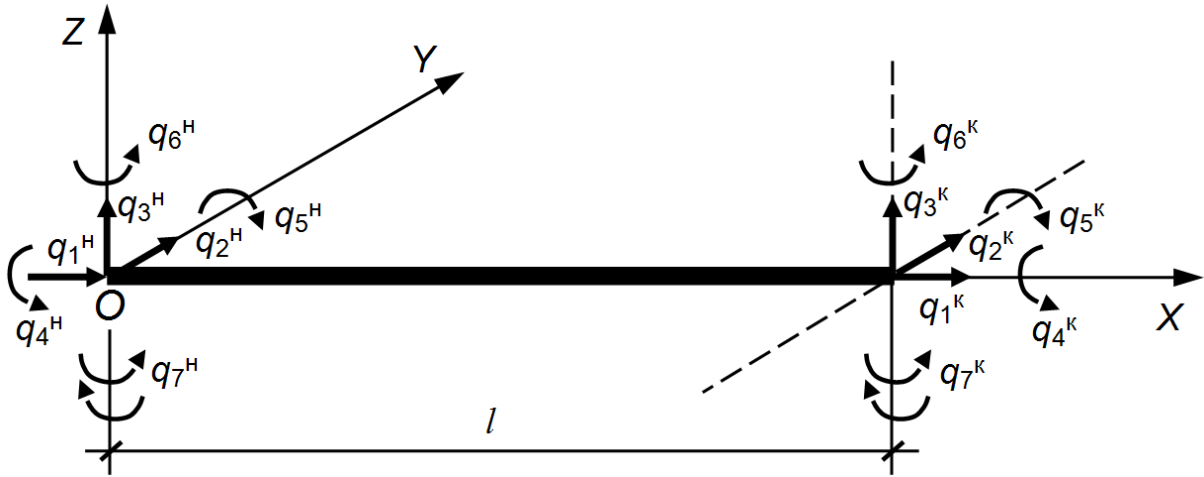


Рис. 4.3. Перемещения и деформации концевых поперечных сечений стержня

Связь между коэффициентами  $a_i$  ( $i = \overline{1, 14}$ ) и перемещениями (деформациями)  $q_i^H$  и  $q_i^K$  ( $i = \overline{1, 7}$ ) вытекает из геометрического смысла перемещений (деформаций) и аппроксимирующих функций:

$$\begin{aligned}
q_1^H &= \xi(0) = a_1, \quad q_1^K = \xi(l) = a_1 + a_2 l, \\
q_2^H &= \eta(0) = a_3, \quad q_2^K = \eta(l) = a_3 + a_4 l + a_5 l^2 + a_6 l^3,
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
q_3^H &= \zeta(0) = a_7, & q_3^K &= \zeta(l) = a_7 + a_8 l + a_9 l^2 + a_{10} l^3, \\
q_4^H &= \varphi(0) = a_{11}, & q_4^K &= \varphi(l) = a_{11} + a_{12} l + a_{13} l^2 + a_{14} l^3, \\
q_5^H &= -\zeta'(0) = -a_8, & q_5^K &= -\zeta'(l) = -(a_8 + 2a_9 l + 3a_{10} l^2), \\
q_6^H &= \eta'(0) = a_4, & q_6^K &= \eta'(l) = a_4 + 2a_5 l + 3a_6 l^2, \\
q_7^H &= \varphi'(0) = a_{12}, & q_7^K &= \varphi'(l) = a_{12} + 2a_{13} l + 3a_{14} l^2.
\end{aligned} \tag{4.18}$$

Видим, что справедлива зависимость

$$\bar{q}^* = \tilde{A} \bar{a}, \tag{4.19}$$

где  $\tilde{A}$  – квадратная матрица, элементы которой соответствуют выражениям (4.18).

Матрица начальных напряжений (геометрической жесткости) тонкостенного стержня открытого профиля, соответствующая вектору  $\bar{q}^*$ , вычисляется по формуле (4.20)

$$K_\sigma^* = (\tilde{A}^{-1})^T K_\sigma \tilde{A}^{-1}. \tag{4.20}$$

Описанная здесь методика формирования матрицы  $K_\sigma^*$  опубликована автором в работах [26, 37, 40].

Зная матрицы жесткости и начальных напряжений (геометрической жесткости) отдельного конечного элемента, можно известными преобразованиями получить одноименные матрицы  $K^{tot}$  и  $K_\sigma^{tot}$  всего стержня, если его поведение моделируется несколькими конечными элементами. Например, используя подход из работ [27, 37, 38, 40].

Критический параметр  $\lambda^*$  нагрузки можно определить как наименьший по модулю корень  $\lambda$  уравнения (6)

$$|K^{tot} + \lambda K_\sigma^{tot}| = 0. \tag{4.21}$$

О точности вычисления значения критического параметра нагрузки с использованием предложенной матрицы начальных напряжений (геометрической жесткости) можно судить по отклонению такого значения от известного решения (например, из работы [15]).

Рассмотрим расчетную схему стойки, представленную на рисунке 4.4. Условия закрепления верхнего конца стойки –  $\eta = 0$ ,  $\zeta = 0$ ,  $\varphi = 0$ ; нижнего –  $\xi = 0$ ,  $\eta = 0$ ,  $\zeta = 0$ ,  $\varphi = 0$ . Концевые поперечные сечения этой стойки могут свободно деформироваться. Материалом стойки является сталь с модулем упругости  $E = 2,0 \cdot 10^5$  МПа и модулем сдвига  $G = 0,8 \cdot 10^5$  МПа.

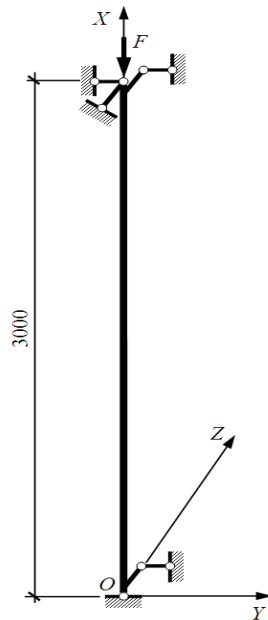


Рис. 4.4. Расчетная схема стойки

Примем двутавровое поперечное сечение стойки согласно рисунка 4.5а с размерами  $h = 300$  мм,  $b = 300$  мм,  $\delta_w = 5$  мм и  $\delta_f = 10$  мм.

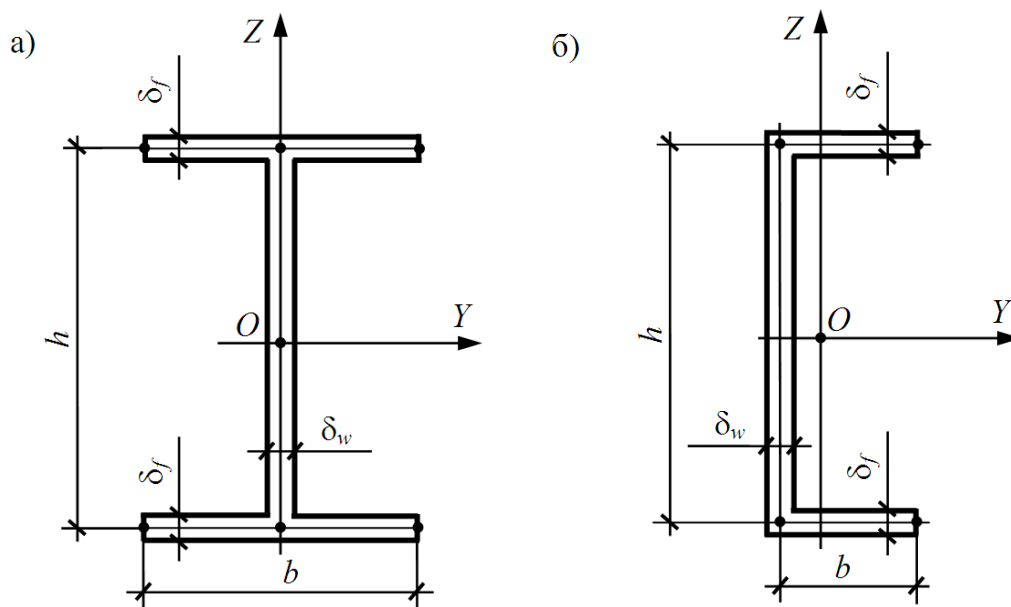


Рис. 4.5. Поперечные сечения стойки

При описании работы стойки одним конечным элементом отклонение от критического значения силы (9375 кН), найденного по формуле из работы [15], составляет 19,1 %, а при двух конечных элементах – 0,1 %. Реализована крутильная форма потери устойчивости.

Примем другие размеры поперечного сечения стойки:  $h = 300$  мм,  $b = 300$  мм,

$\delta_w = 10$  мм и  $\delta_f = 5$  мм. В этом случае при описании работы стойки одним конечным элементом отклонение от критического значения силы (4935 кН), найденного по формуле из работы [15], составляет 21,1 %, а при двух конечных элементах – 0,4 %. Реализована изгибная форма потери устойчивости.

Примем швеллерное поперечное сечение стойки согласно рисунка 4.5б с размерами  $h = 300$  мм,  $b = 300$  мм,  $\delta_w = 10$  мм и  $\delta_f = 10$  мм. Тогда при описании работы стойки двумя конечными элементами отклонение от критического значения силы (3946 кН), найденного по формуле из работы [15], составляет 0,5 %. Реализована изгибно-крутильная форма потери устойчивости.

Эти результаты ранее приводились автором в работе [37].

#### 4.4 Поиск оптимальных размеров поперечного сечения тонкостенного стержня открытого профиля

Разработаем процедуру поиска оптимальных размеров поперечного сечения тонкостенного стержня открытого профиля.

Для этого предположим, что профильная линия поперечного сечения тонкостенного стержня произвольного по форме открытого профиля состоит из  $n_l$  отрезков длиной  $l_{l,i}$ ,  $i = \overline{1, n_l}$ , ограниченных  $n_t$  точками  $P_j$ ,  $j = \overline{1, n_t}$  изображенных на рисунке 1. 6.

Для сохранения преемственности со статьёй автора [26] о геометрических характеристиках поперечного сечения на рисунке 4.6 приняты соответствующие обозначения осей.

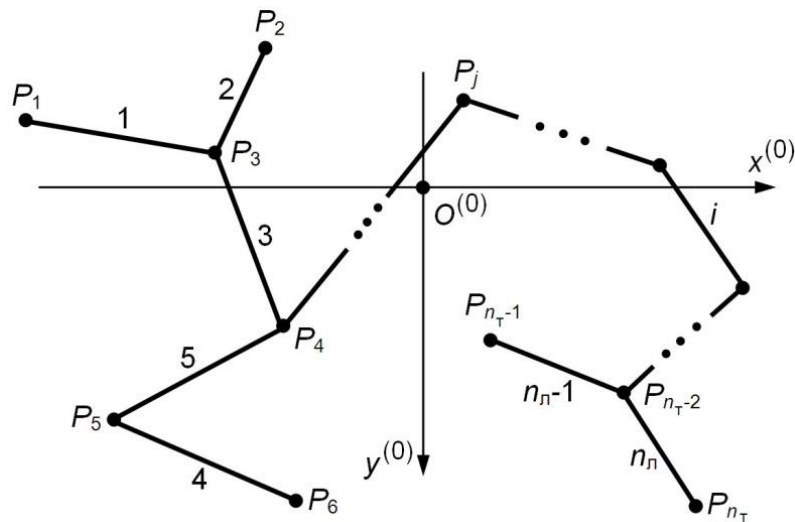


Рис. 4.6. Профильная линия поперечного сечения тонкостенного стержня

Пусть толщина стенки (тонкостенного стержня), расположенной вдоль отрезка  $i$ , равна  $t_{l,i}$ .

Полагаем, что  $l_{l,i}$  и  $t_{l,i}$  (параметры проектирования, параметры оптимизации),  $i = \overline{1, n_l}$ , принимают дискретные значения.

Возможные сочетания значений  $l_{\pi,i}$  и  $t_{\pi,i}$  ( $i = \overline{1, n_\pi}$ ) объединим в множество  $\Omega_{\text{в}}^{(s)}$  возможных сочетаний параметров проектирования.

Требуется найти такие значения  $l_{\pi,i}$  и  $t_{\pi,i}$  ( $i = \overline{1, n_\pi}$ ), при которых площадь  $A$  поперечного сечения стержня (целевая функция) является наименьшей и выполняются условия (ограничения) задачи оптимизации, то есть решение должно принадлежать множеству  $\Omega_{\text{д}}^{(s)}$  допустимых сочетаний параметров проектирования.

Очевидно, что сформулированная сейчас задача является частной по отношению к поставленной в первом подразделе данного раздела монографии.

Дискретные значения размеров поперечного сечения стержня зададим формулами

$$t_{\pi,i} = t_{\pi}^{(0)} + \Delta t_{\pi} \cdot j_i^{(t)}, \quad l_{\pi,i} = l_{\pi}^{(0)} + \Delta l_{\pi} \cdot j_i^{(l)}, \quad (4.22)$$

где  $\Delta t_{\pi}$  и  $\Delta l_{\pi}$  – минимально возможные изменения  $t_{\pi,i}$  и  $l_{\pi,i}$  в процессе оптимизации;  $j_i^{(t)}$  и  $j_i^{(l)}$  – целые положительные числа (1, 2, 3 и т. д.);  $t_{\pi}^{(0)}$  и  $l_{\pi}^{(0)}$  – минимально возможные  $t_{\pi,i}$  и  $l_{\pi,i}$ , уменьшенные соответственно на  $\Delta t_{\pi}$  и  $\Delta l_{\pi}$ .

Для наглядности рассуждений (не теряя их общности) будем сопровождать их числовым примером: пусть толщина стенки стержня кратна 1 мм ( $\Delta t_{\pi}$ ), длина  $l_{\pi,i}$  ( $i = \overline{1, n_\pi}$ ) кратна 10 мм ( $\Delta l_{\pi}$ ),  $l_{\pi}^{(0)} = 40$  мм и  $t_{\pi}^{(0)} = 4$  мм (то есть длина  $l_{\pi,i}$  не меньше 50 мм, толщина  $t_{\pi,i}$  не меньше 5 мм).

Тогда (в мм)

$$t_{\pi,i} = 4 + j_i^{(t)},$$

$$l_{\pi,i} = 40 + 10 j_i^{(l)}.$$

Площадь поперечного сечения стержня

$$\begin{aligned} A &= \sum_{i=1}^{n_\pi} A_i = \sum_{i=1}^{n_\pi} t_{\pi,i} l_{\pi,i} = \\ &= \sum_{i=1}^{n_\pi} [l_{\pi}^{(0)} t_{\pi}^{(0)} + l_{\pi}^{(0)} \Delta t_{\pi} j_i^{(t)} + t_{\pi}^{(0)} \Delta l_{\pi} j_i^{(l)} + \Delta l_{\pi} \Delta t_{\pi} j_i^{(l)} j_i^{(t)}] = \\ &= \sum_{i=1}^{n_\pi} [a + b j_i^{(t)} + c j_i^{(l)} + d j_i^{(l)} j_i^{(t)}], \end{aligned} \quad (4.23)$$

где

$$A_i = t_{\pi,i} l_{\pi,i},$$

$$a = l_{\pi}^{(0)} t_{\pi}^{(0)}, \quad b = l_{\pi}^{(0)} \Delta t_{\pi}, \quad c = t_{\pi}^{(0)} \Delta l_{\pi}, \quad d = \Delta l_{\pi} \Delta t_{\pi}.$$

Очевидно, что  $A_i$  – это площадь части сечения, расположенной вдоль отрезка  $i$ , составляющего профильную линию поперечного сечения стержня.

При постоянных значениях  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $d$  площадь  $A_i$  является функцией двух переменных ( $j_i^{(t)}$  и  $j_i^{(l)}$ ):

$$A_i = a + b j_i^{(t)} + c j_i^{(l)} + d j_i^{(l)} j_i^{(t)}.$$

В числовом примере (в мм<sup>2</sup>)

$$A_i = 160 + 40 j_i^{(t)} + 40 j_i^{(l)} + 10 j_i^{(l)} j_i^{(t)}.$$

На рисунке 4.7 показаны точками некоторые возможные сочетания  $j_i^{(t)}$  и  $j_i^{(l)}$ . Над этими точками написаны соответствующие этим точкам значения площади  $A_i$  (в  $\text{мм}^2$ ), штриховыми линиями показаны линии равного уровня  $A_i$ .

Возможных сочетаний  $j_i^{(t)}$  и  $j_i^{(l)}$  может быть достаточно много. Предлагается в процессе оптимизации выполнять перебор (сканирование) этих сочетаний упорядоченно. Для этого зададим такую последовательность множеств  $\Omega_{B,1}^{(j_i)}$ ,  $\Omega_{B,2}^{(j_i)}$ ,  $\Omega_{B,3}^{(j_i)}$  и т. д. возможных сочетаний  $j_i^{(t)}$  и  $j_i^{(l)}$ , что значение  $A_i$  для каждого элемента любого из этих множеств меньше, чем значение  $A_i$  для каждого элемента последующего множества этой последовательности.

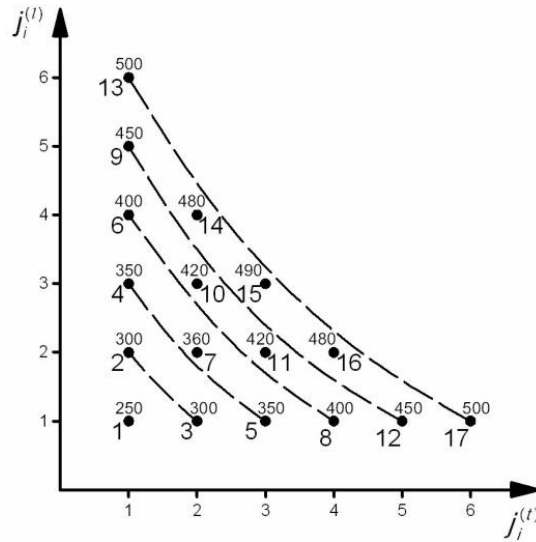


Рис. 4.7. Линии равного уровня площади  $A_i$  и возможные сочетания  $j_i^{(t)}$  и  $j_i^{(l)}$

В рассматриваемом числовом примере можно выделить, например, множества

- $\Omega_{B,1}^{(j_i)}$  с таким сочетанием  $j_i^{(t)}$  и  $j_i^{(l)}$ , что  $A_i = 250 \text{ мм}^2$ ;
- $\Omega_{B,2}^{(j_i)}$  с такими сочетаниями  $j_i^{(t)}$  и  $j_i^{(l)}$ , что  $250 < A_i \leq 300 \text{ (мм}^2\text{)}$ ;
- $\Omega_{B,3}^{(j_i)}$  с такими сочетаниями  $j_i^{(t)}$  и  $j_i^{(l)}$ , что  $300 < A_i \leq 350 \text{ (мм}^2\text{)}$  и т. д.

Множество  $\Omega_{B,1}^{(j_i)}$  состоит из одного элемента,  $\Omega_{B,2}^{(j_i)}$  и  $\Omega_{B,3}^{(j_i)}$  – из двух,  $\Omega_{B,4}^{(j_i)}$  – из трех,  $\Omega_{B,5}^{(j_i)}$  – из четырех,  $\Omega_{B,6}^{(j_i)}$  – из пяти.

Очевидно, что множества  $\Omega_{B,j^{(\Omega)}}^{(j_i)}$  ( $j^{(\Omega)} \geq 1$ ) могут задаваться равенствами и неравенствами, в которые входят  $j_i^{(t)}$  и  $j_i^{(l)}$ :

- $\Omega_{B,1}^{(j_i)}$  с сочетанием  $j_i^{(t)} = 1$  и  $j_i^{(l)} = 1$ ;
- $\Omega_{B,j^{(\Omega)}}^{(j_i)}$  при  $j^{(\Omega)} \geq 2$  с сочетаниями

$$j_i^{(t)} = \overline{j^{(\Omega)}} \text{ и } \frac{-10 + 50j^{(\Omega)} - 40j_i^{(t)}}{40 + 10j_i^{(t)}} < j_i^{(l)} \leq \frac{40 + 50j^{(\Omega)} - 40j_i^{(t)}}{40 + 10j_i^{(t)}}.$$

Аналогичные выражения можно получить не только для заданного числового примера, а и для общего случая:

–  $\Omega_{B,1}^{(j_i)}$  с сочетанием  $j_i^{(t)} = 1$  и  $j_i^{(l)} = 1$ ;

–  $\Omega_{B,j^{(\Omega)}}^{(j_i)}$  при  $j^{(\Omega)} \geq 2$  с сочетаниями

$$j_i^{(t)} = \overline{j^{(\Omega)}} \text{ и } \frac{A_{j^{(\Omega)}}^{(\min)} - a - bj_i^{(t)}}{c + dj_i^{(t)}} < j_i^{(l)} \leq \frac{A_{j^{(\Omega)}}^{(\max)} - a - bj_i^{(t)}}{c + dj_i^{(t)}}, \quad (4.24)$$

где  $A_{j^{(\Omega)}}^{(\min)}$  и  $A_{j^{(\Omega)}}^{(\max)}$  – такие площади, что для каждого элемента из множества  $\Omega_{B,j^{(\Omega)}}^{(j_i)}$  справедливо  $A_{j^{(\Omega)}}^{(\min)} < A_i \leq A_{j^{(\Omega)}}^{(\max)}$  ( $A_{j^{(\Omega)}}^{(\max)} = A_{j^{(\Omega)+1}^{(\min)}}$ ).

В процессе оптимизации перебор (сканирование) сочетаний  $j_i^{(t)}$  и  $j_i^{(l)}$  предлагается первоначально вести в множестве  $\Omega_{B,1}^{(j_i)}$ , потом –  $\Omega_{B,2}^{(j_i)}$ , затем –  $\Omega_{B,3}^{(j_i)}$  и т. д. На рисунке 4.7 сочетания  $j_i^{(t)}$  и  $j_i^{(l)}$  (показаны точками) пронумерованы в порядке их сканирования в процессе оптимизации. То есть в первую очередь подвергаются сканированию те сочетания, которым соответствует меньшее значение целевой функции, так как по условиям задачи ищется именно ее минимум.

Так как профильная линия поперечного сечения тонкостенного стержня состоит не из одного, а из  $n_{\perp}$  отрезков, то в процессе оптимизации перебор (сканирование) сочетаний  $j_i^{(t)}$  и  $j_i^{(l)}$  ( $i = \overline{1, n_{\perp}}$ ) предлагается последовательно вести в множествах:

– множество 1 с такими элементами, что  $A = A_2^{(\min)} n_{\perp}$ ;

– множество  $k$  ( $k \geq 2$ ) с такими элементами, что  $A_k^{(\min)} n_{\perp} < A \leq A_k^{(\max)} n_{\perp}$ .

Если в некотором из этих множеств впервые находят элементы, соответствующие допустимой системе, то среди таких элементов выбирают те, при которых значение целевой функции минимальное. Выбранные элементы соответствуют поперечному сечению с оптимальными размерами.

Очевидно, что описанная процедура обеспечивает поиск глобального минимума целевой функции, так как при его поиске анализируются все сочетания  $j_i^{(t)}$  и  $j_i^{(l)}$  ( $i = \overline{1, n_{\perp}}$ ), при которых площадь поперечного сечения стержня меньше или равна оптимальному значению целевой функции.

Предложенная процедура перебора сочетаний  $j_i^{(t)}$  и  $j_i^{(l)}$  ( $i = \overline{1, n_{\perp}}$ ) относится к методам сканирования по сетке при решении задач оптимального проектирования. Но такое сканирование не является построчной прогонкой [53, с. 60], которая часто требует немалых затрат времени работы компьютера, а развивает прием, описанный в работе [55].

В последней из упомянутых работ предлагается предварительно (до процесса перебора и сопутствующего анализа) упорядочивать поперечные сечения стержня (отличающиеся размерами) в порядке возрастания (неубывания) площади этих сечений. Но это требует (в отличие от предлагаемой в данной работе процедуры), во-первых, дополнительного количества памяти компьютера для хранения результата такого упорядочивания и, во-вторых, дополнительного времени работы компьютера на избыточное упорядочивание сечений, соответствующих хоть и допустимой системе, но не оптимальной.

Для оценки точности предложенной процедуры можно провести сопоставительный анализ полученных нами результатов оптимизации с результатами иных авторов. Для сопоставления примем результаты, приведенные в работе [75].

В той работе рассматривалась оптимизация центрально сжатого стального стержня, шарнирно опертого в своих концевых поперечных сечениях. Форма поперечного сечения стержня двутавровая с двумя осями симметрии. Параметрами оптимизации (проектирования) являются размеры поперечного сечения стержня показанного на рисунке 4.8:

где  $b_f$  – ширина полки (пояса);

$t_f$  – толщина полки (пояса);

$h_w$  – высота стенки;

$t_w$  – толщина стенки.

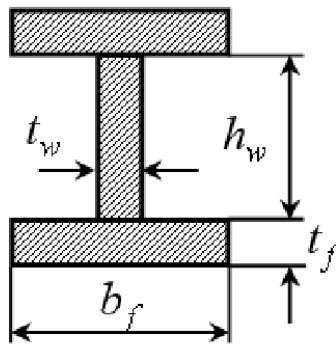


Рис. 4.8. Поперечное сечение стержня

Требуется найти такие значения  $b_f$ ,  $t_f$ ,  $h_w$  и  $t_w$ , при которых наименьшего значения достигает площадь поперечного сечения стержня (целевая функция)

$$A = 2b_f t_f + h_w t_w. \quad (4.25)$$

Ограничения задачи оптимизации приняты по СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*»:

$$\begin{aligned} N / (\varphi A R_y \gamma_c) &\leq 1, \\ \bar{\lambda}_w &= (h_{ef} / t_w) \sqrt{R_y / E} \leq \bar{\lambda}_{uw}, \\ \bar{\lambda}_f &= (b_{ef} / t_f) \sqrt{R_y / E} \leq \bar{\lambda}_{uf}, \\ \lambda &= l_{ef} / i \leq \lambda_u, \end{aligned} \quad (4.26)$$

где  $N$  – продольная сила;

$\varphi$  – коэффициент устойчивости при центральном сжатии;

$R_y$  – расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести;

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы;

$\bar{\lambda}_w$  – условная гибкость стенки;

$h_{ef}$  – расчетная высота стенки;

$E$  – модуль упругости;

$\bar{\lambda}_{uw}$  – предельная условная гибкость стенки;  
 $\bar{\lambda}_f$  – условная гибкость свеса пояса;  
 $b_{ef}$  – расчетная ширина;  
 $\bar{\lambda}_{uf}$  – предельная условная гибкость свеса пояса (поясного листа);  
 $\lambda$  – гибкость;  
 $l_{ef}$  – расчетная длина;  
 $i$  – радиус инерции сечения;  
 $\lambda_u$  – предельная гибкость.

По первой из приведенных формул выполняется расчет на устойчивость элементов сплошного сечения, по второй – расчет на устойчивость стенок, по третьей – расчет на устойчивость поясных листов и полок, по четвертой – ограничивается гибкость элементов.

Параметры проектирования  $b_f$ ,  $t_f$ ,  $h_w$  и  $t_w$  пусть принимают дискретные значения (что естественно для условий реального проектирования). В нашей работе  $b_f$  и  $h_w$  кратны 10 мм, а  $t_f$  и  $t_w$  – 1 мм.

В таблице 4.1 приведены исходные данные и результаты оптимизации. При этом использованы непоясненные ранее условные обозначения:  $l_x$  и  $l_y$  – расчетные длины элемента.

Таблица 4.1

Исходные данные и результаты оптимизации

| Номер по порядку | Исходные данные |           |           |             | Результаты оптимизации |            |            |            |                                  |       |
|------------------|-----------------|-----------|-----------|-------------|------------------------|------------|------------|------------|----------------------------------|-------|
|                  | $N$ , кН        | $l_x$ , м | $l_y$ , м | $R_y$ , МПа | $b_f$ , см             | $t_f$ , см | $h_w$ , см | $t_w$ , см | $A$ , см <sup>2</sup> , согласно |       |
|                  |                 |           |           |             |                        |            |            |            | собственным расчетам             | [25]  |
| 1                | 2150            | 12        | 6         | 210         | 40,0                   | 1,2        | 41,0       | 0,7        | 124,7                            | 125,7 |
| 2                | 2300            | 7         | 2         | 240         | 28,0                   | 1,0        | 44,0       | 1,1        | 104,4                            | 105,1 |
| 3                | 2200            | 8         | 8         | 210         | 45,0                   | 1,3        | 24,0       | 0,5        | 129,0                            | 141,8 |
| 4                | 1000            | 9         | 9         | 225         | 35,0                   | 0,9        | 21,0       | 0,5        | 73,5                             | 75,3  |
| 5                | 4500            | 4,55      | 4,55      | 400         | 38,0                   | 1,6        | 22,0       | 0,6        | 134,8                            | 140,5 |
| 6                | 2000            | 12        | 4         | 355         | 28,0                   | 0,9        | 41,0       | 0,8        | 83,2                             | 81,5  |
| 7                | 2920            | 5,04      | 5,04      | 210         | 45,0                   | 1,5        | 29,0       | 0,6        | 152,4                            | 154,9 |
| 8                | 2000            | 12        | 4         | 220         | 32,0                   | 1,0        | 49,0       | 0,9        | 108,1                            | 109,4 |

Все найденные нами результаты совпали с результатами, полученными приемом построчной прогонки, что может свидетельствовать об их достоверности; и близки к результатам из работы [75].

В примерах, данные по которым сведены в строки 1-5 и 7-8 таблицы 4.1, полученные нами значения целевой функции меньше (в третьей строке, например, – на 9,03 %), чем приведенные в работе [75]. Это противоречит теореме «если при неизменном числе варьируемых параметров система ограничений расширяется, то значение целевой функции оптимальной системы увеличивается либо остается неизменным» [53], ведь нами было введено дополнительное ограничение на дискретность значений параметров проектирования (оптимизации).

Это можно объяснить тем, что примененный в работе [77] поисковый алгоритм

оптимизации был приостановлен раньше, чем смогла бы выявиться непротиворечивость процитированной здесь теореме.

Приведенное здесь опубликовано в работах автора [29, 35, 37].

#### 4.5 Обобщение и оценка результатов исследования

Поставлена задача оптимизации центрально-сжатого тонкостенного стержня открытого профиля.

Разработана укрупненная блок-схема метода решения задачи оптимизации центрально-сжатого тонкостенного стержня открытого профиля и некоторые составные части этой блок-схемы (о чем – далее). Работоспособность подобной блок-схемы проявилась в ходе выполнения прежних исследований автора.

Сформирована матрица начальных напряжений (геометрической жесткости) тонкостенного стержня открытого профиля на основе энергетического критерия устойчивости (вариационного принципа) в форме Дж. Брайана (G. N. Bryan). Матрица симметричная размером  $14 \times 14$ . Элементы этой матрицы зависят (в общем случае) от продольной силы, поперечных сил, изгибающих моментов, изгибно-крутящего момента и изгибно-крутящего бимомента.

Предлагаемый подход к построению этой матрицы отличается от изложенного в ранних работах автора использованием иной формы параметрической части функционала устойчивости равновесия Дж. Брайана (G. N. Bryan): 1) компоненты деформации вычисляются по точной (а не приближенной) формуле нелинейной теории упругости; 2) помимо нормального напряжения учтено касательное.

Необходимость изменения указанного подхода вытекала из того, что прежний вариант матрицы не позволял определять критический параметр нагрузки при крутильной и изгибно-крутильной формах потери устойчивости стержня. Кроме того, было обнаружено, что не учет касательных напряжений может приводить к значительным отклонениям от известных из литературы (например, из работ В. З. Власова) значений критического параметра нагрузки (в одном из рассмотренных нами примеров такое отклонение составило около 80 %).

При формировании матрицы начальных напряжений введены новые геометрические характеристики поперечного сечения стержня.

Вычислительные эксперименты, базирующиеся на приведенных здесь результатах, показали, что при описании работы стойки двумя конечными элементами отклонение от известных из литературы значений критического параметра нагрузки не превышало 1 %. Точность можно повысить, описывая работу стержня большим количеством конечных элементов.

Разработана процедура поиска оптимальных размеров поперечного сечения тонкостенного стержня открытого профиля в случае, если эти размеры принимают дискретные значения (что естественно для условий реального проектирования).

Эта процедура относится к методам сканирования по сетке. Особенностью процедуры по сравнению с приемом построочной прогонки (этот прием также относится к методам сканирования по сетке) является то, что в первую очередь подвергаются сканированию поперечные сечения с меньшей площадью.

Вычислительные эксперименты показали, что разработанная процедура позволяет получать оптимальные решения, близкие к тем, которые описаны в работах иных авторов.

Однако разработанная нами процедура учитывает специфику именно тонкостенных стержней: их поперечные сечения состоят из узких прямоугольников (или могут быть сведены к такой форме). И процедура позволяет отыскивать именно глобальный минимум целевой функции.

В последующих работах автора предстоит продолжить детализацию блок-схемы, приведенной на рисунке 4.1, и анализ оптимальных решений. Некоторые из предстоящих направлений работы: разработка аппроксимаций ограничений задачи оптимизации (и для пространства параметров нагрузок, и для пространства параметров проектирова-

ния); разработка процедур поиска опасных сочетаний нагрузок для каждого ограничения; выявление чувствительности оптимального решения к ряду факторов (жесткость опор, характеристики материалов и др.).

## **ГЛАВА 5 КОЛЕБАНИЯ И УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЛОГИХ ТРЕХСЛОЙНЫХ ОБОЛОЧЕК С ИЗЛОМАМИ ПОВЕРХНОСТИ**

В главе представлены результаты научных исследований колебаний и устойчивости пологих трёхслойных оболочек с изломами поверхности. Исследованы динамические характеристики и устойчивость трёхслойных складчатых конструкций на основе аналитических зависимостей. Определены частоты и формы свободных колебаний, а также критические нагрузки пологих трёхслойных оболочек с изломами поверхности.

Разработан единый метод расчета собственных частот и критических нагрузок, основанный на использовании простых аналитических выражений.

### **5.1 Преимущества тонкостенных оболочек**

Пространственные покрытия – это современный вид покрытий промышленных и общественных зданий и сооружений, обладающий особой архитектурной выразительностью. Они представляют собой системы, состоящие из тонкостенных оболочек и контурных конструкций. Оболочки монтируются непосредственно на строительной площадке из унифицированных легких, крупноразмерных плоских элементов, что позволяет значительно сократить сроки строительства и повысить экономическую эффективность. Так как форма пространственного покрытия соответствует очертанию поверхностного давления, рациональной считается форма оболочки в виде выпуклого многогранника.

Тонкостенная оболочка представляет собой изогнутую поверхность, которая при минимальной толщине и соответственно минимальной массе и расходе материала обладает очень большой несущей способностью [45], потому что благодаря криволинейной форме действует как пространственная несущая конструкция.

Оболочки, монтируемые из унифицированных крупноразмерных плоских элементов, экономичнее оболочек, монтируемых из криволинейных сборных элементов. Сборность оболочек и монтаж готовых элементов на строительной площадке без лесов составляет основу индустриализации их строительства, что приводит к ликвидации сезонных работ и делает перспективным строительство в условиях длительной зимы и низких температур.

Оболочки, выполненные из трёхслойных элементов, имеют еще ряд дополнительных преимуществ. Они обладают малой массой, не требуют дополнительной отделки, имеют необходимые звуко- и теплоизоляционные свойства, свето- и радиопрозрачность.

Трёхслойные оболочки экономически выгодны и вследствие безрулонного решения кровли, если применять обшивку из защищенной от коррозии стали или алюминия, а также вследствие сокращения эксплуатационных расходов в связи с отсутствием текущих отделочных работ. Благодаря легкости панелей появляется возможность укрупнения элементов и осуществления эффективности способов монтажа, что сокращает сроки строительства и ускоряет ввод объектов в эксплуатацию.

При соответствующем подборе материалов трёхслойные конструкции могут обладать хорошими вибропоглощающими характеристиками, высокой огнестойкостью, долговечностью, выносливостью.

Достоинством работы трёхслойных конструкций является то, что они обладают повышенной сопротивляемостью потере устойчивости за счет большого момента инерции, поскольку пластины имеют достаточную толщину вследствие использования заполнителя, толщина которого больше толщины высокопрочных несущих слоев.

Выполнить расчет на сейсмическое воздействие, защитить сооружение от воздей-

ствия вибраций в режиме резонанса и рационально спроектировать их невозможно без знания частот и форм свободных колебаний. Получение решения для системы со многими степенями свободы, каковою является оболочка, сопряжено со значительными вычислительными трудностями. Используемые в настоящее время численные методы трудоемки в реализации и не дают устойчивых решений для высоких тонов.

Аналитические методы связаны с простыми алгоритмами, позволяют оценить и предсказать влияние различных факторов на динамические характеристики оболочки, обеспечивают достоверность результатов. Поэтому разработка аналитических методов определения частот и форм свободных колебаний трехслойных оболочек с малыми изломами поверхности, то есть оболочек, выполненных из плоских трехслойных элементов, является актуальной задачей.

С появлением новых технологий в строительной практике появляются высокопрочные материалы, позволяющие иметь оболочке большие прогибы от вертикальной нагрузки без разрушения конструкции. Это требует новых исследований и в области устойчивости оболочек.

Данная работа посвящена разработке аналитического метода оценки частот и форм свободных колебаний, а также критической нагрузки пологих трехслойных оболочек с малыми изломами поверхности и исследованию влияния различных факторов на колебания и устойчивость этих оболочек.

Немаловажным является использование анализа отечественных и зарубежных исследований по данной проблеме, приведение основных зависимостей и разрешающих уравнений теории пологих трёхслойных оболочек с разрывами кривизны срединной поверхности, а также общего решения задачи о свободных колебаниях оболочек такого типа, методик их расчета и анализа влияния различных факторов.

Изучение колебаний и устойчивости трёхслойных пологих прямоугольных и квадратных в плане оболочек с изломами поверхности имеет большое научное и практическое значение.

## 5.2 Оболочки с изломами срединной поверхности

Определение частот и форм свободных колебаний оболочек является одной из основных задач их динамического расчета. Для гладких однослойных оболочек решение этой задачи достаточно подробно исследовано во многих работах.

Вопросы потери устойчивости пологих оболочек были сформулированы в общей технической теории оболочек В.З. Власова [14], где предполагается, что в пологой оболочке, находящейся под действием внешней нагрузки, возникают только тангенциальные (нормальные  $T_1^0$ ,  $T_2^0$  и сдвигающие  $S^0$ ) усилия, определяемые по безмоментной теории оболочек. С увеличением внешней нагрузки внутренние силы  $T_1$ ,  $T_2$  и  $S$  возрастают, напряженное состояние оболочки меняется и переходит в моментное. При критическом значении внешней нагрузки возможно раздвоение форм равновесия. Превышение критической нагрузки влечет за собой потерю устойчивости деформированного тела. Явление потери устойчивости характеризуется тем, что на поверхности оболочки в двух взаимно ортогональных направлениях вследствие деформации образуются волны сравнительно небольшой длины. Каждый такой участок представляет собой пологую оболочку. Полученное в [14] выражение для критической нагрузки пологой цилиндрической оболочки имеет вид

$$q_{кр} = \frac{D}{R} \frac{(\alpha_m^2 + \beta_n^2)^2}{\beta_n^2} + \frac{Eh}{R^3} \frac{\alpha_m^4}{\beta_n^2(\alpha_m^2 + \beta_n^2)}, \quad (5.1)$$

где  $\alpha_m = m\pi / a$ ,  $\beta_n = n\pi / b$ ,  $m, n$  – число полуволн в продольном и поперечном направлениях,  $a$  и  $b$  – размеры оболочки в плане,

$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$  – цилиндрическая жесткость оболочки толщиной  $h$ .

Расчет оболочек сложной конфигурации при наличии складок, изломов поверхностей и других причин разрывов функций, описывающих срединную поверхность, связан с большими трудностями. В этих случаях приходится для каждой зоны с непрерывно меняющимися параметрами (например, кривизной) составлять отдельные системы дифференциальных уравнений, решения которых должны удовлетворять условиям контакта на границах этих зон и, кроме того, условиям на контуре всей системы.

Наиболее широкое применение к расчету складчатых оболочек, то есть оболочек с изломами поверхности, получили обобщенные функции (дельта-функция Дирака, единичная функция Хевисайда), которые используются для распространения понятия кривизны на ломаные линии. Так, если для регулярной кривой  $A$  с кривизной  $\tilde{K}(S)$  (рис. 5.1) угол  $\gamma_s$  между касательными в точках  $M_1$  и  $M_n$  будет

$$\gamma_s = \int_{M_1}^{M_n} \tilde{K}(S) ds,$$

то для ломаной  $B$ , образованной из кривой  $A$ , этот угол определится выражением

$$\gamma_n = \int_{M_1}^{M_n} K(S) ds,$$

где  $K(S)$  является аналогом кривизны кривой и определяется с помощью единичной функции  $\Gamma(S-S_j)$  выражением

$$K(S) = \sum_{j=1}^n \theta_j \Gamma(S-S_j), \quad (5.2)$$

здесь  $S$  – текущая координата кривой;  $S_j$  – координаты точек перелома;

$\theta_j$  – углы поворота касательной при переходе через точку перелома  $S=S_j$  ( $j=1,2,...,n$ ).

Далее в [13] выражение (5.2) для параметра  $K(S)$ , который будем условно называть кривизной линии или поверхности с изломами, вносится в систему уравнений пологих цилиндрических оболочек

$$\begin{aligned} \frac{1}{Eh} \Delta^2 \varphi - K(y) \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} &= 0, \\ D \Delta^2 w + K(y) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} &= q \end{aligned} \quad (5.3)$$

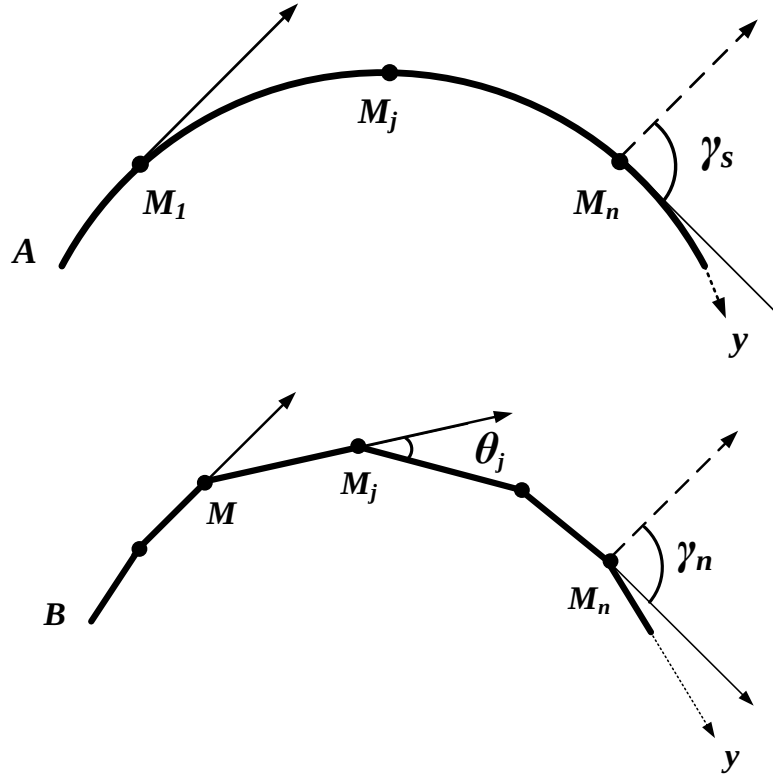


Рис. 5.1. Регулярная и ломаная кривые

Для определения частот свободных колебаний цилиндрических оболочек с шарнирным опиранием краев прогиб  $w$  и функция напряжений  $\varphi$  представляются в [13] в виде:

$$w = w \sin \alpha_m x \cdot \sin \beta_n y \sin \omega_{mn} t,$$

$$\varphi = \varphi_{mn} \sin \alpha_m x \cdot \sin \beta_n y \sin \omega_{mn} t,$$

а правая часть второго уравнения (5.3) – в виде  $q = -\frac{\gamma_1 h}{q} \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}$ ,

( $\gamma_1$  – удельный вес материала,  $q$  – ускорение силы тяжести).

Формула для квадрата частоты свободных колебаний имеет вид:

$$\frac{\gamma_1 h}{q} \omega_{mn}^2 = D(\alpha_m^2 + \beta_n^2)^2 + \frac{4Eh}{b^2} \sigma_m^2 \frac{\alpha_n^4}{(\alpha_m^2 + \beta_n^2)^2}, \quad (5.4)$$

где  $D$  – цилиндрическая жесткость оболочки;

$a$  – длина оболочки вдоль оси  $X$ ;

$h$  – толщина оболочки;  $E$  – модуль упругости;  $\alpha_m = \frac{m\pi}{a}$ ,  $\sigma_m = \sum_{j=1}^l \theta_j \sin \beta_n b_j$ ,

$\beta_n = \frac{2n\pi}{b}$ ,  $b$  – параметр поперечного размера оболочки вдоль оси  $y$ ,

$m$  и  $n$  – волновые числа,

$l$  – число переломов поверхности,

$b_j$  – координаты точек переломов ( $j = 1, 2, \dots, l$ ).

Применение обобщенных функций к решению задач теории оболочек с различного рода нерегулярностями имеет большие перспективы. Чем сложнее условия задачи, тем большего эффекта можно ожидать от рассматриваемого метода. Методика расчета оболочек с применением аппарата обобщенных функций пригодна для однородных и для трехслойных оболочек, как для гладких, так и для складчатых.

Данная работа посвящена разработке единого метода расчета, позволяющего исследовать динамические характеристики и устойчивость трёхслойных складчатых конструкций на основе аналитических зависимостей, а также исследованию частот и форм свободных колебаний и критических нагрузок пологих трёхслойных оболочек с изломами поверхности.

### 5.3 Трёхслойные пластины и оболочки

Важной задачей является разработка методов расчета и проектирования конструкций, которые были бы наиболее экономичными по стоимости и материалоемкости. Снижение материалоемкости достигается благодаря применению материалов повышенной прочности и новых конструктивных форм. Трёхслойные конструкции оказываются наиболее рациональными с точки зрения обеспечения минимума весовых показателей при заданных ограничениях на прочность и жесткость.

Трёхслойные пластины и оболочки состоят из двух внешних слоев, изготовленных из прочного материала (например, сталь, алюминий), между которыми размещается относительно легкий и малопрочный средний слой (заполнитель), обеспечивающий совместную работу внешних слоев. При легких заполнителях, у которых модуль упругости на порядки меньше модуля упругости внешних слоев, прочность трёхслойной конструкции от продольных усилий почти целиком обеспечивается внешними слоями. В случае жесткого заполнителя заметная часть продольных усилий воспринимается заполнителем.

Для трёхслойных пластин и оболочек симметричного строения с легким заполнителем, наиболее широко применяющихся в строительстве, различают две формы потери устойчивости: общую и местную. Общая форма потери устойчивости обусловлена искривлением (в результате волнообразования) всего слоя конструкции, включая срединную поверхность. Местную потерю устойчивости внешнего слоя рассматривают как выпучивание пластинки или оболочки на упругом основании. В данной работе рассматривается общая потеря устойчивости трёхслойных оболочек симметричного строения с легким заполнителем при наличии изломов срединной поверхности.

В монографии [24] задача общей устойчивости гладких пологих трёхслойных оболочек с легким заполнителем сводится к решению системы дифференциальных уравнений относительно функций напряжений  $\varphi$  и прогиба  $w$

$$\begin{aligned} 2B(h + \frac{t}{2})^2 \Delta^2 w + (1 - \frac{Bh}{G_3} \Delta)(2D\Delta^2 w - \frac{1}{R_1} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} - \\ - \frac{1}{R_2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} - N_x^0 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - N_y^0 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - 2T^0 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}) = 0, \\ \frac{1}{2B(1 - \mu^2)} \Delta^2 \varphi + \frac{1}{R_1} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{1}{R_2} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0, \end{aligned} \quad (5.5)$$

где  $R_1$  и  $R_2$  – главные радиусы кривизны срединной поверхности,  
 $2h$  – толщина слоя заполнителя,  
 $t$  – толщина каждого из внешних слоев,

$G_3$  – модуль сдвига материала заполнителя,

$B = Et / (1 - \mu^2)$  – жесткость внешнего слоя,

$D = Et^3 / 12(1 - \mu^2)$  – цилиндрическая жесткость внешнего слоя,

$N_x^0, N_y^0$  и  $T^0$  – нормальные и сдвигающие усилия в оболочке в докритическом состоянии, определяемые по безмоментной теории оболочек,

$E$  – модуль упругости материала внешних слоев,

$\mu$  – коэффициент Пуассона.

Идея сборности тонкостенных конструкций приводит к использованию в ее строительстве плоских элементов. Форма конструкции является рациональной, если ее поверхность будет соответствовать поверхности давления. Нагрузка от подвесного оборудования или подвесного потолка является сосредоточенной, поэтому в данном случае самой рациональной формой будет оболочка двоякой положительной гауссовой кривизны в форме многогранника с приложением внешней нагрузки по граням. Оболочки, монтируемые из плоских элементов, экономичнее оболочек из криволинейных элементов, поскольку изготовление плоских элементов технологичнее и они более транспортельны.

Сборная оболочка с изломами поверхности представляет собой сложную пространственную систему. Особенность ее расчета состоит в трудности использования различных известных вариантов теории оболочек в сочетании с методами строительной механики.

Обычно расчет таких систем основан на разделении складчатой оболочки на отдельные пластинки с известными контурными усилиями и моментами, которые находятся затем из условий их совместной деформации. Такой подход приводит к весьма громоздкому алгоритму и медленно сходящемуся вычислительному процессу.

Другой, значительно более эффективный метод расчета пологих оболочек основан на применении аппарата обобщенных функций для учетов переломов срединной поверхности. При этом расчет оболочки сводится к решению обыкновенных дифференциальных уравнений с импульсивными коэффициентами. Представление искомого решения в виде разложения по обобщенным функциям позволяет существенно усилить сходимость рядов, благодаря чему получить простые расчетные формулы и алгоритмы.

Целью исследования является разработка методики определения частот и форм свободных колебаний, а также критических нагрузок трехслойных пологих оболочек с малыми изломами поверхности, исследование влияния различных факторов на частоты и формы, свободных колебаний и на величину критических нагрузок, составление практических рекомендаций инженерам-проектировщикам для динамического расчета и расчета на устойчивость подобных конструкций.

#### 5.4 Уравнения движения трехслойных пологих оболочек с изломами поверхности

Складчатая пологая трехслойная оболочка на прямоугольном плане с размерами  $a$  и  $b$  рассматривается в ортогональных координатах  $x, y$  показана на рисунке 5.2.

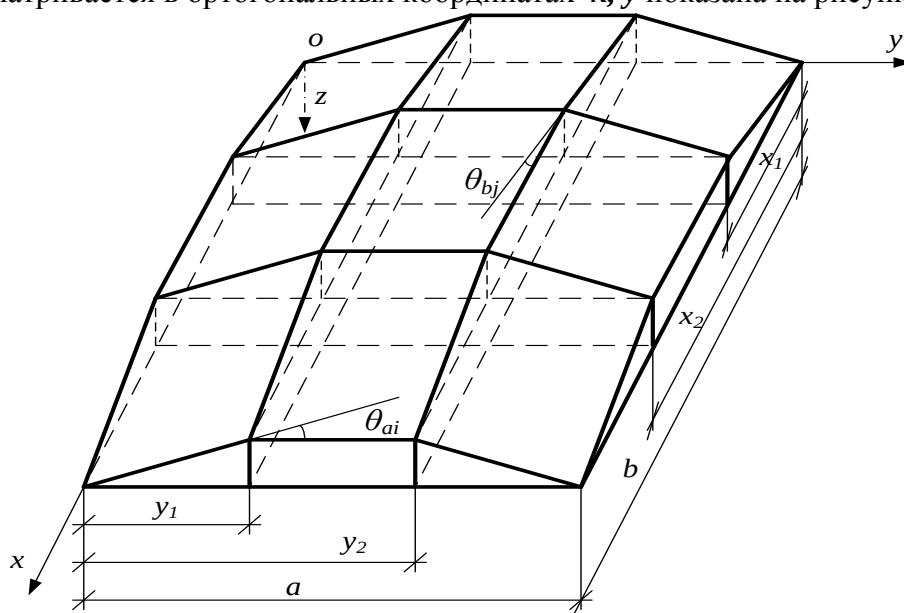


Рис. 5.2. Складчатая пологая оболочка

Задача определения частот и форм свободных колебаний решается на основе теории пологих оболочек с использованием обобщенных функций.

В качестве основного элемента многогранной трехслойной полой оболочкой (оболочки с изломами поверхности) принимается трехслойная пластинка, состоящая из двух внешних слоев и одного внутреннего показано на рисунке 5.3. Толщина  $d$  каждого из внешних слоев мала по сравнению с общей толщиной пластинки  $h$ , условно измеряемой между срединными плоскостями внешних слоев.

Отдельные слои трехслойной пластинки обладают небольшой несущей способностью. Крайние тонкие обшивки из стали или алюминия имеют незначительную изгибную жесткость. Средний слой, состоящий, например, из пенополиуретана, отличается значительной деформативностью из-за низкого модуля упругости. Но если обшивки и средний слой соединены между собой, то получается конструкция с большой изгибной жесткостью.

В соответствии с этим, принимаем [17], что внешние слои воспринимают нормальные и касательные усилия в своей плоскости при равномерном распределении этих усилий по толщине слоя, а средний слой работает только на сдвиг. Таким образом, поперечные силы, не воспринимаемые внешними слоями вследствие их малой толщины, воспринимаются только средним слоем.

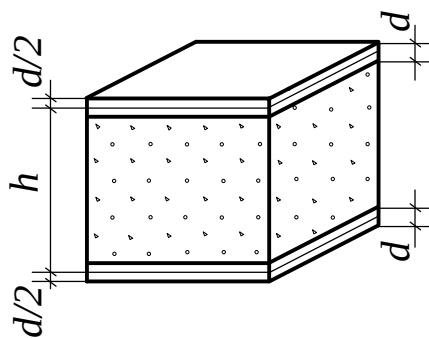


Рис. 5.3. Элемент трёхслойной полой оболочки

Средний слой трёхслойной пластинки выполняет еще одну важную функцию: из-за небольшой толщины внешних слоев при изгибе пластинки возможно выпучивание сжатого внешнего слоя, но благодаря сцеплению между внешними и средними слоями возникновение этого явления затруднено. Чем жестче средний слой, являющийся для внешних слоев подкрепляющим упругим слоем, тем меньше возможность выпучивания сжатого внешнего слоя.

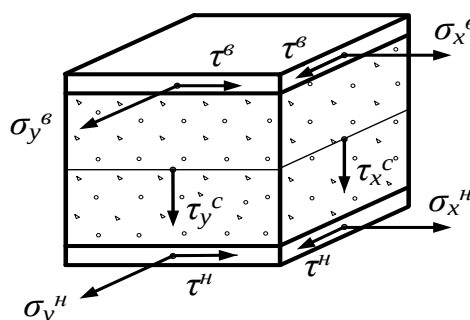


Рис. 5.4. Напряжения, возникающие в слоях оболочки

Чтобы средний слой мог воспринимать сдвигающие усилия и обеспечивать устойчивость внешних слоев, соединение между слоями должно обладать достаточной прочностью. В зависимости от структуры материала слоев применяются различные виды соединений: клеевое, непосредственное сцепление после вспенивания материала среднего слоя и другие.

Согласно [17, 24, 42], применим для внешних несущих слоев гипотезы Кирхгофа-Лява, а для среднего связующего слоя допущения о распределении перемещений по толщине – по линейному закону, то есть гипотезу ломаной линии Найта для всего пакета. В соответствии с этим сформулируем основные допущения, принимаемые при расчете трёхслойных пластинок и оболочек:

а) материал среднего слоя принимается несжимаемым, соответственно, прогибы  $w$  верхнего и нижнего внешних слоев считаются одинаковыми;

б) для легкого заполнителя учитываются деформации поперечного сдвига среднего слоя;

в) в заполнителе прямая, перпендикулярная к срединной поверхности до деформации остается прямой после деформации, но за счет сдвига перпендикулярность нарушается, то есть по толщине среднего слоя задается линейный закон смещений;

г) к тонким внешним слоям применима гипотеза прямых нормалей (нормаль – ломаная в процессе деформации по толщине пакета);

д) продольные силы почти полностью воспринимаются внешними слоями, т.е. можно пренебречь нормальными и касательными напряжениями, лежащими в плоскости, параллельной несущим слоям.

На основании этих допущений, в монографии [17] выведены уравнения равновесия трехслойных плит и пологих оболочек. На этом выводе основано получение уравнений движения трехслойных оболочек с изломами поверхности.

Обозначив верхним индексом «в» компоненты напряженно-деформированного состояния верхнего внешнего слоя, индексом «н» – нижнего, а индексом «с» – среднего слоя, показано на рисунке 5.4, запишем выражения для напряжений в срединной плоскости трехслойной пластинки:

$$\sigma_x = \frac{\sigma_x^B + \sigma_x^H}{2}, \quad \sigma_y = \frac{\sigma_y^B + \sigma_y^H}{2}, \quad \tau = \frac{\tau^B + \tau^H}{2}.$$

Изгибающие и крутящие моменты в ее сечении:

$$M_x = (\sigma_x^H - \sigma_x^B)d \cdot \frac{h}{2}, \quad M_y = (\sigma_y^H - \sigma_y^B)d \cdot \frac{h}{2},$$

$$H = (\tau^H - \tau^B)d \cdot \frac{h}{2}. \quad (5.6)$$

Подставляя в (5.6) соотношения между перемещениями и деформациями (уравнения Коши), а также между деформациями и напряжениями (уравнения закона Гука) и используя обозначения

$$\xi = \frac{u^H - u^B}{h}, \quad \psi = \frac{v^H - v^B}{h}, \quad \text{получим}$$

$$M_x = D^* \left( \frac{\partial \xi}{\partial x} + \mu \frac{\partial \psi}{\partial y} \right), \quad M_y = D^* \left( \frac{\partial \psi}{\partial y} + \frac{\partial \xi}{\partial x} \right),$$

$$H = D^* (1 - \mu) \left( \frac{\partial \xi}{\partial y} - \frac{\partial \psi}{\partial x} \right), \quad (5.7)$$

где  $D^*$  – цилиндрическая жесткость трехслойной пластинки

$$D^* = \frac{Eh^2d}{2(1-\mu^2)} \quad (5.8)$$

Деформации сдвига в некоторой точке среднего слоя будут равны

$$\gamma_x^c = \frac{\partial u^c}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} = \xi + \frac{\partial w}{\partial x},$$

$$\gamma_y^c = \frac{\partial v^c}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} = \psi + \frac{\partial w}{\partial y}, \quad (5.9)$$

откуда получаем выражение для касательных напряжений в среднем слое

$$\tau_x^c = G_3 \gamma_x^c, \quad \tau_y^c = G_3 \gamma_y^c, \quad (5.10)$$

где  $G_3$  – модуль сдвига материала среднего слоя (заполнителя).

Исходя из (5.9), (5.10), получим выражения для поперечных сил в сечениях среднего слоя, т.е. в сечении пластинки в целом

$$\begin{aligned} Q_x &= \tau_x^c h = G_3 h \left( \xi + \frac{\partial w}{\partial x} \right), \\ Q_y &= \tau_y^c h = G_3 h \left( \psi + \frac{\partial w}{\partial y} \right). \end{aligned} \quad (5.11)$$

Продифференцируем в уравнениях (5.11)  $Q_x$  по  $x$ ,  $Q_y$  по  $y$  и сложим почленно. Введя функцию перемещений  $F$  формулой  $F = \frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{\partial \psi}{\partial y}$ , получим

$$F = -\Delta w + \frac{1}{G_3 h} \left( \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} \right). \quad (5.12)$$

Уравнения моментов трехслойной пластинки, выраженные через поперечные силы, в принятых обозначениях запишутся в виде:

$$Q_x = D^* \Delta \xi, \quad Q_y = D^* \Delta \psi. \quad (5.13)$$

Уравнение проекций внешних сил ( $q$ ) и внутренних усилий на направление нормали к пластинке имеет вид:

$$\frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} = -q, \quad D^* \Delta F = -q. \quad (5.14)$$

Условие сопряжения слоев пластинки получим из (4.12) и (4.13):

$$F = -\Delta w + \frac{D^*}{G_3 h} \Delta F. \quad (5.15)$$

К уравнениям (5.14), (5.15) добавим еще обычное уравнение совместности деформаций пластинки, выраженное через функцию напряжений  $\varphi$ :

$$\Delta^2 \varphi = 0. \quad (5.16)$$

Уравнения (5.14), (5.15) можно свести к одному, если исключить функцию перемещений  $F$ . В результате получим разрешающую систему уравнений равновесия тонкой трехслойной пластинки:

$$\begin{aligned} D^* \Delta^2 w &= \left( 1 - \frac{D^*}{G_3 h} \Delta \right) q, \\ \Delta^2 \varphi &= 0. \end{aligned} \quad (5.17)$$

Уравнения равновесия гладкой трехслойной пологой оболочки получаются аналогично уравнениям (5.17) трехслойной пластинки. В этом случае в уравнение равновесия проекций всех сил на направление нормали (5.14) добавляются слагаемые, содержащие постоянные кривизны  $k_x$  и  $k_y$ :

$$\frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} - \sigma_x k_x 2d - \sigma_y k_y 2d + q = 0, \quad (5.18)$$

или, учитывая (5.13), выражение для функции перемещений  $F$  и функции напряжений  $\varphi$ , будем иметь:

$$\frac{D^*}{2d} \Delta F - k_x \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} - k_y \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{q}{2d} = 0. \quad (5.19)$$

Исключая из этого уравнения функцию перемещений  $F$  с помощью условия сопряжения слоев трехслойной пластинки или оболочки (5.15), получим уравнение

$$\frac{D^*}{2d} \Delta^2 w = \left(1 - \frac{D^*}{G_3 h} \Delta\right) \left(\frac{q}{2d} - k_x \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} - k_y \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}\right). \quad (5.20)$$

Добавляя к этому уравнению условие совместности деформаций пологой оболочки, выраженное через функцию напряжений  $\varphi$ , получим систему уравнений равновесия гладкой пологой трехслойной оболочки

$$\begin{aligned} \frac{D^*}{2d} \Delta^2 w &= \left(1 - \frac{D^*}{G_3 h} \Delta\right) \left(\frac{q}{2d} - k_x \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} - k_y \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}\right), \\ \frac{1}{Eh} \Delta^2 \varphi &= k_x \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + k_y \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}, \end{aligned} \quad (5.21)$$

где  $E$  и  $\mu$  - модуль упругости и коэффициент Пуассона материала внешних слоев.

Используя принцип Даламбера и представив кривизны  $k_x$  и  $k_y$  с помощью  $\delta$ -функции Дирака [59] в виде

$$k_x = \sum_{i=1}^k \theta_i \delta(x - x_i), \quad k_y = \sum_{j=1}^l \theta_j \delta(y - y_j), \quad (5.22)$$

преобразуем уравнения (4.21) в систему уравнений движения прямоугольной в плане трехслойной пологой оболочки с изломами срединной поверхности в двух направлениях:

$$\begin{aligned} \frac{D^*}{2d} \Delta^2 w + \left(1 - \frac{D^*}{G_3 h} \Delta\right) \left[ \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \sum_{i=1}^k \theta_i \delta(x - x_i) + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \sum_{j=1}^l \theta_j \delta(y - y_j) + \frac{m^* \ddot{w}}{2d} \right] &= 0 \\ \frac{1}{Eh} \Delta^2 \varphi - \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \sum_{i=1}^k \theta_i \delta(x - x_i) - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \sum_{j=1}^l \theta_j \delta(y - y_j) &= 0, \end{aligned} \quad (5.23)$$

где  $m^*$  - приведенная удельная масса материала трехслойной оболочки, определяемая выражением  $m^* = \rho_3(h - d) + 2\rho_B d$ ,  $\rho_3$  - плотность материала заполнителя,

$\rho_B$  - плотность материала внешних несущих слоев.

### 5.5 Решение задачи о свободных колебаниях трехслойных прямоугольных в плане пологих оболочек с изломами поверхности

Для прямоугольной в плане пологой оболочки с шарнирным опиранием по контуру, не препятствующем горизонтальному смещению краев, решение системы уравнений движения (5.23) можно представить в виде двойных тригонометрических рядов. В этом случае искомые функции  $\varphi$  и  $W$  представляются в виде:

$$\begin{aligned}
\varphi(x, y, t) &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \varphi_{mn}(t) \sin \alpha_m x \cdot \sin \beta_n y, \\
w(x, y, t) &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} w_{mn}(t) \sin \alpha_m x \cdot \sin \beta_n y,
\end{aligned}
\tag{5.24}$$

где  $\alpha_m = m\pi / a$ ,  $\beta_n = n\pi / b$ .

Полагаем, что свободные колебания оболочки происходят по гармоническому закону [58] с круговой частотой  $\omega_{mn}$  по формам колебаний  $m$  вдоль оси  $x$  и  $n$  вдоль оси  $y$  и задаем, в связи с этим, функции времени  $\varphi_{mn}(t)$  и  $w_{mn}(t)$  в виде

$$\begin{aligned}
\varphi_{mn}(t) &= \varphi_{mn} \sin \omega_{mn} t, \\
w_{mn}(t) &= w_{mn} \sin \omega_{mn} t.
\end{aligned}
\tag{5.25}$$

В этом случае, учитывая, что для условия шарнирного опирания оболочки по контуру [44] каждый член рядов (5.24) является частным интегралом системы уравнений движения (5.23), представляем неизвестные функции в виде

$$\begin{aligned}
\varphi(x, y, t) &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \varphi_{mn} \sin \omega_{mn} t \sin \alpha_m x \cdot \sin \beta_n y, \\
w(x, y, t) &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} w_{mn} \sin \omega_{mn} t \sin \alpha_m x \cdot \sin \beta_n y.
\end{aligned}
\tag{5.26}$$

Подставляя эти выражения в уравнения движения (5.23) и приравнявая в полученном результате коэффициенты при  $\sin \omega_{mn} t$ , получим систему уравнений, для решения которой применяем метод Бубнова-Галеркина. Домножив все члены полученных уравнений на  $\sin \alpha_m x \cdot \sin \beta_n y$  и проинтегрировав результат по площади плана оболочки, получим:

$$\begin{aligned}
&\frac{D^*}{2d} (\alpha_m^2 + \beta_n^2)^2 w_{mn} \int_0^a \int_0^b \sin^2 \alpha_m x \sin^2 \beta_n y dx dy - \\
&- \beta_n^2 \varphi_{mn} \int_0^a \int_0^b \sum_{i=1}^k \theta_i \delta(x - x_i) \sin^2 \alpha_m x \cdot \sin^2 \beta_n y dx dy - \\
&- \alpha_m^2 \varphi_{mn} \int_0^a \int_0^b \sum_{j=1}^l \theta_j \delta(y - y_j) \sin^2 \alpha_m x \sin^2 \beta_n y dx dy - \\
&- \frac{m^* \omega_{mn}^2}{2d} w_{mn} \int_0^a \int_0^b \sin^2 \alpha_m x \sin^2 \beta_n y dx dy -
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -\frac{D^*}{G_3 h}(\alpha_m^2 \beta_n^2 + \alpha_m^4) \varphi_{mn} \int_0^a \int_0^b \sum_{j=1}^l \theta_j \delta(y - y_j) \sin^2 \alpha_m x \sin^2 \beta_n y dx dy - \\
& -\frac{D^* m^*}{2G_3 h d}(\alpha_m^2 + \beta_n^2) \omega_{mn}^2 w_{mn} \int_0^a \int_0^b \sin^2 \alpha_m x \sin^2 \beta_n y dx dy = 0, \\
& \frac{1}{E}(\alpha_m^2 + \beta_n^2)^2 \varphi_{mn} \int_0^a \int_0^b \sin^2 \alpha_m x \sin^2 \beta_n y + \\
& + \beta_n^2 w_{mn} \int_0^a \int_0^b \sum_{i=1}^k \theta_i \delta(x - x_i) \sin^2 \alpha_m x \sin^2 \beta_n y dx dy + \\
& + \alpha_m^2 w_{mn} \int_0^a \int_0^b \sum_{j=1}^l \theta_j \delta(y - y_j) \sin^2 \alpha_m x \sin^2 \beta_n y dx dy = 0.
\end{aligned}$$

В результате интегрирования приходим к однородной системе алгебраических уравнений относительно неизвестных  $\varphi_{mn}$  и  $w_{mn}$ :

$$\begin{aligned}
& \left( \frac{D^*}{2d}(m, n)^2 - \frac{m^*}{2d} \left( 1 + \frac{D^*}{G_3 h}(m, n) \right) \omega_{mn}^2 \right) w_{mn} - \\
& - \left( \frac{2}{a} \beta_n^2 \sum_{i=1}^k \theta_i \sin^2 \alpha_m x_i + \frac{2}{b} \alpha_m^2 \sum_{j=1}^l \theta_j \sin^2 \beta_n y_j \left( 1 + \frac{D^*}{G_3 h}(m, n) \right) \varphi_{mn} \right) = 0, \\
& \frac{1}{Eh}(m, n)^2 \varphi_{mn} + \left( \frac{2}{a} \beta_n^2 \sum_{i=1}^k \theta_i \sin^2 \alpha_m x_i + \frac{2}{b} \alpha_m^2 \sum_{j=1}^l \theta_j \sin^2 \beta_n y_j \right) w_{mn} = 0,
\end{aligned} \tag{5.27}$$

где  $(m, n) = \alpha_m^2 + \beta_n^2$ .

Отличное от нуля решение этой однородной системы уравнений возможно лишь в случае равенства нулю ее определителя, т.е. при

$$\det = \begin{vmatrix} \frac{D^*}{2d}(m, n)^2 - \frac{m^*}{2d} \left( 1 + \frac{D^*}{G_3 h}(m, n) \right) \omega_{mn}^2 & - \left( \frac{2}{a} \beta_n^2 r_x + \frac{2}{b} \alpha_m^2 r_y \left( 1 + \frac{D^*}{G_3 h}(m, n) \right) \right) \\ \left( \frac{2}{a} \beta_n^2 r_x + \frac{2}{b} \alpha_m^2 r_y \right) & \frac{1}{Eh}(m, n)^2 \end{vmatrix} = 0,$$

$$\text{где } r_x = \sum_{i=1}^k \theta_i \sin^2 \alpha_m x_i, \quad r_y = \sum_{j=1}^l \theta_j \sin^2 \beta_n y_j.$$

Раскрывая полученный определитель, приходим к частотному уравнению

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{Eh}(m, n)^2 \frac{D^*}{2d}(m, n)^2 - \frac{1}{Eh}(m, n)^2 \frac{m^*}{2d} \left( 1 + \frac{D^*}{G_3 h}(m, n) \right) \omega_{mn}^2 + \\
& + \left( \frac{2}{a} \beta_n^2 r_x + \frac{2}{b} \alpha_m^2 r_y \right)^2 \left( 1 + \frac{D^*}{G_3 h}(m, n) \right) = 0,
\end{aligned}$$

решение которого дает формулу для квадрата круговой частоты свободных изгибных колебаний трехслойной прямоугольной в плане полой оболочки с изломами срединной поверхности в двух направлениях:

$$\omega_{mn}^2 = \frac{1}{m^*} \left( \frac{D^*(m,n)^2}{1 + \frac{D^*}{G_3 h}(m,n)} + \frac{8hEd \left( \frac{\beta_n^2}{a} r_x + \frac{\alpha_m^2}{b} r_y \right)^2}{(m,n)^2} \right). \quad (5.28)$$

Эта формула позволяет определять частоты свободных колебаний трехслойной оболочки с произвольным количеством изломов  $i$  в направлении оси  $x$  и  $j$  в направлении оси  $y$ . В частном случае прямоугольной в плане оболочки с симметрично расположенными изломами на одинаковом расстоянии друг от друга в каждом из направлений  $x$  и  $y$ , а также при постоянных углах  $\theta_i = \theta_x = \text{const}$ ,  $\theta_j = \theta_y = \text{const}$  формула (5.28) принимает вид:

$$\omega_{mn}^2 = \frac{1}{m^*} \left( \frac{D^*(m,n)^2}{1 + \frac{D^*}{G_3 h}(m,n)} + \frac{8hEd \left( \frac{\beta_n^2}{a} \theta_x S_x + \frac{\alpha_m^2}{b} \theta_y S_y \right)^2}{(m,n)^2} \right), \quad (5.29)$$

где приняты обозначения

$$\begin{aligned} S_x &= \sin^2 \frac{m\pi}{k+1} + \sin^2 \frac{2m\pi}{k+1} + \dots + \sin^2 \frac{km\pi}{k+1}, \\ S_y &= \sin^2 \frac{n\pi}{l+1} + \sin^2 \frac{2n\pi}{l+1} + \dots + \sin^2 \frac{ln\pi}{l+1}. \end{aligned} \quad (5.30)$$

Здесь  $S_x$  и  $S_y$  определяются при значениях  $m$  и  $n$ , не кратных числу панелей  $k+1$  в направлении оси  $x$  и  $l+1$  в направлении оси  $y$ . Так, например, для оболочки с двумя изломами ( $k=l=2$ ) из формулы (5.30) получим значения  $S_x = S_y = 3/2$ , и для форм колебаний, не кратных трем ( $m \neq 3p$  и  $n \neq 3s$ ), имеем:

$$\omega_{mn}^2 = \frac{1}{m^*} \left( \frac{D^*(m,n)^2}{1 + \frac{D^*}{G_3 h}(m,n)} + \frac{18hEd \left( \frac{\beta_n^2}{a} \theta_x + \frac{\alpha_m^2}{b} \theta_y \right)^2}{(m,n)^2} \right). \quad (5.31)$$

Для форм колебаний, кратных трем ( $m=3p$ ,  $n=3s$ ), величины  $S_x$  и  $S_y$  по формуле (5.30) обращаются в нуль.

При конкретных формах колебаний из формулы (5.31) получаем соответствующие выражения для  $\omega_{mn}^2$ , например:

$$\omega_{11}^2 = \frac{1}{m^*} \left( \frac{D^*(1,1)^2}{1 + \frac{D^*}{G_3 h}(1,1)} + \frac{18hEd\pi^4 \left( \frac{\theta_x}{ab^2} + \frac{\theta_y}{a^2b} \right)^2}{(1,1)^2} \right),$$

$$\omega_{12}^2 = \frac{1}{m^*} \left( \frac{D^*(1,2)^2}{1 + \frac{D^*}{G_3 h}(1,2)} + \frac{18hEd\pi^4 \left( \frac{4\theta_x}{ab^2} + \frac{\theta_y}{a^2b} \right)^2}{(1,2)^2} \right) \text{ и т.д.}$$

В случае квадратной в плане оболочки, когда  $a = b$ ,  $\theta_x = \theta_y = \theta$ , формула (5.29) существенно упрощается:

$$\omega_{mn}^2 = \frac{1}{m^*} \left( \frac{D^*(m,n)^2}{1 + \frac{D^*}{G_3 h}(m,n)} + \frac{18hE\pi^4 d \theta^2 (m^2 + n^2)^2}{a^6 (m,n)^2} \right), \quad (5.32)$$

Откуда имеем в частных случаях:

$$\omega_{11}^2 = \frac{1}{m^*} \left( \frac{D^*(1,1)^2}{1 + \frac{D^*}{G_3 h}(1,1)} + \frac{72hE\pi^4 \theta^2 d}{a^6 (1,1)^2} \right),$$

$$\omega_{12}^2 = \frac{1}{m^*} \left( \frac{D^*(1,2)^2}{1 + \frac{D^*}{G_3 h}(1,2)} + \frac{450hE\pi^4 \theta^2 d}{a^6 (1,2)^2} \right) \text{ и т.д.}$$

Общая формула (5.29) для квадрата частоты свободных колебаний трехслойной прямоугольной в плане полой оболочки с изломами поверхности позволяет получать значения  $\omega_{mn}^2$  по всем формам колебаний при произвольном количестве симметрично расположенных изломов, и в частном случае – для абсолютно жесткого заполнителя, при  $\frac{D^*}{G_3 h} \rightarrow 0$ , дает выражение для  $\omega_{mn}^2$  однородной оболочки с цилиндрической жесткостью  $D^*$ .

## 5.6 Методика определения частот свободных колебаний трехслойных оболочек с изломами поверхности

За основу предлагаемой методики определения частот свободных колебаний пологих прямоугольных и квадратных в плане трехслойных оболочек с изломами поверхности принято решение соответствующей задачи, относящееся к прямоугольной оболочке с симметрично расположенными изломами поверхности на одинаковом расстоянии друг от друга и при постоянных углах изломов  $\theta_i = \theta_x = \text{const}$  и  $\theta_j = \theta_y = \text{const}$ . Для таких оболочек квадрат частоты свободных колебаний определяется формулой (5.29), где значения  $S_x$  и  $S_y$  находятся по формуле (4.30) при значениях волновых чисел  $m$  и  $n$ , не кратных числу панелей  $k+1$  в направлении оси  $x$  и  $l+1$  в направлении оси  $y$ .

**Последовательность определения частот свободных колебаний оболочек:**

1. Для заданного материала внешних слоев трехслойной оболочки с модулем упругости  $E$ , коэффициентом Пуассона  $\mu$ , плотностью  $\rho_b$ , толщине внешних слоев  $d$  и толщине оболочки  $h$  вычисляется значение цилиндрической жесткости трехслойной оболочки

$$D^* = \frac{Eh^2d}{2(1-\mu^2)};$$

2. Для заданного материала заполнителя с модулем сдвига  $G_3$  и плотностью  $\rho_3$  определяется приведенная масса материала трехслойной оболочки на единицу площади

$$m^* = \rho_3(h-d) + 2\rho_b d;$$

3. При заданных размерах оболочки в плане  $a$  и  $b$  и заданном количестве изломов  $k$  – вдоль оси  $x$  и  $l$  – вдоль оси  $y$  определяются углы изломов  $\theta_x$  и  $\theta_y$ , а также по формулам (4.30) – значения коэффициентов  $S_x$  и  $S_y$ ;

4. Подставляя вычисленные параметры в формулу (4.29), находятся

значения квадратов круговой частоты  $W_{mn}^2$  при заданных формах ( $m = 1, 2, 3, \dots$ ;  $n = 1, 2, 3, \dots$ ) свободных колебаний оболочки.

**5.7 Исследование частот и форм колебаний трехслойных оболочек с изломами поверхности**

Применим изложенную методику к исследованию частот и форм свободных колебаний прямоугольных в плане трехслойных оболочек с двумя изломами поверхности в каждом из направлений  $x$  и  $y$ , то есть при  $k=l=2$ .

В качестве объектов исследования принимаем оболочки с размерами в плане 12x12 м, 12x18 м и 12x24 м, каждая из которых состоит из девяти плит показано на рисунке 5.5.

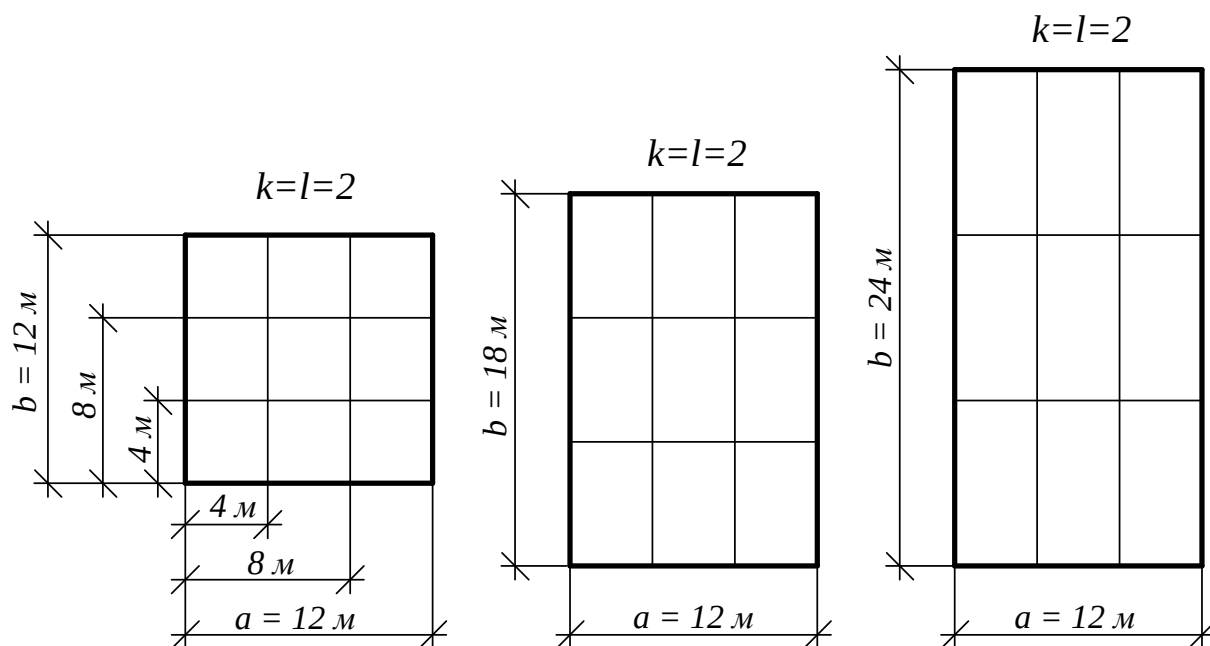


Рис. 5.5. Проекция прямоугольных в плане оболочек

Оболочки состоят из двух внешних слоев толщиной  $d = 0,5\text{ см}$ , показано на рисун-

ке 5.3, из алюминия с модулем упругости  $E = 6,9 \cdot 10^4$  МПа, удельным весом  $\gamma_B = 2730$  кг/м<sup>3</sup> и коэффициентом Пуассона  $\mu=0,3$  и слоя заполнителя из пенополиуретана с модулем сдвига  $G_3 = 4,092$  МПа и удельным весом  $\gamma_3 = 400$  кг/м<sup>3</sup>. Толщина каждой оболочки  $h=10$  см.

Определив указанные в первых трех пунктах методики расчета параметры, используем для вычислений квадрата круговой частоты свободных колебаний оболочек формулу (5.29), которая при заданных значениях  $k=l=2$  и  $S_x = S_y = 3/2$  будет иметь вид:

$$\omega_{mn}^2 = \frac{1}{m^*} \left( \frac{D^*(m,n)^2}{1 + \frac{D^*}{G_3 h}(m,n)} + \frac{18hEd \left( \frac{\beta_n^2}{a} \theta_x + \frac{\alpha_m^2}{b} \theta_y \right)^2}{(m,n)^2} \right),$$

Вычисляем по этой формуле значения частот по формам колебаний, соответствующим волновым числам  $n=1$  и  $m=1, 2, \dots, 7$ . то есть по формам свободных колебаний, соответствующим одной полуволне в продольном направлении оболочки и  $m$  полуволнам в поперечном.

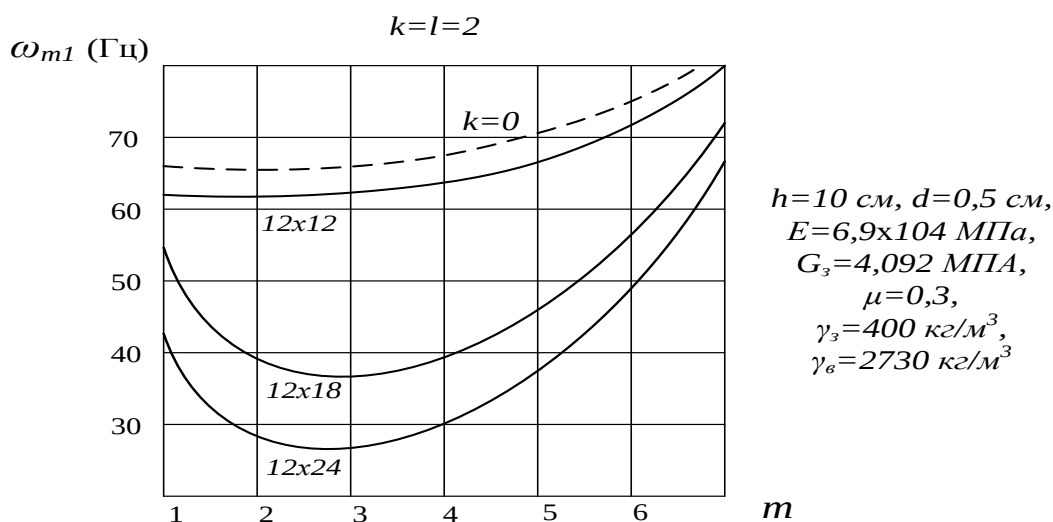


Рис. 5.6. График изменения частот свободных колебаний пологих трехслойных оболочек в зависимости от волнового числа  $m$  и  $n$  и от соотношения  $a/b$

Результаты вычислений для складчатых оболочек с размерами в плане 12x12 м, 12x18 м и 12x24 м представлены на рисунке 5.6, в виде кривых зависимости частоты  $\omega_{m1}$  в герцах от волнового числа  $m$ . Здесь же для сравнения показан штриховой линией график изменения частоты  $\omega_{m1}$  для квадратной в плане 12x12 м гладкой трехслойной оболочки ( $k=0$ ).

Анализ приведенных графиков показывает, что с увеличением одного из размеров оболочки от 12 до 24 м жесткость уменьшается и частота свободных колебаний падает. При этом, если для квадратной в плане оболочки (12x12 м) наименьшая частота соответствует первой форме колебаний ( $m=n=1$ ), то для прямоугольных в плане оболочек (12x18 м, 12x24 м) с соотношением сторон плана оболочки  $b/a > 1,5$  наименьшая частота соответствует второй смешанной форме колебаний при волновых числах  $m=2$  и  $n=1$ , то есть в коротком направлении по оси  $x$  возникают две полуволны, а в длинном направлении по оси  $y$  возникает одна полуволна. Такое явление объясняется минимумом затраты энергии, необходимой для деформации оболочки.

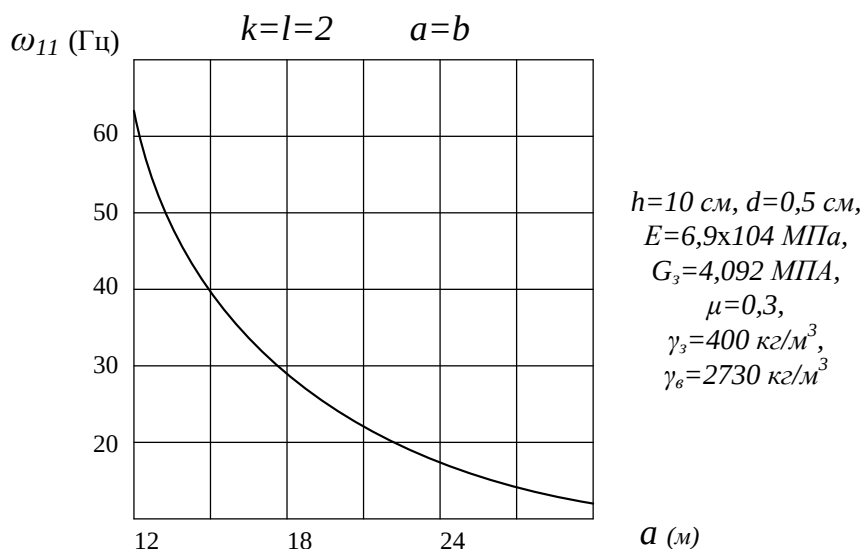


Рис. 5.7. График зависимости свободных колебаний квадратной в плане оболочки с двумя изломами от размеров в плане

Исследуя график зависимости частоты основного тона колебаний  $\omega_{11}$  в герцах при  $m=1$ ,  $n=1$  от размеров в плане для трехслойных квадратных в плане пологих оболочек с двумя симметричными изломами поверхности, показано на рисунке 5.7, можно сделать вывод, что при увеличении размеров оболочки частота свободных колебаний существенно уменьшается.

Квадрат частоты свободных колебаний при различных углах  $\theta_i$  и  $\theta_j$  для трехслойных прямоугольных в плане оболочек определяется по формуле (5.28) с любым количеством изломов.

Рассмотрим зависимость частоты свободных колебаний трехслойной прямоугольной в плане полой оболочки от количества изломов, показано на рисунке 5.8.

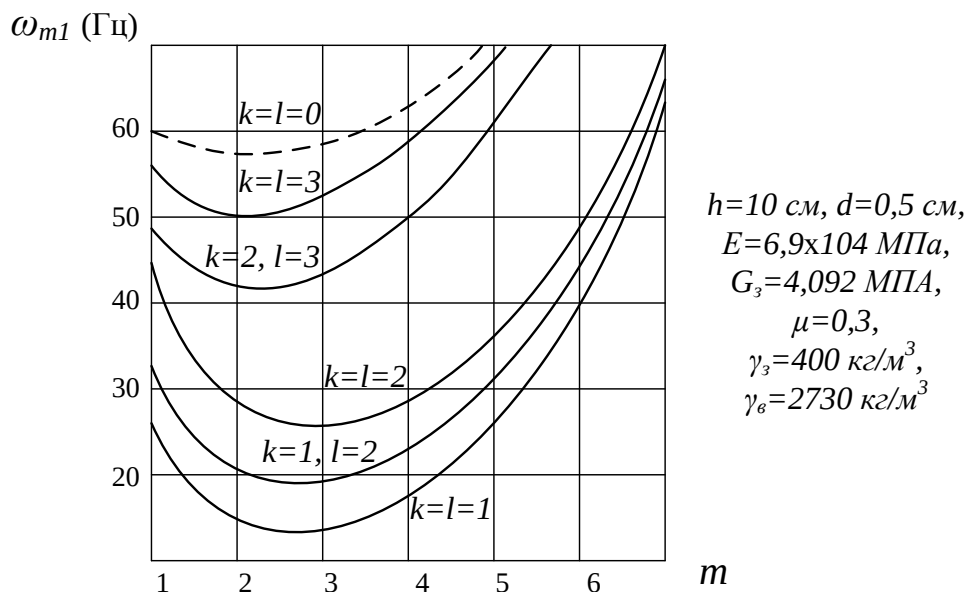


Рис. 5.8. Графики зависимостей частот свободных колебаний трехслойной прямоугольной в плане 12x24 м полой оболочки от количества изломов

При этом значения  $r_x$  и  $r_y$  будем вычислять по формулам:

$$\begin{aligned} r_x &= \sum_{i=1}^k \theta_i \sin^2 \alpha_m x, \\ r_y &= \sum_{j=1}^l \theta_j \sin^2 \beta_n y. \end{aligned} \quad (5.33)$$

Для оболочки с двумя изломами по направлению оси  $x$  и с тремя изломами по направлению оси  $y$  параметры  $r_x$  и  $r_y$  принимают значения:  $m=n=1$ ;  $r_x = (3/2)\theta_x$ ,

$$r_y = \theta_{1y} \sin^2 \frac{1\pi}{b} \frac{b}{4} + \theta_{2y} \sin^2 \frac{1\pi}{b} \frac{2b}{4} + \theta_{3y} \sin^2 \frac{1\pi}{b} \frac{3b}{4} = 2\theta_y$$

при  $\theta_{1y} = \theta_{2y} = \theta_{3y}$ ,

$$\begin{aligned} m=2, n=1; & \quad r_x=(3/2)\theta_x; \quad r_y=2\theta_y; \\ m=3, n=1; & \quad r_x=0; \quad r_y=2\theta_y; \\ m=4, n=1; & \quad r_x=(3/2)\theta_x; \quad r_y=2\theta_y; \end{aligned}$$

Большой интерес для практики проектирования имеют значения частот с изменением волнового числа  $m$ , то есть изменение числа полуволн по направлению короткой стороны. Для  $m$ , кратного числу панелей  $r_x = 0$ .

Для оболочки с тремя изломами по направлению оси  $x$  и тремя изломами по направлению оси  $y$ ,  $r_x$  и  $r_y$  примут значения:

$$m = n = 1; \quad r_x = \theta_{1x} \sin^2 \frac{1\pi}{a} \frac{a}{4} + \theta_{2x} \sin^2 \frac{1\pi}{a} \frac{2a}{4} + \theta_{3x} \sin^2 \frac{1\pi}{a} \frac{3a}{4} = 2\theta_x$$

при  $\theta_{1x} = \theta_{2x} = \theta_{3x}$ ;  $r_y = 2\theta_y$ ;

$$\begin{aligned} m = 2, n = 1; \quad r_x &= \theta_x \left( \sin^2 \frac{2\pi}{a} \frac{a}{4} + \sin^2 \frac{2\pi}{a} \frac{2a}{4} + \sin^2 \frac{2\pi}{a} \frac{3a}{4} \right) = 2\theta_x; \\ r_y &= 2\theta_y; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m = 3, n = 1; \quad r_x &= \theta_x \left( \sin^2 \frac{3\pi}{a} \frac{a}{4} + \sin^2 \frac{3\pi}{a} \frac{2a}{4} + \sin^2 \frac{3\pi}{a} \frac{3a}{4} \right) = 2\theta_x; \\ r_y &= 2\theta_y; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m = 4, n = 1; \quad r_x &= \theta_x \left( \sin^2 \frac{4\pi}{a} \frac{a}{4} + \sin^2 \frac{4\pi}{a} \frac{2a}{4} + \sin^2 \frac{4\pi}{a} \frac{3a}{4} \right) = 0; \\ r_y &= 2\theta_y. \end{aligned}$$

Анализ графиков, на рисунке 5.8 показал, что значения частот складчатой оболочки при увеличении числа изломов приближаются к значениям частот для гладкой оболочки  $k = l = 0$ , описанной по данной складчатой. Это объясняется тем, что поверхность складчатой оболочки при увеличении числа изломов в пределе стремится к гладкой. Анализ результатов расчета однородных оболочек приводит к такому же выводу.

Для трехслойной прямоугольной в плане полой оболочки с исходными данными, показанным на рисунке 5.8, была исследована зависимость частот свободных колебаний от изменения толщины  $h$ . Анализ результатов показал, что для принятых исходных данных изменение толщины  $h$  мало влияет на изменение частот свободных колебаний. Можно сделать вывод, что трехслойные оболочки мало реагируют на изменение тонкостенности за счет уменьшения толщины заполнителя.

### 5.8 Исследование устойчивости пологих складчатых трехслойных оболочек

Рассмотрим задачу потери устойчивости трехслойной складчатой полой оболочкой на прямоугольном плане с изломами срединной поверхности в двух направлениях вдоль координатных осей в линейной постановке задачи. В соответствии с этой постановкой [15] предполагается, что в полой оболочке, находящейся под действием внешней поперечной распределенной нагрузки интенсивностью  $q$ , возникают только тангенциальные силы (нормальные  $T_x^0$  и  $T_y^0$  и сдвигающие  $T_{xy}^0$ ), определяемые по безмоментной теории оболочек. С увеличением нагрузки  $q$  внутренние силы возрастают, напряженное состояние оболочки меняется и переходит в моментное.

Критической считается нагрузка, превышение которой влечет за собой потерю устойчивости деформированного тела. При критическом значении внешней нагрузки возможно раздвоение форм равновесия. Полученные в [15] уравнения линейной теории устойчивости пологих оболочек имеют вид системы линейных однородных дифференциальных уравнений:

$$D\Delta^2 w - k_x \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} - k_y \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} - T_x^0 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - 2T_{xy}^0 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} - T_y^0 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0, \quad (5.34)$$

$$\frac{1}{Eh} \Delta^2 \varphi + k_x \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + k_y \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0,$$

где  $\varphi$  - функция напряжений (усилий), определяемая соотношениями:

$$T_x = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}, \quad T_y = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}, \quad T_{xy} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y}, \quad (5.35)$$

$\Delta^2$  - двойной оператор Лапласа.

Рассмотрим прямоугольную в плане однородную складчатую пологую оболочку, состоящую из плоских панелей и имеющую изломы срединной поверхности в двух взаимно перпендикулярных направлениях вдоль координатных линий, нагруженную поперечной нагрузкой интенсивностью  $q$ . Переход от системы уравнений (5.34), справедливых для гладкой полой оболочки, к уравнениям устойчивости для складчатой однородной оболочки осуществляется за счет введения параметров условной кривизны, выраженных через дельта-функцию Дирака:

$$k_x = \sum_{i=1}^k \theta_{ai} \delta(x - x_i), \quad k_y = \sum_{j=1}^l \theta_{bj} \delta(y - y_j), \quad (5.36)$$

где  $\theta_{ai}$  и  $\theta_{bj}$  - углы изломов срединной поверхности складчатой оболочки на линии соединения ее плоских элементов;

$i = 1, 2, \dots, k$ ;

$j = 1, 2, \dots, l$  - число изломов срединной поверхности в направлениях  $x$  и  $y$  соответственно.

Для однородной складчатой полой оболочки при задании кривизн по (5.36) уравнения линейной теории устойчивости пологих оболочек принимают вид:

$$\begin{aligned}
& D\Delta^2 w - \sum_{i=1}^k \theta_{ai} \delta(x - x_i) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} - \sum_{j=1}^l \theta_{bj} \delta(y - y_j) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} - \\
& - T_x^0 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - 2T_{xy}^0 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} - T_y^0 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0, \\
& \frac{1}{Eh} \Delta^2 \varphi + \sum_{i=1}^k \theta_{ai} \delta(x - x_i) \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \sum_{j=1}^l \theta_{bj} \delta(y - y_j) \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0.
\end{aligned} \tag{5.37}$$

Система дифференциальных уравнений устойчивости пологих гладких трехслойных оболочек, полученная на основании положений и допущений, принимает вид:

$$\begin{aligned}
& D^* \Delta^2 w + (1 - \frac{D^*}{G_3 h} \Delta) (2D\Delta^2 w - k_x \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} - k_y \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} - \\
& - T_x^0 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - 2T_{xy}^0 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} - T_y^0 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}) = 0 \\
& \frac{1}{2Ed} \Delta^2 \varphi + k_x \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + k_y \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0,
\end{aligned} \tag{5.38}$$

где  $d$  – толщина каждого из внешних слоев оболочки,

$h$  – толщина оболочки (рис. 5.3),

$G_3$  – модуль сдвига материала среднего слоя (заполнителя),

$$D^* = \frac{Eh^2 d}{2(1 - \mu^2)}, \quad D = \frac{Ed^3}{12(1 - \mu)}, \quad \mu - \text{коэффициент Пуассона.}$$

Введя в уравнения (5.38) условные кривизны, выраженные через дельта-функцию Дирака по (5.36), получим разрешающие уравнения устойчивости пологих складчатых трехслойных оболочек:

$$\begin{aligned}
& D^* \Delta^2 w + (1 - \frac{D^*}{G_3 h} \Delta) (2D\Delta^2 w - \sum_{i=1}^k \theta_{ai} \delta(x - x_i) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} - \\
& - \sum_{j=1}^l \theta_{bj} \delta(y - y_j) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} - T_x^0 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - 2T_{xy}^0 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} - T_y^0 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}) = 0, \\
& \frac{1}{2Ed} \Delta^2 \varphi + \sum_{i=1}^k \theta_{ai} \delta(x - x_i) \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \sum_{j=1}^l \theta_{bj} \delta(y - y_j) \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0.
\end{aligned} \tag{5.39}$$

### 5.9 Устойчивость трехслойной оболочки с изломами поверхности в двух направлениях

Решение задачи устойчивости трехслойной полой оболочки с изломами поверхности в двух направлениях рассмотрим на примере квадратной в плане оболочки, как показано на рисунке 5.2.

Полагаем, что срединная поверхность квадратной в плане трехслойной складчатой многогранной полой оболочки вписана в сферическую поверхность радиуса  $R$ . При заданной равномерно распределенной поперечной нагрузке интенсивностью

$q = \text{const}$  значения тангенциальных усилий исходного равновесного безмоментного состояния [67] будут:

$$T_x^0 = T_y^0 = -\frac{qR}{2}, \quad T_{xy} = 0. \quad (5.40)$$

Для квадратной в плане оболочки с одинаковыми условными кривизнами в двух направлениях при  $\theta_{ai} = \theta_{bj} = \theta_i$  вместо (5.36) будем иметь

$$k_x = k_y = \sum_{i=1}^k \theta_i \delta(x - x_i), \quad (5.41)$$

где  $i = 1, 2, \dots$ ,

$k$  – число изломов срединной поверхности в обоих направлениях  $x$  и  $y$ ;

$x_i$  – координаты точек изломов в обоих направлениях при  $a = b$ .

Подставляя значения тангенциальных усилий исходного равновесного безмоментного состояния по (5.40) и кривизны по (5.41) в уравнения (5.39), получим систему разрешающих однородных линейных дифференциальных уравнений для определения величины критической нагрузки для рассматриваемой квадратной в плане трехслойной оболочки:

$$\begin{aligned} D^* \Delta^2 w + (1 - \frac{D^*}{G_3 h} \Delta) (2D \Delta^2 w - \sum_{i=1}^k \theta_i \delta(x - x_i) \Delta \varphi + \frac{qR}{2} \Delta w) &= 0, \\ \frac{1}{2Ed} \Delta^2 \varphi + \sum_{i=1}^k \theta_i \delta(x - x_i) \Delta w &= 0, \end{aligned} \quad (5.42)$$

где  $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$  – оператор Лапласа,

$\Delta^2 = \frac{\partial^4}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4}{\partial y^4}$  – двойной оператор Лапласа.

В соответствии с заданными условиями опирания краев оболочки имеем следующие граничные условия:

$$\begin{aligned} \text{при } x = 0 \text{ и } x = a \text{ имеем } w &= \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} = 0, \\ \text{при } y = 0 \text{ и } y = a \text{ имеем } w &= \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} = 0. \end{aligned} \quad (5.43)$$

Задачу определения критической нагрузки для заданной трехслойной квадратной в плане оболочки с изломами поверхности будем решать методом Бубнова-Галеркина, представив аппроксимирующие функции в виде, удовлетворяющем граничным условиям (5.43):

$$\begin{aligned} w &= w_{mn} \sin \alpha_m x \cdot \sin \beta_n y, \\ \varphi &= \varphi_{mn} \sin \alpha_m x \cdot \sin \beta_n y, \end{aligned} \quad (5.44)$$

где  $w_{mn}, \varphi_{mn}$  – неопределенные постоянные величины,

$$\alpha_m = \frac{m\pi}{a}, \quad \beta_n = \frac{n\pi}{a},$$

$m$  и  $n$  – волновые числа.

Взяв производные функций  $W$  и  $\varphi$ , заданных выражениями (5.44), подставим их в систему уравнений (5.42), учитывая  $\theta_i = \theta = \text{const}$ :

$$\begin{aligned} X &\equiv [(D^* + 2D + 2B)(\alpha_m^2 + \beta_n^2)^2 w_{mn} - (1 + \frac{B}{D}) \frac{qR}{2} (\alpha_m^2 + \beta_n^2) w_{mn} + \\ &+ (1 + \frac{B}{D}) \theta \sum_{i=1}^k \delta(x - x_i) (\alpha_m^2 + \beta_n^2) \varphi_{mn}] \sin \alpha_m x \cdot \sin \beta_n y = 0, \\ Y &= [\frac{1}{E2d} (\alpha_m^2 + \beta_n^2)^2 \varphi_{mn} - \theta \sum_{i=1}^k \delta(x - x_i) (\alpha_m^2 + \beta_n^2) w_{mn}] \sin \alpha_m x \cdot \sin \beta_n y = 0. \end{aligned}$$

Применяя процедуру метода Бубнова-Галеркина, домножим каждое из этих уравнений на  $\sin \alpha_m x \cdot \sin \beta_n y$  и проинтегрируем по области, ограниченной контуром оболочки  $[0, a; 0, a]$ :

$$\begin{aligned} \int_0^a \int_0^a X \sin \alpha_m x \cdot \sin \beta_n y dx dy &= 0, \\ \int_0^a \int_0^a Y \sin \alpha_m x \cdot \sin \beta_n y dx dy &= 0. \end{aligned}$$

В результате получим систему линейных однородных алгебраических уравнений относительно неизвестных  $w_{mn}, \varphi_{mn}$ :

$$\begin{aligned} (D^* + 2D + 2B)(\alpha_m^2 + \beta_n^2) w_{mn} I_1 - (1 + \frac{B}{D}) \frac{qR}{2} w_{mn} I_1 + \\ + (1 + \frac{B}{D}) \varphi_{mn} \theta I_2 = 0, \end{aligned} \quad (5.45)$$

$$\frac{1}{E2d} (\alpha_m^2 + \beta_n^2) \varphi_{mn} I_1 - \theta I_2 w_{mn} = 0,$$

где при интегрировании использовано фильтрующее свойство дельта-функции  $\int_a^b \delta(x - \xi) f(x) dx = f(\xi)$ :

$$I_1 = \int_0^a \int_0^a \sin^2 \alpha_m x \cdot \sin^2 \beta_n y dx dy = \frac{a^2}{4},$$

$$I_2 = \int_0^a \sin^2 \beta_n y dy \int_0^a \sum_{i=1}^k \delta(x - x_i) \sin^2 \alpha_m x dx = \frac{a}{2} \sum_{i=1}^k \sin^2 \alpha_m x_i.$$

Подставляя значения интегралов  $I_1$  и  $I_2$  в уравнения (5.45), получим:

$$\begin{aligned}
& (D^* + 2D + 2B)(\alpha_m^2 + \beta_n^2) \frac{a^2}{4} w_{mn} - (1 + \frac{B}{D}) \frac{qR}{2} \frac{a^2}{4} w_{mn} + \\
& + [(1 + \frac{B}{D}) \frac{a}{2} \theta \sum_{i=1}^k \sin^2 \alpha_m x_i] \varphi_{mn} = 0, \\
& \frac{1}{E2d} (\alpha_m^2 + \beta_n^2) \frac{a^2}{4} \varphi_{mn} - [\frac{a}{2} \theta \sum_{i=1}^k \sin^2 \alpha_m x_i] w_{mn} = 0.
\end{aligned}$$

Разделим все члены этих однородных уравнений на  $\frac{a^2}{4}$  и обозначим полученные в квадратных скобках выражения для условной кривизны:

$$\chi = \frac{2}{a} \theta \sum_{i=1}^k \sin^2 \alpha_m x_i. \quad (5.46)$$

В результате приходим к системе двух линейных однородных алгебраических уравнений относительно постоянных  $w_{mn}$ ,  $\varphi_{mn}$ :

$$\begin{aligned}
& [(D^* + 2D + 2B)(\alpha_m^2 + \beta_n^2) - (1 + \frac{B}{D}) \frac{qR}{2}] w_{mn} + [(1 + \frac{B}{D}) \chi] \varphi_{mn} = 0, \\
& \chi w_{mn} - [\frac{1}{E2d} (\alpha_m^2 + \beta_n^2)] \varphi_{mn} = 0.
\end{aligned} \quad (5.47)$$

Решая полученную систему уравнений, получим значение критической нагрузки  $q$  для квадратной в плане трехслойной полой оболочки с изломами срединной поверхности в двух направлениях:

$$q = \frac{2}{R} \frac{(D^* + 2D + 2B)}{(1 + \frac{B}{D})} (\alpha_m^2 + \beta_n^2) + \frac{4Ed}{R} \frac{\chi^2}{(\alpha_m^2 + \beta_n^2)}, \quad (5.48)$$

где  $R$  – радиус сферической поверхности, в которую вписана заданная многогранная складчатая оболочка. При неограниченном увеличении количества граней оболочки, когда ее срединная поверхность будет приближаться к сферической поверхности радиуса  $R$ , то есть при  $\chi^2 \rightarrow \frac{1}{R^2}$ , формула (5.48) в пределе дает критическое значение поперечной нагрузки для квадратной в плане гладкой трехслойной оболочки.

### 5.10 Результаты исследования устойчивости трехслойных оболочек с изломами в двух направлениях

В результате решения задачи об устойчивости трехслойной полой оболочки с изломами поверхности в двух взаимно перпендикулярных направлениях, нагруженной равномерно распределенной поверхностной нагрузкой интенсивностью  $q$  (кН/см<sup>2</sup>) получено выражение (5.48), определяющее критическое значение нагрузки для квадратной в плане ( $b = a$ ) трехслойной складчатой оболочки, вписанной в сферическую поверхность радиуса  $R$ . Подставив в (5.48) значения параметров  $\alpha_m$  и  $\beta_n$ , которые будут

при  $b = a$  иметь значения  $\alpha_m = \frac{m\pi}{a}$ ,  $\beta_n = \frac{n\pi}{a}$ , получим выражение для  $q$ :

$$q = \frac{2}{R} \frac{(D^* + 2D + 2B)}{(1 + \frac{B}{D})} \frac{\pi^2}{a^2} (m^2 + n^2) + \frac{4Ea^2d}{R\pi^2} \frac{\chi^2}{(m^2 + n^2)}. \quad (5.49)$$

Минимизация этого выражения по волновым числам  $m$  и  $n$  показала, что наименьшее критическое значение нагрузки  $q$  будет при их значениях  $m=n=1$ :

$$q_{кр} = \frac{(D^* + 2D + 2B)}{(1 + \frac{B}{D})} \frac{4\pi^2}{Ra^2} + \frac{2Ea^2d}{R\pi^2} \chi^2, \quad (5.50)$$

где  $B$  – параметр, зависящий от волновых чисел.

Обозначим множитель в скобках у первого слагаемого в правой части (5.50) через  $K$ . Выражение для  $q_{кр}$  принимает вид:

$$q_{кр} = K \frac{4\pi^2}{Ra^2} + \frac{2Ea^2d}{R\pi^2} \chi^2. \quad (5.51)$$

Для анализа устойчивости рассматриваемой оболочки введем безразмерный параметр критической нагрузки  $q_{кр}^*$ . Тогда формула (5.51) для критической нагрузки будет иметь вид:

$$q_{кр}^* = \frac{1}{Rh^2} (K \frac{4\pi^2}{E} + \frac{2a^4d}{\pi^2} \chi^2). \quad (5.52)$$

Используя полученную формулу, исследуем устойчивость конкретной трехслойной полой оболочки с одинаковым количеством  $k$  изломов в двух взаимно перпендикулярных направлениях, обратив внимание на зависимость значения критической нагрузки от количества изломов срединной поверхности.

Рассмотрим квадратную в плане трехслойную пологую оболочку с размерами 8 х 8 м, состоящую из ряда плоских трехслойных плит с толщиной внешних слоев  $d = 5$  мм, выполненных из алюминия с модулем упругости  $E = 6,9 \cdot 10^4$  МПа и коэффициентом Пуассона  $\mu = 0,3$ . Слой заполнителя выполнен из пенополиуретана с модулем сдвига  $G_3 = 4,092$  МПа. Общая толщина оболочки  $h = 10$  см, стрела подъема  $f/a = 1/20$ . Многогранный контур оболочки вписан в сферический сегмент радиуса  $R = 20$  м, углы излома постоянные  $\Theta = \text{const}$ .

Основные механико-геометрические характеристики рассматриваемой трехслойной оболочки:

$$D^* = 189 \cdot 10^3 \text{ кН см}, \quad D = 79 \text{ кН см}, \quad B = 112,8 \text{ кН см}, \\ K = 77,9 \cdot 10^3 \text{ кН см}, \quad B/D = 1,43 \text{ (б/р)}.$$

Параметр приведенной условной кривизны срединной поверхности данной складчатой оболочки  $\chi$ , вписанной в сферическую поверхность и имеющей  $k$  изломов поверхности, определяется по формуле:

$$\chi = \frac{2}{a} \theta \sum_{i=1}^k \sin^2 \frac{\pi_i}{k+1}. \quad (5.53)$$

Для оболочки с двумя изломами срединной поверхности в двух направлениях, как показано на рисунке 5.2., при значениях  $k = 2$  и  $\theta = 13^\circ = \frac{\pi}{13,84}$  величина параметра

приведенной кривизны будет

$$\chi = \frac{2}{a} \theta (\sin^2 \frac{\pi}{3} + \sin^2 \frac{2\pi}{3}) = 0,85 \cdot 10^{-3} \text{ 1/см.}$$

Величина безразмерного параметра критической нагрузки  $q_{кр}^*$  по формуле (5.52) для этой оболочки  $q_{кр}^* = 0,152$ .

Для оболочки с пятью изломами срединной поверхности ( $k = 5$ ) в двух направлениях при  $\theta = 6^\circ = \frac{\pi}{30}$  величина параметра приведенной кривизны:

$$\chi = \frac{2}{a} \theta (\sin^2 \frac{\pi}{6} + \sin^2 \frac{2\pi}{6} + \sin^2 \frac{3\pi}{6} + \sin^2 \frac{4\pi}{6} + \sin^2 \frac{5\pi}{6}) = 0,785 \cdot 10^{-3} \text{ 1/см.}$$

Величина безразмерного параметра критической нагрузки  $q_{кр}^*$  по формуле (5.52) для этой оболочки  $q_{кр}^* = 0,119$ .

При дальнейшем увеличении количества изломов срединной поверхности оболочки, изображено на рисунке 5.9., величина параметра приведенной кривизны стремится к значению кривизны срединной поверхности гладкой сферической оболочки,

$$\chi \rightarrow \frac{1}{R} = 0,500 \cdot 10^{-3} \text{ 1/см,}$$

а безразмерный параметр критической нагрузки принимает значение параметра нагрузки для аналогичной гладкой трехслойной сферической оболочки  $q_{кр}^* = 0,054$ .

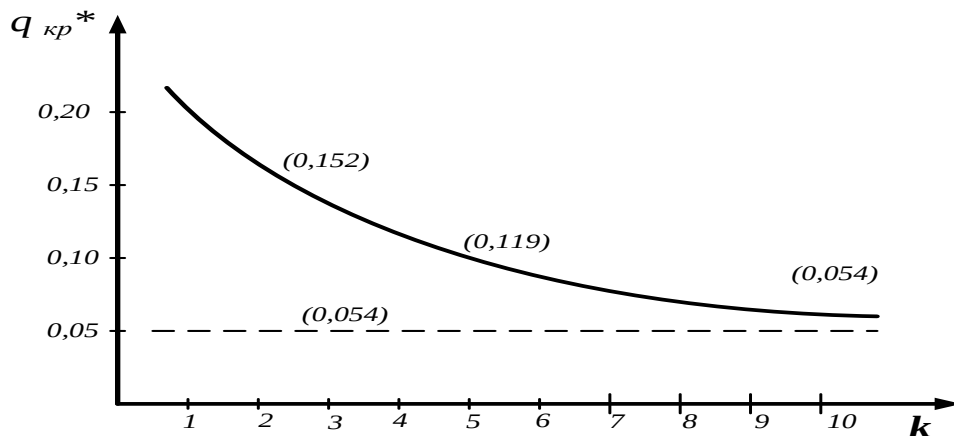


Рис. 5.9. Зависимость безразмерного параметра критической нагрузки от количества изломов  $k$  трехслойной оболочки

Приведенные результаты показывают, что величина критической нагрузки  $q_{кр}^*$  для складчатой трехслойной оболочки с изломами в двух направлениях существенно (на 54 % для оболочки с пятью изломами) превышает величину  $q_{кр}^*$  соответствующей гладкой трехслойной сферической оболочки. Это объясняется большей изгибной жесткостью оболочки с изломами поверхности по сравнению с гладкой оболочкой. Сравнение критических нагрузок складчатых оболочек с изломами в одном направлении (призматических) с такими же по размерам и структуре оболочками с изломами в двух взаимно перпендикулярных направлениях показало, что последние обладают большей изгибной жесткостью, и критическая нагрузка  $q_{кр}^*$  для таких оболочек существенно выше. Так, для оболочки с пятью изломами срединной поверхности в двух направлениях параметр критической нагрузки оказался на 70 % больше, чем у такой же по размерам призматической оболочки с пятью изломами в одном направлении.

Применение обобщенных функций позволило решить задачи о свободных изгиб-

ных колебаниях и устойчивости пологих трехслойных складчатых оболочек и разработать практические методики определения собственных частот и критических нагрузок, основанные на использовании простых аналитических выражений. На основании разработанных методик исследованы частоты и формы свободных колебаний, а также критические нагрузки прямоугольных в плане пологих трехслойных оболочек с изломами срединной поверхности в зависимости от их геометрических размеров, количества изломов поверхности и других факторов. Исследование показало, что наименьшая частота квадратных в плане трехслойных оболочек с изломами поверхности соответствует первой форме свободных колебаний при волновых числах  $m = n = 1$ . Для прямоугольных в плане оболочек при  $b/a \geq 1,5$  наименьшая частота свободных колебаний соответствует второй смешанной форме колебаний при волновых числах  $m = 2, n = 1$ .

При уменьшении кривизны (угла  $\theta$  для складчатых оболочек) частота свободных колебаний трехслойных оболочек уменьшается и в пределе стремится к известным значениям частот для соответствующих трехслойных пластинок. Увеличение размеров оболочек в плане также приводит к уменьшению частот свободных колебаний. Сравнение складчатых трехслойных оболочек с гладкими показало, что эти оболочки обладают лучшими, чем гладкие, динамическими свойствами, то есть меньше реагируют на изменение тонкостенности и имеют более плотный спектр частот свободных колебаний, что весьма важно для оболочек, которые могут подвергаться динамическим воздействиям. Анализ результатов исследования устойчивости показал, что величина критической нагрузки  $q_{кр}^*$  для призматической трехслойной оболочки с изломами срединной поверхности существенно превышает величину  $q_{кр}^*$  соответствующей гладкой трехслойной цилиндрической оболочки. Так, для призматической трехслойной оболочки с пятью изломами срединной поверхности  $q_{кр}^*$  на 50 % больше, чем у аналогичной гладкой цилиндрической оболочки. Это объясняется тем, что призматическая оболочка с изломами поверхности является более жесткой конструкцией, чем соответствующая ей гладкая оболочка.

## ГЛАВА 6 НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ПЛИТ БЕЗОПАЛУБОЧНОГО ФОРМОВАНИЯ ПРИ ОПИРАНИИ НА КИРПИЧНЫЕ СТЕНЫ

Целью работы является исследование несущей способности плит безопалубочного формования из тяжелых бетонов, определить возможность применения плит перекрытия безопалубочного формования с длиной до 7,2 м при полезной нагрузке 800 кгс/м<sup>2</sup> для жилых и административных зданий.

Выполнен расчет плит перекрытия высотой сечения 220 мм, с различной длиной пролета. Определена возможность применения плит перекрытий в жилых и административных зданиях пролетом до 7,2 м.

Полученные результаты позволяют применять плиты перекрытий, заделанные в кирпичную кладку зданий пролетом до 7,2 м в жилых и общественных зданиях. Также показано, что учет податливости узлов стыка плит и кирпичной кладки, а также армирование кладки специальными сетками над плитами, позволяет увеличить длину плит перекрытия под полезную нагрузку 800 кгс/м<sup>2</sup>.

Сборные железобетонные перекрытия из многопустотных плит заводского изготовления в современном строительстве многоэтажных зданий составляют более половины всех междуэтажных конструкций. Сборные плиты в таких перекрытиях для создания жёстких горизонтальных дисков соединяют омоноличиваемыми шпоночными швами и иногда металлическими связями по закладным деталям. На контуре перекрытия, как правило, заанкерны в стенах, а зачастую заведены в кладку стен из кирпича или бетонных блоков. Условия фактического опирания плит изменяются в широких пределах от чисто шарнирного, например, на верхнюю грань ригелей в каркасных зданиях, до полного защемления в сборно-монолитных перекрытиях. При заведении концов плит в кладку стены на их опорах возникает частичное защемление при воздействии нагрузок сверх собственной массы перекрытия. При конструировании плит перекрытий для массового изготовления учесть всё разнообразие их использования потребителями практически невозможно. Поэтому в рабочих чертежах многопустотных плит указано, что они запроектированы как шарнирно-опёртые по концам, на нагрузку, равномерно распределённую по всей площади, с ограничением предельных минимальных и иногда максимальных длин опирания. Минимальные длины опирания назначаются из условия обеспечения прочности опорных узлов при смятии или скалывании ребра поддерживающей конструкции (с учётом возможного неблагоприятного наложения допусков на размеры конструкций и отклонений от их проектного положения в плане) и установленных нормами проектирования условий анкеровки рабочей арматуры плит. Максимальные длины ограничивают в случаях передачи через концевые участки плит больших (штамповых) сжимающих вертикальных усилий или опасности появления по грани опоры трещин в плитах от моментов, вызванных их защемлением на опорах.

Оценка применимости и выбор плит, выпускаемых по разным технологиям, должны осуществляться в конкретных проектах зданий. Однако, как правило, указания, приведенные в рабочей документации на плиты или содержащиеся в руководящих документах на проектирование, являются недостаточно полными. Для некоторых типов узлов, например, платформенных узлов опирания перекрытий на несущие стены крупнопанельных зданий (при интенсивном обжатиі рёбер у торцов) или узлов опирания сборных плит на монолитные ригели через бетонные шпонки, образованные в пустотах плит (при растяжении рёбер опорными реакциями), возможность использования плит длиной более 6 м должна обосновываться специальными экспериментальными исследованиями.

Многолетняя практика проектирования зданий высотой до 10 этажей на основе привязки типовых серий кирпичных и крупноблочных домов и безаварийная эксплуатация таких зданий с перекрытиями из сборных круглопустотных предварительно напряжённых плит, заведённых в кладку несущих стен, сформировали в ряде проектных организаций уверенность в возможности аналогичного подхода при проектировании более высоких зданий и безусловной возможности применения для перекрытий плит с длинами, ограниченными только условиями предельных прогибов и исключения зыбкости. Однако, в современных условиях, когда высота кирпичных зданий достигает 20 этажей, а новые требования энергосбережения привели к разделению функций обеспечения прочности и тепловой защиты между разными слоями стен, уровень напряжений в кладке несущих стен вырос в два-три раза. Поэтому при проектировании следует производить дополнительные расчётные проверки трещиностойкости кладки и многопустотных плит перекрытий.

В данной работе излагаются результаты анализа возможности применения плит перекрытия безопалубочного формования в зданиях со стенами из кирпича. Получены прочностные данные для плит с различным пролетом при свободном опирании и при опирании, с частичным защемлением на опоре.

Конструктивной особенностью плит стендового безопалубочного формования, в отличие от производимых традиционными способами, является отсутствие поперечной (вертикальной и горизонтальной) арматуры, закладных деталей и строповочных петель. Кроме того, высокопрочная предварительно напряжённая арматура из арматурных канатов класса K1400 и проволоки класса Вр1400 при разрезке отформованной на стенде «ленты» на плиты требуемых длин теряет сцепление с бетоном на части длины зоны заанкеривания – проскальзывает, снижая анкеровку арматуры на опоре и в заделке.

Вместе с тем, опыт массового применения плит стендового безопалубочного формования за рубежом, в городах России, подтверждает достаточную прочность, надёжность и долговечность перекрытий из таких плит, как в зданиях с несущим каркасом, так и в кирпичных домах и домах из крупных бетонных блоков. Многопустотные плиты стендового безопалубочного формования могут применяться для устройства междуэтажных перекрытий и покрытий жилых, общественных и производственных зданий различной этажности с нормальным температурно-влажностным режимом помещений, строящихся в обычных условиях строительства и не имеющих динамических нагрузок.

В работе под нагрузкой плиты стендового безопалубочного формования не имеют принципиальных отличий от обычных плит перекрытий с круглыми пустотами. Они могут применяться при проектировании и строительстве каркасных зданий, зданий с несущими стенами из кирпича или крупных блоков, как по действующим типовым проектам, так и во вновь - проектируемых зданиях. Минимальная длина опирания многопустотных плит перекрытий высотой 220 мм стендового безопалубочного формования с простым (свободным) опиранием принимается при опирании на кирпичную кладку 100 мм, при опирании на опоры из железобетона – 90 мм. Длина заделки плиты в стены не должна превышать для зданий с кирпичными стенами 200 мм, для крупноблочных зданий - 120 мм (для плит высотой 220 мм). На узлы опирания плит ПБ и их связь с кирпичными стенами распространяются требования норм [68]. При этом, связь наружных и внутренних кирпичных или блочных стен с перекрытиями из многопустотных плит безопалубочного формования следует производить с учетом особенностей технологии их изготовления без закладных деталей и монтажных петель.

В каркасных зданиях при опирании плит на полки ригелей или в других случаях, когда обеспечено свободное (шарнирное) опирание на опоры, расчетная равномерно распределенная нагрузка плит (сверх собственной массы) определяется по таблицам и

графикам рабочих чертежей в зависимости от количества напрягаемой арматуры и пролета плит. Определяющим несущую способность плит является, кроме того, условие отсутствия трещин при полных нормативных нагрузках. Несущая способность плит безопалубочного формования в пролёте в зависимости от армирования и длины пролёта представлена в таблице 6.1.

Таблица 6.1

Сводная таблица несущей способности плит пролетом 3,0 - 7,2 м  
при свободном опирании при армировании нижней зоны канатами Ø12 K1400

| Верхняя арматура Ø5Bp1400 | Нижняя арматура - канаты класса K1400 | Расчетная нагрузка сверх собственной массы (полезная), кПа при пролете плиты, м |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Кол-во, шт.               | Ø, мм                                 | Кол-во, шт.                                                                     | 3.0  | 3.6  | 4.2  | 4.8  | 5.4  | 6.0  | 6.3  | 6.6  | 7.2  |
| 4                         | 12                                    | 4                                                                               | 47.0 | 31.5 | 22.0 | 15.5 | 11.5 | 8.0  | 7.0  | 6.0  | 4.5  |
|                           |                                       | 6                                                                               | 47.0 | 37.5 | 30.0 | 21.5 | 16.0 | 12.0 | 10.5 | 9.0  | 7.0  |
|                           |                                       | 8                                                                               | 47.0 | 37.5 | 31.0 | 26.0 | 20.5 | 16.0 | 14.0 | 12.5 | 9.5  |
|                           |                                       | 10                                                                              | 47.0 | 37.5 | 31.0 | 26.0 | 22.5 | 19.5 | 17.5 | 15.5 | 12.0 |
|                           |                                       | 12                                                                              | 47.0 | 37.5 | 31.0 | 26.0 | 22.5 | 19.5 | 18.5 | 17.5 | 14.5 |
|                           |                                       | 14                                                                              | 47.0 | 37.5 | 31.0 | 26.0 | 22.5 | 19.5 | 18.5 | 17.5 | 15.5 |
|                           |                                       | 16                                                                              | 47.0 | 37.5 | 31.0 | 26.0 | 22.5 | 19.5 | 18.5 | 17.5 | 15.5 |

Примечание: В области ниже жирной ступенчатой линии (неокрашенная область) несущая способность плит определяется условием их прочности на срез по наклонным сечениям у опор, пересекающим начало зоны заанкеривания напрягаемой арматуры, и не зависит от армирования.

Для плит, заведенных в стены, прочность ограничена условием образования трещин в верхней зоне плиты от опорного момента в зоне защемления. Опытный опорный момент, соответствующий появлению трещин в плитах на защемленной опоре, значительно меньше опорного момента, вычисленного по упругой схеме при полном (жестком) защемлении.

Имеющиеся результаты прямых экспериментальных измерений позволяют принимать величины опорных моментов равными: при заведении концов плит на глубину до 150 мм в кладку несущих стен из кирпича и мелких блоков из ячеистых и легких бетонов класса по прочности на сжатие не более B5

$$M_{on} = k \cdot q \cdot L_p^2; \quad (k = \frac{1}{24} \dots \frac{1}{20}), \quad (6.1)$$

где  $q$  - нагрузка сверх собственной массы плит (полезная нагрузка).

Величина опорного момента в наибольшей степени зависит от глубины опирания плиты и деформативных свойств материала стены и в меньшей степени от величины обжатия стены нагрузкой вышележащих этажей. Все это свидетельствует о податливости узла соединения панели со стеной. Значение опорного момента плиты перекрытия в месте заделки ее в плиту зависит от соотношения прочности кладки и прочности бетона плиты. Чем выше это отношение, тем больше опорный момент. Для оценки податливости защемления плит в стенах принят, коэффициент степени защемления «K», равный

отношению опытного момента трещиностойкости по грани опоры, полученного при испытании, к опорному моменту, вычисленному по упругой схеме [72, 76].

Проверку на появление верхних трещин в нормальном сечении плиты по грани опоры производят из условия

$$M_{оп} < M_{срс}, \quad (6.2)$$

$$\text{где } M_{оп} = k \cdot (q \cdot b) \cdot \ell_p^2 / 12 \quad /4/ \quad (6.3)$$

$$M_{срс} = R_{bt} \cdot \gamma_{b1} \cdot \gamma_{b2} \cdot W_{pl} \quad (6.4)$$

В формуле (6.3)  $q$  - нагрузка, прикладываемая к плите после возведения стен и твердения раствора в кладке, принимается равной полезной расчетной равномерно распределенной нагрузке сверх собственной массы плиты (то есть, - 3 кПа; 4,5 кПа; 6 кПа; 8 кПа; 10 кПа; 12,5 кПа);

$b$  - ширина плиты, м;  $\ell_p$  - расчетный пролет плиты, м;  $\ell_p = \ell - 2\ell_{оп}/3$ .

В формуле (6.4)  $W_{pl}$  - пластический момент сопротивления для верхней грани плиты.

$W_{pl} = 1,3 \cdot W_o$ . Здесь  $\gamma = 1,3$  - коэффициент упругопластичности, по п.8.2.11 СП [44].

$W_o$  - величина момента сопротивления сечения для плиты высотой 22 см;

$R_{bt}$  - расчетное сопротивление бетона осевому растяжению по [2] (таблица 6.8); для бетона класса В40  $R_{bt} = 1,40 \text{ МПа}$ ;

$b$  - суммарная ширина ребер в расчетном сечении плиты;

$\ell_{оп}$  - длина площадки опирания плиты на стену;  $h$  - высота сечения плиты.

$$M_{срс} = W_{pl} \cdot R_{bt} \cdot \gamma_{b1} \cdot \gamma_{b2} = 1,3 \cdot 8951 \cdot 14,3 \cdot 0,9 \cdot 0,9 = 134780 \text{ кгс} \cdot \text{см} = 1,348 \text{ тс} \cdot \text{м}.$$

$\gamma_{b1} = 0,9$  - коэффициент условий работы, учитывающий длительность действия нагрузки;

$\gamma_{b2} = 0,9$  - коэффициент условий работы бетонных конструкций;

$R_{bt} = 14,3 \text{ кгс/см}^2$  - для тяжелого бетона класса В40.

Коэффициенты податливости стыка  $K$  в формуле (6.3) могут быть приняты по графикам изображенном на рисунке 6.1 и рисунке 6.2, как для случая работы кладки без трещин в кладке, так и с трещиной в кладке в плоскости торца плиты, перекрытой арматурной кладочной сеткой из арматуры класса В500 диаметром 5 мм с шагом стержней 100 мм. То есть предполагается, что над опорной зоной плиты будет установлена специальная арматурная сетка, сдерживающая раскрытие трещины в кладке. Коэффициенты податливости определены при двух значениях  $\nu$ , равных 0,5 и 1,0, характеризующих постепенное или мгновенное увеличение нагрузки сверх собственной массы перекрытия.

Коэффициент  $\nu$  следует принимать равным единице, если на перекрытие в относительно короткое время может быть создана нагрузка равная или более половины несущей способности примененных плит. Как правило, это помещения различных складов, архивов, торговых и спортивных залов, вестибюлей и фойе и т.п. (помещения с уровнем полезной нагрузки  $450 \text{ кгс/м}^2$  и выше; п.п. 4...12 [4]).

Для перекрытий в зонах расположения жилых и административно-бытовых помещений следует принимать  $\nu = 0,5$  (полезная нагрузка  $150\text{-}200 \text{ кгс/м}^2$ ). Значения  $K$  приняты по [69].

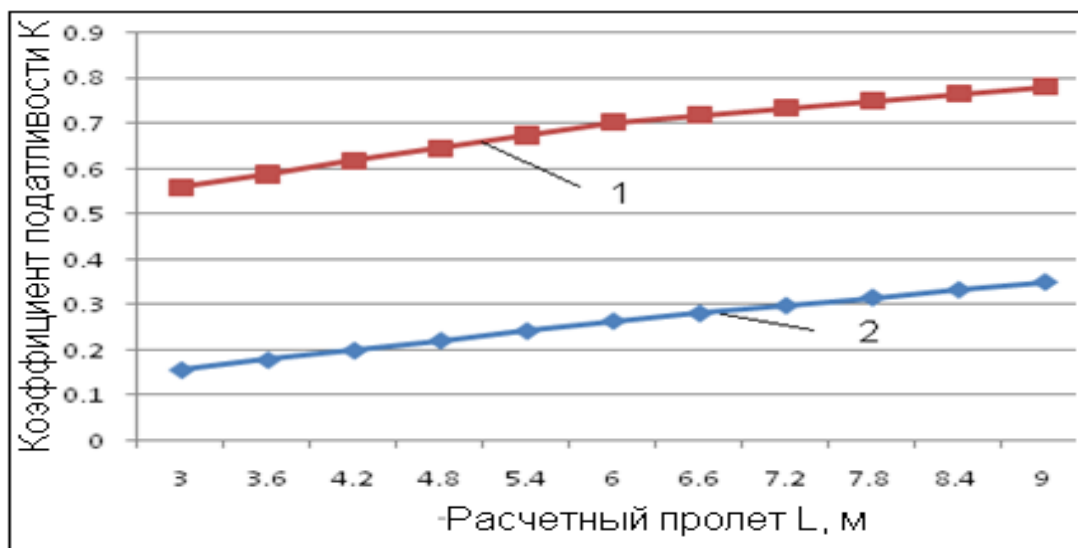


Рис. 6.1. Коэффициент податливости узлов заделки в стены плит с высотой сечения 220 мм, при коэффициенте  $\nu=0,5$  (жилые и административные здания) для кладки без армирования сетками (1) и для кладки, армированной сетками (2)

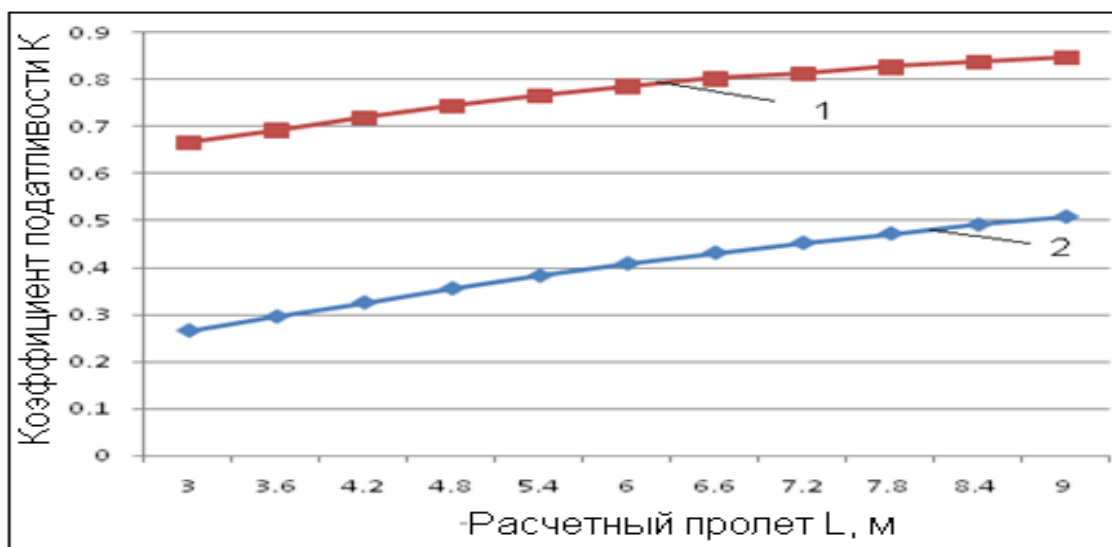


Рис. 6.2. Коэффициент податливости узлов заделки в стены плит с высотой сечения 220 мм, при коэффициенте  $\nu=1,0$  (складские и торговые помещения, залы, архивы) для кладки без армирования сетками (1) и для кладки, армированной сетками (2)

Следует рассматривать два случая: а) Трещины в кирпичной кладке не образуются (значения  $K$  на графиках рис. 6.1 и рис. 6.2 под цифрой 1). В этом случае, сетки в кладке в узле стыка можно не устанавливать для плит, для которых выполняется условие (6.2).

б) Трещины в кирпичной кладке образуются (значения  $K$  на графиках рис. 6.1 и рис. 6.2 под цифрой 2). В этом случае, сетки в кладке в узле стыка необходимо устанавливать для плит, для которых выполняется условие (6.2).

Момент образования трещин в кладке зависит от марки кирпича и марки раствора представлен на рисунке 6.3 и рисунке 6.4.

Графики опорных моментов образования трещин в кладке.

### Раствор марки М150

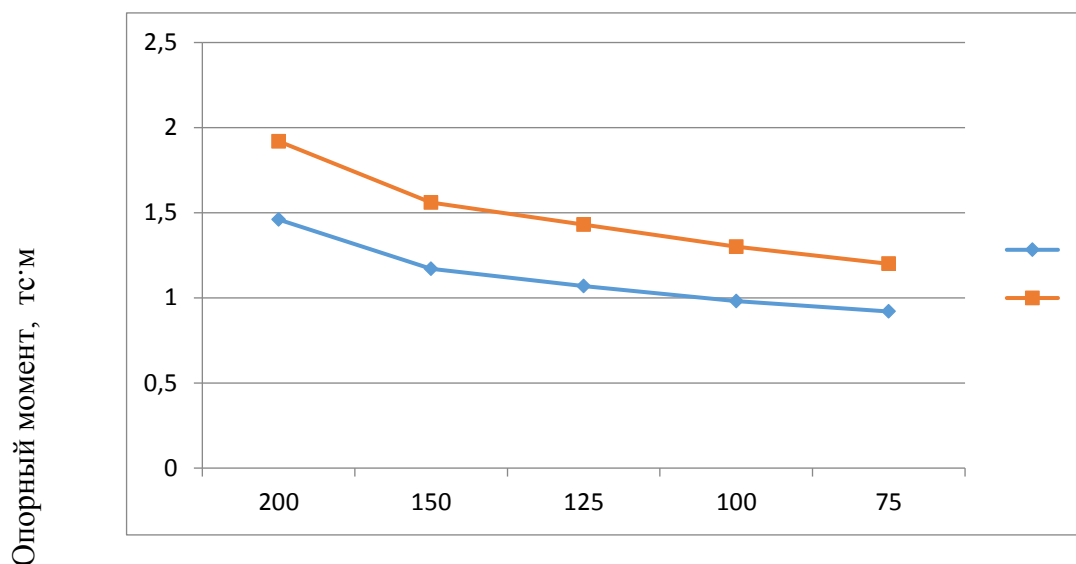
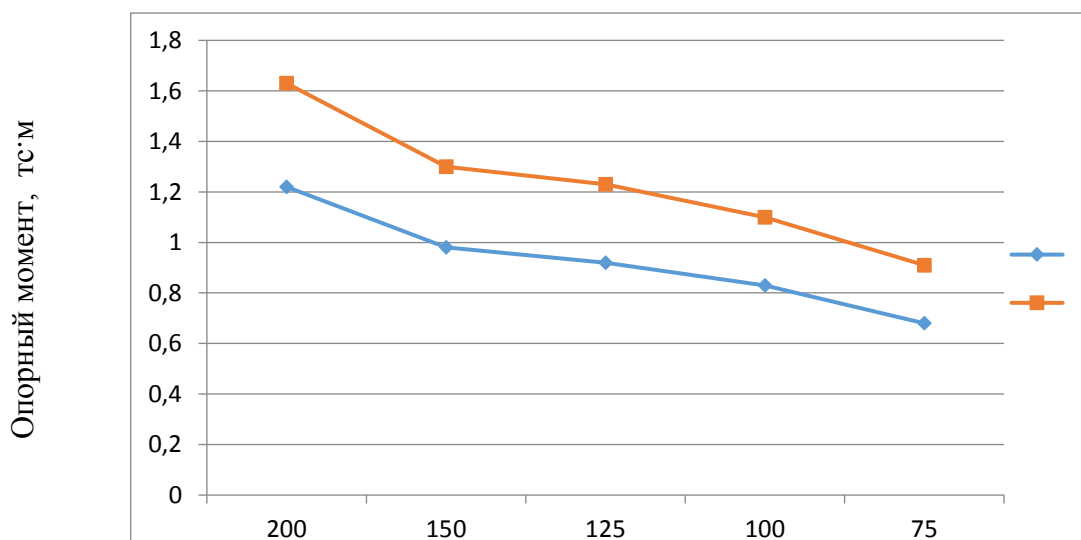


Рис. 6.3. Графики зависимости опорных моментов образования трещин в кладке от марки кирпича (на растворе марки М150)

Нижний график — кладка из силикатного кирпича; Верхний график — кладка из керамического кирпича.

Графики опорных моментов образования трещин в кладке.

### Раствор марки М100



### Марка кирпича

Рис. 6.4. Графики зависимости опорных моментов образования трещин в кладке от марки кирпича (на растворе марки М100). Нижний график — кладка из силикатного кирпича; Верхний график — кладка из керамического кирпича

На рисунке 6.5 и рисунке 6.6 приведена предельная полезная нагрузка для плит, защемленных на опорах (бетон плит класса В40, длина опирания  $l_{оп} = 120$  мм).

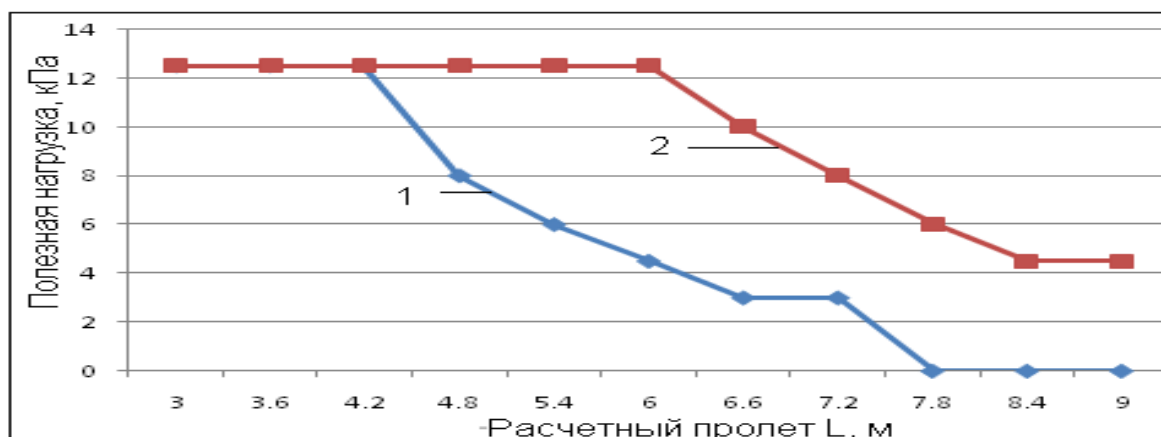


Рис. 6.5. Предельная расчетная полезная нагрузка для плит, защемленных на опоре (для жилых и административных зданий); 1-без сеток в кладке; 2-с сетками в кладке

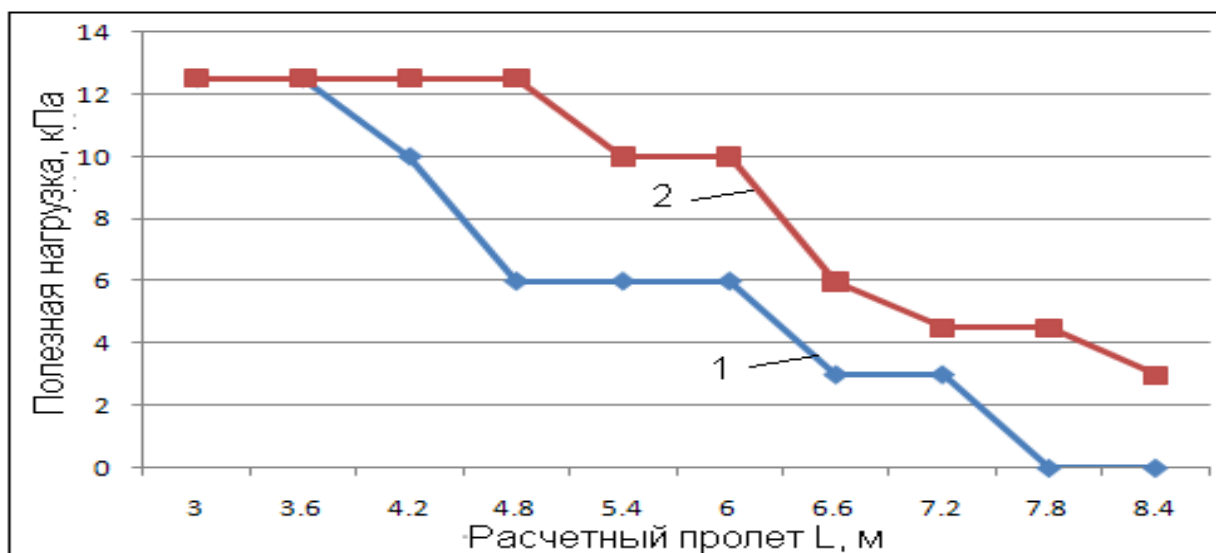


Рис. 6.6. Предельная расчетная полезная нагрузка для плит, защемленных на опоре (для складов, торговых и спортивных залов, архивов, вестибюлей); 1-без сеток в кладке; 2-с сетками в кладке

Армирование сетками узла стыка кирпичной кладки и плиты перекрытия показано на рисунке 6.7.

В узлах опирания сборных плит на кирпичные стены следует устанавливать анкерные связи согласно указаниям СП 15.13330.2012 п.6.35-6.39 [3]. Анкерные связи заделываются в кирпичную стену обычным порядком, как для традиционных плит с круглыми пустотами.

Крепление анкерной связи к плите рекомендуется выполнять одним из следующих способов: а) в швах между плитами; б) в швах между плитами с креплением отгиба анкера в отверстии на боковой грани плиты; в) крепление отгиба анкера в пустоте плиты, заполненной раствором в месте установки анкера.

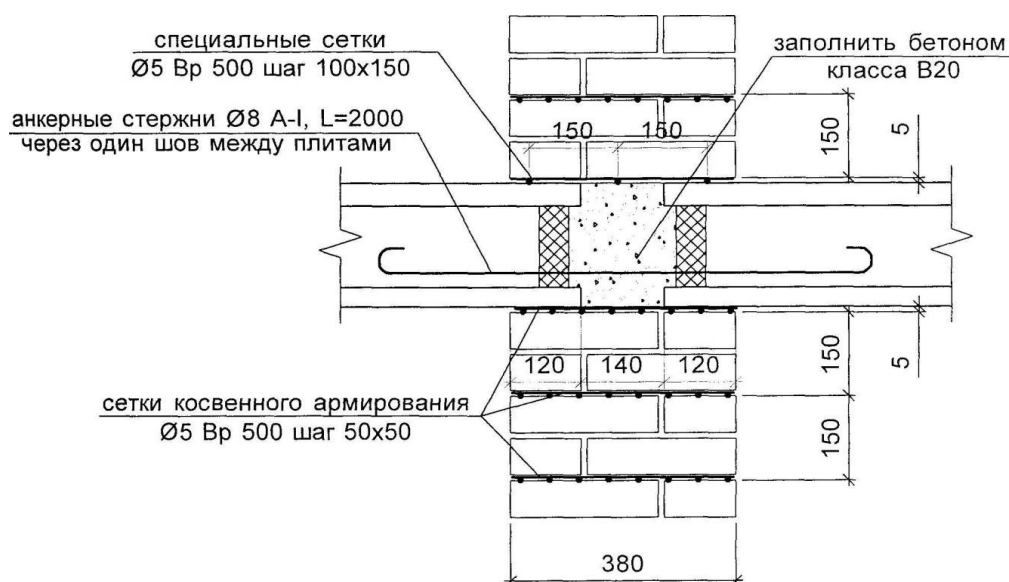


Рис. 6.7 Армирование сетками узла стыка кирпичной кладки и плиты перекрытия

Таблица 6.2

Определение опорных моментов образования трещин в кладке  
(длина опирания плиты  $l_{оп}=120$  мм; высота плиты  $h_{п}=220$  мм;  
ширина плиты  $b=1200$  мм;  $v_k=0,5$  (жилые и административные здания))

| Марка кирпича | Марка раствора            |                            |              |                           |                            |              |                           |                            |      |
|---------------|---------------------------|----------------------------|--------------|---------------------------|----------------------------|--------------|---------------------------|----------------------------|------|
|               | M150                      |                            |              | M100                      |                            |              | M75                       |                            |      |
|               | R,<br>кгс/см <sup>2</sup> | Ек.<br>кгс/см <sup>2</sup> | Моп,<br>тс·м | R,<br>кгс/см <sup>2</sup> | Ек.<br>кгс/см <sup>2</sup> | Моп,<br>тс·м | R,<br>кгс/см <sup>2</sup> | Ек.<br>кгс/см <sup>2</sup> | Моп  |
| M200          | 30,5                      | $4,58 \cdot 10^4$          | 1,46         | 27,5                      | $4,12 \cdot 10^4$          | 1,32         | 25,5                      | $3,83 \cdot 10^4$          | 1,22 |
|               |                           | $6,00 \cdot 10^4$          | 1,92         |                           | $5,50 \cdot 10^4$          | 1,76         |                           | $5,10 \cdot 10^4$          | 1,63 |
| M150          | 24,4                      | $3,66 \cdot 10^4$          | 1,17         | 22,5                      | $3,38 \cdot 10^4$          | 1,08         | 20,4                      | $3,06 \cdot 10^4$          | 0,98 |
|               |                           | $4,88 \cdot 10^4$          | 1,56         |                           | $4,50 \cdot 10^4$          | 1,44         |                           | $4,08 \cdot 10^4$          | 1,30 |
| M125          | 22,4                      | $3,36 \cdot 10^4$          | 1,07         | 20,4                      | $3,06 \cdot 10^4$          | 0,98         | 19,3                      | $2,90 \cdot 10^4$          | 0,92 |
|               |                           | $4,48 \cdot 10^4$          | 1,43         |                           | $4,08 \cdot 10^4$          | 1,30         |                           | $3,86 \cdot 10^4$          | 1,23 |
| M100          | 20,4                      | $3,06 \cdot 10^4$          | 0,98         | 18,3                      | $2,75 \cdot 10^4$          | 0,88         | 17,3                      | $2,60 \cdot 10^4$          | 0,83 |
|               |                           | $4,08 \cdot 10^4$          | 1,30         |                           | $3,66 \cdot 10^4$          | 1,17         |                           | $3,46 \cdot 10^4$          | 1,10 |
| M75           | -                         | -                          | -            | 15,3                      | $2,30 \cdot 10^4$          | 0,73         | 14,3                      | $2,15 \cdot 10^4$          | 0,68 |
|               |                           | -                          | -            |                           | $3,06 \cdot 10^4$          | 0,98         |                           | $2,86 \cdot 10^4$          | 0,91 |

\* в числителе — для кладки из силикатного кирпича;  
в знаменателе — для кладки из керамического кирпича

## 6.1 Несущая способность плит безопалубочного формирования

Несущая способность плит безопалубочного формирования представлена при классе бетона плит В40, длина опирания плиты на кладку  $\ell_{оп} = 120$  мм.

Таблица 6.3.1

Несущая способность плит пролетом 3,0 -6,0 м при свободном опирании плит и для плит, защемленных на опорах для жилых и общественных зданий без трещин в кладке (без армирования кладки сетками)

| Верхняя арматура Ø5Вр1400 | Нижняя арматура – канаты класса К1400 |             | Расчетная нагрузка, сверх собственной массы, кПа<br>при длине плиты $\ell$ , м |                                 |                           |                                 |                           |                                 |                           |                                 |                           |                                 |                           |                                 |
|---------------------------|---------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| Кол-во, шт.               | Ø, мм                                 | Кол-во, шт. | 3.0                                                                            |                                 | 3.6                       |                                 | 4.2                       |                                 | 4.8                       |                                 | 5.4                       |                                 | 6.0                       |                                 |
|                           |                                       |             | для плит свободно опертых                                                      | для плит защемлен-ных на опорах | для плит свободно опертых | для плит защемлен-ных на опорах | для плит свободно опертых | для плит защемлен-ных на опорах | для плит свободно опертых | для плит защемлен-ных на опорах | для плит свободно опертых | для плит защемлен-ных на опорах | для плит свободно опертых | для плит защемлен-ных на опорах |
| 4 Ø5 Вр1400               | $\frac{12}{9}$                        | 4           | $\frac{47.0}{32.0}$                                                            | 12.5                            | $\frac{31.5}{20.5}$       | 12.5                            | $\frac{22.0}{14.0}$       | 12.5                            | $\frac{15.5}{9.5}$        | 8.0                             | $\frac{11.5}{6.5}$        | 6.0                             | $\frac{8.0}{4.5}$         | 4.5                             |
|                           |                                       | 6           | $\frac{47.0}{42.5}$                                                            | 12.5                            | $\frac{37.5}{28.0}$       | 12.5                            | $\frac{30.0}{19.0}$       | 12.5                            | $\frac{21.5}{13.5}$       | 8.0                             | $\frac{16.0}{9.5}$        | 6.0                             | $\frac{12.0}{7.0}$        | 4.5                             |
|                           |                                       | 8           | $\frac{47.0}{47.0}$                                                            | 12.5                            | $\frac{37.5}{34.5}$       | 12.5                            | $\frac{31.0}{24.0}$       | 12.5                            | $\frac{26.0}{17.5}$       | 8.0                             | $\frac{20.5}{12.5}$       | 6.0                             | $\frac{16.0}{9.5}$        | 4.5                             |
|                           |                                       | 10          | $\frac{47.0}{47.0}$                                                            | 12.5                            | $\frac{37.5}{37.5}$       | 12.5                            | $\frac{31.0}{28.5}$       | 12.5                            | $\frac{26.0}{20.5}$       | 8.0                             | $\frac{22.5}{15.5}$       | 6.0                             | $\frac{19.5}{11.5}$       | 4.5                             |
|                           |                                       | 12          | $\frac{47.0}{47.0}$                                                            | 12.5                            | $\frac{37.5}{37.5}$       | 12.5                            | $\frac{31.0}{31.0}$       | 12.5                            | $\frac{26.0}{26.0}$       | 8.0                             | $\frac{22.5}{19.5}$       | 6.0                             | $\frac{19.5}{15.0}$       | 4.5                             |
| 4 Ø9 К1400                | $\frac{12}{9}$                        | 14          | $\frac{47.0}{-}$                                                               | 12.5                            | $\frac{37.5}{-}$          | 12.5                            | $\frac{31.0}{-}$          | 12.5                            | $\frac{26.0}{-}$          | 8.0                             | $\frac{22.5}{-}$          | 6.0                             | $\frac{19.5}{-}$          | 4.5                             |
|                           |                                       | 16          | $\frac{47.0}{47.0}$                                                            | 12.5                            | $\frac{37.5}{37.5}$       | 12.5                            | $\frac{31.0}{31.0}$       | 12.5                            | $\frac{26.0}{26.0}$       | 8.0                             | $\frac{22.5}{22.5}$       | 6.0                             | $\frac{19.5}{18.0}$       | 4.5                             |

\* В числителе приведены значения для нижней арматуры из Ø12 К1400; в знаменателе приведены значения для нижней арматуры из Ø9 К1400.

Таблица 6.3.2

Несущая способность плит пролетом 6,3 -9,0 м при свободном опирании плит и для плит, защемленных на опорах  
для жилых и общественных зданий без трещин в кладке (без армирования кладки сетками)

| Верхняя<br>арматура<br>Ø5Вр1400 | Нижняя<br>арматура—<br>канаты класса<br>К1400 |                | Расчетная нагрузка, сверх собственной массы, кПа<br>при длине плиты $\ell$ , м |                                           |                                 |                                           |                                 |                                           |                                 |                                           |                                 |                                           |                    |   |
|---------------------------------|-----------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|--------------------|---|
| Кол-во,<br>шт.                  | Ø,<br>мм                                      | Кол-во,<br>шт. | 6.3                                                                            |                                           | 6.6                             |                                           | 7.2                             |                                           | 7.8                             |                                           | 8.4                             |                                           | 9.0                |   |
|                                 |                                               |                | для плит<br>свободно<br>опертых                                                | для плит<br>защемлен-<br>ных на<br>опорах | для плит<br>свободно<br>опертых | для плит<br>защемлен-<br>ных на<br>опорах | для плит<br>свободно<br>опертых | для плит<br>защемлен-<br>ных на<br>опорах | для плит<br>свободно<br>опертых | для плит<br>защемлен-<br>ных на<br>опорах | для плит<br>свободно<br>опертых | для плит<br>защемлен-<br>ных на<br>опорах |                    |   |
| 4 Ø5<br>Вр1400                  | 12<br>9                                       | 4              | $\frac{7.0}{4.0}$                                                              | 4.5                                       | $\frac{6.0}{3.0}$               | 3.0                                       | $\frac{4.5}{-}$                 | 3.0                                       | $\frac{3.0}{-}$                 | -                                         | $\frac{1}{-}$                   | -                                         | $\frac{1}{-}$      | - |
|                                 |                                               | 6              | $\frac{10.5}{6.0}$                                                             | 4.5                                       | $\frac{9.0}{5.0}$               | 3.0                                       | $\frac{7.0}{3.5}$               | 3.0                                       | $\frac{5.5}{2.5}$               | -                                         | $\frac{1}{-}$                   | -                                         | $\frac{1}{-}$      | - |
|                                 |                                               | 8              | $\frac{14.0}{8.0}$                                                             | 4.5                                       | $\frac{12.5}{7.0}$              | 3.0                                       | $\frac{9.5}{5.0}$               | 3.0                                       | $\frac{7.5}{3.5}$               | -                                         | $\frac{6.0}{2.5}$               | -                                         | $\frac{1}{-}$      | - |
|                                 |                                               | 10             | $\frac{17.5}{10.0}$                                                            | 4.5                                       | $\frac{15.5}{8.5}$              | 3.0                                       | $\frac{12.0}{6.5}$              | 3.0                                       | $\frac{9.5}{5.0}$               | -                                         | $\frac{7.5}{3.5}$               | -                                         | $\frac{6.5}{2.5}$  | - |
|                                 |                                               | 12             | $\frac{18.5}{13.0}$                                                            | 4.5                                       | $\frac{17.5}{11.5}$             | 3.0                                       | $\frac{14.5}{9.0}$              | 3.0                                       | $\frac{12.0}{7.0}$              | -                                         | $\frac{9.5}{5.5}$               | -                                         | $\frac{8.0}{4.0}$  | - |
| 4 Ø9<br>К1400                   |                                               | 14             | $\frac{18.5}{-}$                                                               | 4.5                                       | $\frac{17.5}{-}$                | 3.0                                       | $\frac{15.5}{-}$                | 3.0                                       | $\frac{13.5}{-}$                | -                                         | $\frac{11.0}{-}$                | -                                         | $\frac{9.0}{-}$    | - |
|                                 |                                               | 16             | $\frac{18.5}{16}$                                                              | 4.5                                       | $\frac{17.5}{14.0}$             | 3.0                                       | $\frac{15.5}{11.0}$             | 3.0                                       | $\frac{14.0}{8.5}$              | -                                         | $\frac{12.5}{7.0}$              | -                                         | $\frac{10.5}{5.5}$ | - |

Таблица 6.4.1

Несущая способность плит пролетом 3,0 - 6,0 м при свободном опирании плит и для плит, защемленных на опорах для жилых и общественных зданий с трещинами в кладке (с армированием кладки сетками)

| Верхняя<br>арматура<br>Ø5Bp1400 | Нижняя<br>арматура –<br>канаты класса<br>K1400 |                | Расчетная нагрузка, сверх собственной массы, кПа<br>при длине плиты $\ell$ , м |                                           |                                 |                                           |                                 |                                           |                                 |                                           |                                 |                                           |                     |      |
|---------------------------------|------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|---------------------|------|
| Кол-во,<br>шт.                  | Ø,<br>мм                                       | Кол-во,<br>шт. | 3.0                                                                            |                                           | 3.6                             |                                           | 4.2                             |                                           | 4.8                             |                                           | 5.4                             |                                           | 6.0                 |      |
|                                 |                                                |                | для плит<br>свободно<br>опертых                                                | для плит<br>защемлен-<br>ных на<br>опорах | для плит<br>свободно<br>опертых | для плит<br>защемлен-<br>ных на<br>опорах | для плит<br>свободно<br>опертых | для плит<br>защемлен-<br>ных на<br>опорах | для плит<br>свободно<br>опертых | для плит<br>защемлен-<br>ных на<br>опорах | для плит<br>свободно<br>опертых | для плит<br>защемлен-<br>ных на<br>опорах |                     |      |
| 4 Ø5<br>Bp1400                  | 12<br>9                                        | 4              | $\frac{47.0}{32.0}$                                                            | 12.5                                      | $\frac{31.5}{20.5}$             | 12.5                                      | $\frac{22.0}{14.0}$             | 12.5                                      | $\frac{15.5}{9.5}$              | 12.5                                      | $\frac{11.5}{6.5}$              | 12.5                                      | $\frac{8.0}{4.5}$   | 12.5 |
|                                 |                                                | 6              | $\frac{47.0}{42.5}$                                                            | 12.5                                      | $\frac{37.5}{28.0}$             | 12.5                                      | $\frac{30.0}{19.0}$             | 12.5                                      | $\frac{21.5}{13.5}$             | 12.5                                      | $\frac{16.0}{9.5}$              | 12.5                                      | $\frac{12.0}{7.0}$  | 12.5 |
|                                 |                                                | 8              | $\frac{47.0}{47.0}$                                                            | 12.5                                      | $\frac{37.5}{34.5}$             | 12.5                                      | $\frac{31.0}{24.0}$             | 12.5                                      | $\frac{26.0}{17.5}$             | 12.5                                      | $\frac{20.5}{12.5}$             | 12.5                                      | $\frac{16.0}{9.5}$  | 12.5 |
|                                 |                                                | 10             | $\frac{47.0}{47.0}$                                                            | 12.5                                      | $\frac{37.5}{37.5}$             | 12.5                                      | $\frac{31.0}{28.5}$             | 12.5                                      | $\frac{26.0}{20.5}$             | 12.5                                      | $\frac{22.5}{15.5}$             | 12.5                                      | $\frac{19.5}{11.5}$ | 12.5 |
|                                 |                                                | 12             | $\frac{47.0}{47.0}$                                                            | 12.5                                      | $\frac{37.5}{37.5}$             | 12.5                                      | $\frac{31.0}{31.0}$             | 12.5                                      | $\frac{26.0}{26.0}$             | 12.5                                      | $\frac{22.5}{19.5}$             | 12.5                                      | $\frac{19.5}{15.0}$ | 12.5 |
| 4 Ø9<br>K1400                   |                                                | 14             | $\frac{47.0}{-}$                                                               | 12.5                                      | $\frac{37.5}{-}$                | 12.5                                      | $\frac{31.0}{-}$                | 12.5                                      | $\frac{26.0}{-}$                | 12.5                                      | $\frac{22.5}{-}$                | 12.5                                      | $\frac{19.5}{-}$    | 12.5 |
|                                 |                                                | 16             | $\frac{47.0}{47.0}$                                                            | 12.5                                      | $\frac{37.5}{37.5}$             | 12.5                                      | $\frac{31.0}{31.0}$             | 12.5                                      | $\frac{26.0}{26.0}$             | 12.5                                      | $\frac{22.5}{22.5}$             | 12.5                                      | $\frac{19.5}{18.0}$ | 12.5 |

Таблица 6.4.2

Несущая способность плит пролетом 6,3 -9,0 м при свободном опирании плит и для плит, защемленных на опорах  
для жилых и общественных зданий с трещинами в кладке (с армированием кладки сетками)

| Верхняя<br>арматура<br>Ø5Bp1400 | Нижняя<br>Арматура -<br>канаты класса<br>K1400 |                | Расчетная нагрузка, сверх собственной массы, кПа<br>при длине плиты $\ell$ , м |                                           |                                 |                                           |                                 |                                           |                                 |                                           |                                 |                                           |                    |     |
|---------------------------------|------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|--------------------|-----|
| Кол-во,<br>шт.                  | Ø,<br>мм                                       | Кол-во,<br>шт. | 6.3                                                                            |                                           | 6.6                             |                                           | 7.2                             |                                           | 7.8                             |                                           | 8.4                             |                                           | 9.0                |     |
|                                 |                                                |                | для плит<br>свободно<br>опертых                                                | для плит<br>защемлен-<br>ных на<br>опорах | для плит<br>свободно<br>опертых | для плит<br>защемлен-<br>ных на<br>опорах | для плит<br>свободно<br>опертых | для плит<br>защемлен-<br>ных на<br>опорах | для плит<br>свободно<br>опертых | для плит<br>защемлен-<br>ных на<br>опорах | для плит<br>свободно<br>опертых | для плит<br>защемлен-<br>ных на<br>опорах |                    |     |
| 4 Ø5<br>Bp1400                  | 12                                             | 4              | $\frac{7.0}{4.0}$                                                              | 10.0                                      | $\frac{6.0}{3.0}$               | 10.0                                      | $\frac{4.5}{-}$                 | 8.0                                       | $\frac{3.0}{-}$                 | 6.0                                       | $\frac{-}{-}$                   | 4.5                                       | $\frac{-}{-}$      | 4.5 |
|                                 |                                                | 6              | $\frac{10.5}{6.0}$                                                             | 10.0                                      | $\frac{9.0}{5.0}$               | 10.0                                      | $\frac{7.0}{3.5}$               | 8.0                                       | $\frac{5.5}{2.5}$               | 6.0                                       | $\frac{-}{-}$                   | 4.5                                       | $\frac{-}{-}$      | 4.5 |
|                                 |                                                | 8              | $\frac{14.0}{8.0}$                                                             | 10.0                                      | $\frac{12.5}{7.0}$              | 10.0                                      | $\frac{9.5}{5.0}$               | 8.0                                       | $\frac{7.5}{3.5}$               | 6.0                                       | $\frac{6.0}{2.5}$               | 4.5                                       | $\frac{-}{-}$      | 4.5 |
|                                 |                                                | 10             | $\frac{17.5}{10.0}$                                                            | 10.0                                      | $\frac{15.5}{8.5}$              | 10.0                                      | $\frac{12.0}{6.5}$              | 8.0                                       | $\frac{9.5}{5.0}$               | 6.0                                       | $\frac{7.5}{3.5}$               | 4.5                                       | $\frac{6.5}{2.5}$  | 4.5 |
|                                 |                                                | 12             | $\frac{18.5}{13.0}$                                                            | 10.0                                      | $\frac{17.5}{11.5}$             | 10.0                                      | $\frac{14.5}{9.0}$              | 8.0                                       | $\frac{12.0}{7.0}$              | 6.0                                       | $\frac{9.5}{5.5}$               | 4.5                                       | $\frac{8.0}{4.0}$  | 4.5 |
| 4 Ø9<br>K1400                   |                                                | 14             | $\frac{18.5}{-}$                                                               | 10.0                                      | $\frac{17.5}{-}$                | 10.0                                      | $\frac{15.5}{-}$                | 8.0                                       | $\frac{13.5}{-}$                | 6.0                                       | $\frac{11.0}{-}$                | 4.5                                       | $\frac{9.0}{-}$    | 4.5 |
|                                 |                                                | 16             | $\frac{18.5}{16}$                                                              | 10.0                                      | $\frac{17.5}{14.0}$             | 10.0                                      | $\frac{15.5}{11.0}$             | 8.0                                       | $\frac{14.0}{8.5}$              | 6.0                                       | $\frac{12.5}{7.0}$              | 4.5                                       | $\frac{10.5}{5.5}$ | 4.5 |

В результате расчета установлена возможность применения плит безопалубочного формования пролетом до 7,2 м в жилых и административных зданиях.

Расчетный пролет плиты, в зависимости от полезной нагрузки, можно определить по графикам рисунок 6.5 и рисунок 6.6.

При этом следует рассматривать два случая:

а) Трещины в кирпичной кладке не образуются (значения  $K$  определяют по рисунку 6.1 и рисунку 6.2). В этом случае, сетки в кладке в узле стыка (рисунок 6.7) можно не устанавливать для плит, для которых выполняется условие трещинообразования плиты (6.2).

б) Трещины в кирпичной кладке образуются (значения  $K$  определяют по рисунку 6.1 и рисунку 6.2). В этом случае, сетки в кладке в узле стыка необходимо устанавливать для плит, для которых выполняется условие (6.2) (рисунок 6.7).

Момент образования трещин в кладке зависит от марки кирпича и марки раствора представлен на рисунок 6.3 и рисунок 6.4. Произведен расчетный анализ возможности применения плит перекрытия безопалубочного формования длиной до 9 м под расчетную полезную нагрузку 450 - 1000 кг/м<sup>2</sup> (сверх собственной массы) с высотой сечения 220 мм по серии 0-462-08.3 [3 СП 15.13330.2012. Каменные и армокаменные конструкции.]. Разработана методика расчета опорных моментов плит безопалубочного формования с учетом применения верхней напрягаемой канатной арматурой плиты. Выполнен расчет плит перекрытия высотой сечения 220 мм и определены опорные моменты при различных длинах и различной полезной нагрузке на плиты. Полученные результаты позволяют рассчитывать опорные моменты плит, заделанных в кирпичную кладку. Полученные результаты показали, что плиты безопалубочного формования пролетом до 7.2 м могут использоваться в зданиях с кирпичными несущими стенами для жилых и административных зданий.

В таблицах 6.3.1; 6.3.2; 6.4.1 и 6.4.2 приведена несущая способность плит при свободном опирании плит и для плит, защемленных на опорах при различном армировании (бетон класса В40, длина опирания  $l_{оп} = 120$  мм).

## **ГЛАВА 7 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ**

Основным фактором, влияющим на уровень развития строительной отрасли, является общее состояние экономического развития отдельных регионов и страны в целом. Но есть и не менее важные, к ним можно отнести качество строительной продукции и организационно-технологическую надежность строительного производства. Если на первый фактор строительное производство самостоятельно оказать влияние не имеет возможности, то два последних оно само должно быть актуально. По нашему мнению, влияние их на развитие самих строительных организаций, их прибыльности являются основными. Рассмотрим их более подробно.

### **7.1 Качество строительной продукции**

Качество – это философская категория. Считается, что она впервые была подвергнута анализу Аристотелем еще в III в. до н.э. Существует, например, философское определение качества, данное в XIX в. Гегелем: «Качество есть в первую очередь тождественная с бытием определенность, так что нечто перестает быть тем, что оно есть, когда оно теряет свое качество» [20].

В настоящее время ее рассматривают как достаточно сложную категорию, которая обладает различными особенностями в зависимости от точки зрения рассмотрения его характеристик, к основным можно отнести философскую, социальную, техническую, экономическую и правовую.

В современных экономических условиях многие страны воспринимают качество как значимое требование и источник национального достояния. На основе качества строительной продукции может достойно существовать строительная организация, так качество определяет конкурентоспособность строительной продукции и предприятия, и на основе этого получает достаточную для достойного существования прибыль. Это и определяет значимость качества, необходимость его повышения и поддержания на должном уровне, для строительной организации.

Основными причинами, которые определяют необходимость повышения качества строительной продукции являются, на наш взгляд, следующие:

- 1) возрастание личных потребностей граждан, производства и общества;
- 2) повышение роли научно-технического прогресса в современном экономическом развитии всего общества;
- 3) усложнение и усовершенствование современной строительной продукции и услуг;
- 4) возможный рост дефектной строительной продукции в связи с привлечением в строительства слабо подготовленных работников, а иногда и организаций;
- 5) штрафные санкции за недоброкачественную строительную продукцию со стороны заказчиков и других участников строительства;
- 6) возрастающие требования к эффективности строительного производства, что напрямую сказывается на рентабельности строительных организаций;
- 7) повышение конкуренции среди строительных (проектных) организаций.

Для успешного развития уровня качества, поддержания его на необходимом уровне качеством необходимо управлять. В нашей стране такое управление зародилось в плановой экономике - комплексная система управления качеством (КС УК). В рыночных условиях данная система стала давать сбои. В настоящее время в стране разрабо-

таны системы менеджмента качества (СМК) для различных отраслей и предприятий. Наши СМК аналогичны зарубежным СМК, но и при их наличии продукция строительного производства в основном отстает от иностранных аналогов (западноевропейских, американских, японских). Особенно это касается жилищного строительства, где мы сдаем (продаем) квартиры «в черноте», что само по себе противоречит основному принципу менеджмента – товары и услуги должны удовлетворять потребности потребителя (в нашем случае «заказчика»).

Большой энциклопедический словарь определяет качество следующим образом: «Философская категория, выражающая существенную определенность объекта, благодаря которой он является именно этим, а не иным. Качество – характеристика объектов, обнаруживающаяся в совокупности их свойств». Международный стандарт ИСО 9000:2000: «Качество – степень, с которой совокупность собственных характеристик выполняет требование». В соответствии с ИСО 9000: 2000 управление качеством – часть менеджмента качества, направлена на выполнение требований к качеству. В новую версию стандартов ИСО 9000:2000 положено восемь принципов: ориентация на потребителя, лидерство руководителей, вовлечение работников, процессный подход, системный подход к менеджменту, постоянное улучшение качества, принятие решений, основанное на фактах, взаимовыгодные отношения с поставщиками.

*Качество строительной продукции* – основной фактор, влияющий на экономичность и рентабельность законченного строительством объекта, обеспечивающих его надежность и долговечность.

В обобщающем случае качество строительной продукции в виде законченных строительством объектов определяется качеством изыскательских работ, качеством проектно-сметной документации, качеством строительных материалов и изделий и качеством производства строительно-монтажных работ (СМР).

*Качество изыскательских работ* оказывает прямое воздействие на качество проектирования зданий и сооружений, ошибки в изысканиях оказывают влияние на разработку тех или иных архитектурно-планировочных и конструктивных решений и, кроме того, на месторасположение объекта.

*Качество проектных работ* в основном зависит от квалификации проектировщиков и правильной организации проектных работ. Использование устаревших проектных решений приводит к тому, что еще до процесса строительства объект морально устаревает. Качество проектно-сметной документации (ПСД) сказывается на качестве строительного объекта – нельзя построить объект хорошего качества по некачественной ПСД.

В настоящее время при разработке ПСД в проектных организациях Благовещенска очень низким качеством отличаются проекты организации строительства (ПОС). Такое впечатление, что строительные генеральные планы выпускаются (другое слово подобрать трудно) только для согласования ПСД.

Даже в ведущих строительных организациях города ОАО «Благовещенскстрой», ЗАО «Амурская строительная компания», ОАО «Амурстрой», ЗАО «АНК» проекты производства работ (ППР) составляются только для государственно-архитектурно-строительного надзора (ГАСН) и других контролирующих организаций, но не для создания нормальных условий производства СМР на строительных площадках.

*Качество строительных материалов* играет значительную роль в надежности и долговечности конструкций, изделий и самих зданий и сооружений. В настоящее время качество материалов, изделий, конструкций значительно повысилось по сравнению с 90-ми годами прошлого века, но есть еще потребности и возможности в ее повышении.

*Качество производства СМР* регламентируется СП, устанавливающим состав и порядок контроля, оформление скрытых работ, правила окончательной приемки работ, направленные на обеспечение высокого качества строительной продукции.

Основными причинами низкого качества СМР являются:

- присутствие на строительном рынке некомпетентных строительных организаций;
- отсутствие должного контроля со стороны ИТР;
- незаинтересованность рабочих строителей в высоком качестве - оплата труда за выполненные объемы работ без должного учета качества;
- слабая технологическая культура;
- применение устаревших машин и несовершенство инструмента;
- потеря квалификации рабочими и ИТР за переходный период в экономике страны;
- привлечение рабочих низкой квалификации из Средней Азии, например, Киргизии или Китая.

Первая причина касается в основном строительных организаций (СО), которые попросту покупали лицензии, когда данная деятельность была поставлена на коммерческую основу. Необходимо отметить, что в настоящее время лицензирование стало действительно инструментом отсека от строительного рынка некомпетентных организаций.

Вторая причина, к сожалению, имеет место в ведущих строительных организациях города (выше перечисленных) в основном из-за незнания самих ИТР методов контроля (высказывание самих руководителей СО г. Благовещенска).

Третья причина имеет исторические корни – экономика СССР, затем Российской Федерации в области строительства ориентирована на объемные показатели, том числе и при оплате труда рабочих основными показателями являются объемы СМР, но не качество.

Четвертая причина вызвана как потерей квалификации в известный период, так и потерей базы переподготовки рабочих кадров.

Пятая и шестая причины уже не так сильно влияют на качество СМР, как прежде, и, по нашему мнению, потеряли свою актуальность.

Седьмая причина актуальна и по сей день, она связана с низкой квалификацией привлекаемых рабочих и языковыми барьерами.

## **7.2 Управление качеством строительной продукции**

Качество – наиболее важная характеристика любого бизнеса, которая должна быть в центре внимания всех работающих организаций. Контроль за качеством наиболее важный элемент достижения качества и рассматривается на двух уровнях:

- на низшем уровне управления – в целях уменьшения количества некачественной продукции;
- на высшем уровне – как стиль и политика работы СО по отношению к поставщикам и заказчикам продукции строительства.

В новую версию стандартов ИСО 9000:2000 положено восемь принципов [20], их взаимодействие показано на рисунке 7.1:

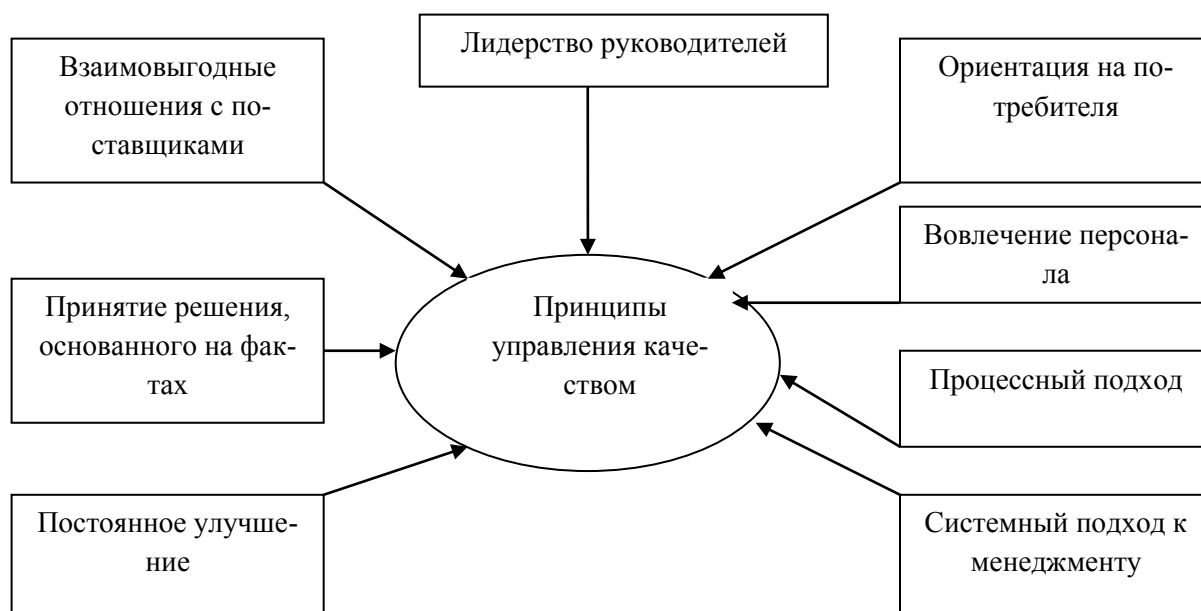


Рис. 7.1. Принципы управления качеством

1. Ориентация на потребителя.
2. Лидерство руководителей.
3. Вовлечение работников.
4. Процессный подход.
5. Системный подход к менеджменту.
6. Постоянное улучшение качества.
7. Принятие решений, основанное на фактах.
8. Взаимовыгодные отношения с поставщиками.

Рассмотрим эти принципы более подробно.

*Принцип ориентации на потребителя* заключается в изучении спроса с целью полного понимания потребностей и ожидания потребителя в отношении продукции, цен, предоставления; обеспечении сбалансированности в запросах у потребителей и других участников строительного рынка.

*Принцип лидерства руководителя* заключается в обеспечении им единство цели деятельности организации, создании и поддержании внутренней среды строительной организации. Он так же в активном поведении, понимании и реагировании на изменение внешней среды; создании ясного понимания перспектив строительной организации; определении стратегических целей и их достижении; обеспечение персонала, оценка вклада каждого работника для достижения целей организации; обучение персонала.

*Принцип вовлечения работников* составляет основу организации и дает возможность использовать их способности; максимальное использование творческого потенциала персонала строительной организации. При полном использовании этого принципа достигается синергетический эффект, который заключается в следующем: совокупном результате работы коллектива который значительно превосходит сумму результатов отдельных работников.

*Принцип процессного подхода* заключается в управлении повышения качества и необходимыми для этого ресурсами управляют как процессом. Данная модель строительной организации содержит совокупность процессов, участниками которой являются все элементы и ступени организационной структуры управления строительной фирмы.

*Принцип системного подхода к менеджменту* заключается в выявлении, понимании и менеджмент взаимосвязанных процессов управления качеством как системы вносят вклад в эффективность и результат деятельности строительной организации для достижения ее целей. Эффективность деятельности организации повышается за счет создания и управления (менеджмента) системой взаимосвязанных процессов.

*Принцип постоянного улучшения качества* заключается в постоянном улучшении деятельности строительной организации в которой заключается ее цель. Строительная фирма должна отслеживать возникающие проблемы качества строительной продукции (ее составляющих) и после их анализа принимать корректирующие и предупреждающие управленческие решения для ликвидации возникших проблем в этой области.

*Принятие решений, основанное на фактах*, позволяет принимать эффективные управленческие решения в области управления качеством. Информацией может основываться на предложениях сотрудников строительной организации по снижению затрат, повышению производительности, снижения себестоимости строительной продукции. Так же источниками информации являются аудит системы качества строительной организации, рекламации заказчиков.

*Принцип взаимовыгодного отношения с поставщиками* заключается в взаимозависимости строительной организации с заводами и организациями (оптовыми базами и др.) поставщиками, что повышает взаимную выгоду и способность данных участников строительства создавать общие ценности (прибыли своих организаций).

Успешное использование строительной организацией восьми принципов менеджмента качества приводит к выгодам участников строительства: выполнение строительства и сдачей объектов в установленные договорами подрядов сроки, увеличение прибыли и стабильности работы всех организаций - участников строительства.

Один из основных тезисов управления качеством состоит в том, что применяемые инструменты контроля (статистические методы) имеют весьма небольшой эффект, если не подкрепляются политикой и стилем работы СО. Поэтому нужно твердо знать, что статистические методы контроля за качеством могут принести результат лишь при наличии соответствующих условий и политики СО.

Улучшение качества не должно означать увеличения цены товара. Продукция должна быть предложена высокого качества, но по разумной цене. Улучшение качества приводит к снижению издержек производства, поскольку количество строительной продукции, которая будет отнесена к браку или которую необходимо доработать, заметно снижается. Ввиду повышения производительности уменьшается число простоев производственного процесса и т.д.

В практической работе качество определяется рядом показателей, характеризующих определенные свойства продукции и ее способность удовлетворять соответствующие потребности. Оценивается как задаваемый уровень качества, так и качество исполнения.

При этом можно условно выделить две группы показателей.

Первая группа включает показатели, связанные с безопасностью, а также некоторыми другими общезначимыми характеристиками. В строительстве, как свидетельствует практика, в том числе и европейских стран, это не только непосредственно безопасность жизни и здоровья граждан и окружающей среды. Это в целом градостроительное обеспечение нормальных и удобных условий жизнедеятельности, долговечности объектов капитального строительства, а также сокращение невосполняемых энергетических ресурсов, необходимых для эксплуатации городского хозяйства.

Вторая группа включает показатели, определяющие коммерческую ценность продукции и ее соответствие конкретным запросам потребителей. Задача государства – разработать и обеспечить соблюдение общих «правил игры». Большую роль здесь играют создание систем страхования рисков потребителя по качеству и сохранности

имущества, в том числе и недвижимости, развитие добровольной стандартизации и сертификации, повышение роли различных общественных институтов и многие другие условия и традиции жизни общества.

В любом случае, если созданы условия для нормальной конкуренции, качество работы обеспечивает ее исполнитель под воздействием как административных рычагов, так и исходя из собственных интересов. При этом потребитель должен обладать необходимыми правами и возможностью ими пользоваться. В строительстве эта задача усложняется, так как цепочка от исполнителя до реального пользователя строительной продукции многоступенчата, а интересы потребителей строительных услуг на промежуточных этапах проектирования и строительства ограничены и не всегда соответствуют конечной цели.

Существует две концепции контроля качества.

Первая – это все возможные способы контроля технологического процесса. Эта целостная система охраны качества ориентирована, прежде всего, на предотвращения брака, а не на исправление его в конце процесса строительного производства, продажи, поставки и обслуживания.

Вторая – это организационные методы управления процессом, обеспечивающее качество строительной продукции. Это новая целостная система контроля, или службы качества, как составной части управления строительным производством, стратегического фактора производственной деятельности строительной организации, охватывающей все фазы, уровни и исполнителей процесса строительства и обеспечивающей недопущение ошибок на стадии проекта.

**Строить качественно – необходимость рынка.** За последние годы по внешнему виду, отделке и ряду функциональных свойств качество строительства в ряде мест заметно улучшилось. Вместе с тем, к сожалению, участвовавшие аварии и несчастные случаи, неудовлетворительное качество рядовой массовой застройки и, главное, снижение уровня работы инженерных служб во многих производственных организациях являются признаками сохраняющегося неблагополучия в этой области.

Сегодня главные критерии выбора подрядчика – сроки, цена и качество выпускаемой продукции. Но какой из них наиболее важен для заказчика?

Продолжительность строительства (проектирования) вряд ли может рассматриваться как серьезное конкурентное преимущество хотя бы потому, что все подрядчики обязуются построить объект в те сроки, которые нужны заказчику (инвестору), а эту продолжительность заказчик назначает, исходя из своих представлений об окупаемости вкладываемых средств. Напомним, что в настоящее время норм продолжительности строительства или проектирования не существует.

Часто думают, что решающим фактором может быть предлагаемая претендентами цена строительства (проектирования). Это также сомнительно, так как разумный заказчик обращает внимание на цену лишь в том случае, если претенденты предлагают ему одинаковое качество. Только очень недалековидный заказчик при выборе подрядчика ориентируется в первую очередь на предлагаемую цену.

Тогда главным ориентиром при выборе подрядчика становится качество будущего объекта (проекта). Это самое сильное, надежное, конкурентное преимущество. Недаром говорят, что если организация имеет преимущество в качестве, то ближайший конкурент сможет ее догнать только через шесть-семь месяцев, да и то лишь в том случае, если эта организация по каким-то причинам перестанет улучшать качество своей продукции (услуг).

Востребованность и конкурентоспособность организации на рынке сегодня зависит от качества выпускаемой продукции. Следовательно, организации должны иметь эффективную систему управления, ориентированную на качество.

В то же время в наличии подобной системы у подрядчика заинтересованы и заказчики (инвесторы). Эффективная система менеджмента является для них гарантом качества будущей продукции. Это в строительной отрасли особенно важно. Ведь на момент заключения подрядного договора и, если повезло, перечисления аванса объекта (проекта) еще нет. Пройдет много месяцев, а иногда и лет, прежде чем будет построен объект и заказчик сможет увидеть и оценить, за что он заплатил деньги. Система менеджмента качества (СМК) на основе стандартов ИСО серии 9000 не только гарантирует заказчику, что будущий объект будет соответствовать всем установленным требованиям, но и позволяет продемонстрировать такую гарантию до начала строительства (проектирования).

Другая причина, влияющая на принятие решения о целесообразности внедрения СМК, – желание увеличить прибыль организации.

Как известно, существование и развитие организации зависит от получаемой прибыли. Величина же этого, наиболее значимого для организации показателя, зависит от цены и себестоимости строительства (проектирования). Влиять на прибыль можно двумя путями: либо увеличив цену, либо снизив себестоимость. Цену, как правило, определяет заказчик, исходя из собственных возможностей и представлений об окупаемости вкладываемых средств, а у подрядчика возможности повлиять на ее величину ограничены. Однако на себестоимость подрядчик повлиять может. И одним из способов, позволяющих снизить себестоимость строительства (проектирования), является внедрение СМК на основе МС ИСО серии 9000. Это происходит за счет снижения непроизводительных расходов, таких, например, как излишний контроль; исправление брака, выявленного в ходе пооперационного и окончательного контроля, проводимого организацией и инспектирующими органами; излишнее перемещение грузов или потери во время хранения; другие непроизводительные расходы.

Таким образом, можно сделать вывод, что основным направлением в повышении конкурентоспособности строительных организаций в рыночных условиях становится внедрение системы менеджмента качества.

### 7.3 Стадии и этапы жизненного цикла строительной продукции

Строительная продукция во многом отличается от других видов промышленной продукции, у нее очень длительный жизненный цикл, в некоторых случаях более 100 лет, что больше длительности жизни человека. Сами циклы жизненного цикла традиционные.

1. Исследования, предпроектная стадия (выбор строительной площадки), разработка проектно-сметной документации (ПСД) – перспективные и прикладные маркетинговые исследования; нормирование к качеству строительной продукции; составление бизнес-плана (для инвестиционных проектов, в основном промышленного назначения); разработка рабочего проекта; привлечение инвестиций; изготовление и испытание (при необходимости) новых строительных материалов и конструкций; экспертиза и утверждение ПСД.

2. Строительство (производство) объектов недвижимости – геодезическая и технологическая подготовка; материально-техническое снабжение; входной контроль строительных материалов, конструкций, деталей и осуществление строительного производства с участием контролирующих органов; подготовка и сдача готового объекта в эксплуатацию (некоторыми отличиями жилых и производственных зданий и сооружений); для готовой продукции строительного производства в связи с ее длительным циклом можно выделить стадию *реконструкции* различных видов); кроме этого довольно

часто возникает стадия *реанимации* строительной продукции; часто по разным причинам сменяют и функциональное назначение строительной продукции.

3. Товарообращение строительной продукции, здесь тоже имеются свои особенности - часто заказчик (потребитель) известен еще до предпроектной стадии (особенно в промышленном строительстве), в жилищном строят иногда не имея заказчика, квартиры реализуют достаточно длительное время (как это наблюдается в Благовещенске) в настоящее время.

4. Эксплуатация строительной продукции – ввод в эксплуатацию готовой строительством продукции; средний, капитальный ремонт, техническое перевооружение объектов промышленного и сельскохозяйственного назначения, реконструкция, реанимация, смена функционального назначения строительной продукции (выше уже об этом говорилось).

5. Утилизация продукции – подготовка к утилизации; разборка объекта вывоз на утилизацию или переработка некоторых строительных конструкций и материалов.

В условиях рыночной экономики можно отдельно выделить стадии товарообращения строительной продукции, тем более существует довольно значимый по своему объему вторичный рынок строительной продукции (например, жилья).

#### 7.4 Определение эффективности управления качеством

По вопросам управления качеством строительной продукции известны различные подходы, как и для управления строительным производством. Первоначально такие методические подходы учитывали экономические последствия управленческих процессов качеством. Это так называемые традиционные методики (по В.М. Мишину) [62]. В 1960-х годах специалисты всех уровней в области качества стали больше внимания уделять социальным и экологическим последствиям. При таком подходе суммировании всех затрат на социальные и экономические последствия был и предложен в новых методиках определения эффективности, включая и качества.

Осуществляемые попытки создать универсальный измеритель различных видов эффективности успехом не увенчались. Предложенный стоимостной универсальный показатель не смог преодолеть противоречивость и приоритетности рассматриваемых сторон качественной эффективности.

При определении эффективности системного управления качеством следует учитывать, в первую очередь, общечеловеческие требования, направленные на обеспечение необходимой безопасности каждого потребителя, всего общества, их экологического благополучия и научно-технического развития человечества [62].

Именно эти стороны результатов системного управления эффективностью качества стали наиболее важными в сравнении с экономической эффективностью.

Определение эффективности управления качеством предложено на выше обозначенных принципах. Рассмотрим их более подробно,

*Принцип социальной и экологической эффективности*, определяющий первоначальный учет социальные и экологические эффекты с проверкой их на безопасности и экологичности.

*Принцип комплексного подхода*, который определяет учет всех затрат при системном управлении качеством и возникающие при этом последствия создания и эксплуатации строительной продукции при всех стадиях жизненного цикла. Учитывая всю эффективность внутренней и внешней сред строительной продукции. Принцип комплексного подхода при определении эффективности системного управления качеством

подразумевает рассмотрение всех составляющих подсистем системы управления управлением качеством и всех составляющих внешней среды.

*Принцип обеспечения минимального воздействия недостаточности информации*, означает минимальное влияние по разрабатываемым решениям по управлению качеством строительной продукции.

*Принцип сопоставимости результатов*, означающий необходимость сравнимости различных аспектов эффективности за счет функционирования системы управления качеством за счет целого ряда признаков последствий этих внедрений. При этом, оценка эффективности управления качеством должна производиться сопоставлением данных с учетом принимаемых и реализованных мер, а также и без их учета.

*Принцип обязательного учета и анализа затрат* на обеспечение и управление качеством. Этот принцип дает основу определения экономической эффективности управления качеством любой продукции, в том числе и строительной.

Кроме указанных принципов используют еще целый ряд других принципов: прогрессивности и максимума эффекта; учета фактора времени; учет эффектов.

### **7.5 Основные источники эффектов и показатели расчета эффективности управления качеством**

Необходимо отметить, что работа системы управления качеством создает различные виды эффектов, в большинстве случаев они носят потенциальный характер и только экономический эффект дает реальные результаты, например, инновационные проекты. Социальные и экологические эффекты относят к потенциальным, так как их эффект выражается не сразу и в стоимостном отношении подсчитать иногда затруднительно, например улучшение состояния здоровья, окружающей среды.

Среди всех видов эффектов рассматривают наиболее типичные из них.

Источниками социальных эффектов от управлением качеством продукции могут рассматриваться следующие:

- повышение квалификации персонала;
- повышение безопасности для человека и окружающей среды строительной продукции и услуг;
- улучшение структуры управленческого и производственного потенциала;
- улучшение жилищных и социальных условий работников организации.

Источниками экологических эффектов могут быть:

- улучшение качества окружающей среды (снижение загрязнений);
- повышение уровня выпускаемой продукции (с точки экологической безопасности);
- повышение экологической безопасности производства.

Научно-технические эффекты по улучшению управления качества:

- увеличение веса информационных технологий;
- повышение веса автоматизации производства (не всегда);
- повышение удельного веса прогрессивных технологий.

Экономическими эффектами управления качеством, следующие:

- снижение затрат на управление;
- прибыль от инновационных проектов;
- уменьшение затрат на исправление дефектов;
- минимизация затрат контроля продукции;
- уменьшение ущерба за нарушение договоров подряда.

В общем случае основными источниками получения эффекта (результата) служит снижение затрат, которые можно показать одной формулой:

$$\mathcal{E} = \mathcal{Z}_1 - \mathcal{Z}_2 \quad (7.1)$$

где  $Z_1$  и  $Z_2$  - затраты до и после улучшения системы управления качеством.

При всех расчетах эффекта (результата) необходимо помнить, что эффект (результат) может быть, достигнуть с различными затратами на его получение, а это уже эффективность. Другими словами только по эффекту (результату) нельзя судить (с экономической точки зрения) о его эффективности.

Деятельность в управлении качеством можно оценивать с точки зрения общественной и коммерческой эффективности.

Первые показатели (общественной) эффективности показывают социальные, экологические и экономические последствия этой деятельности для общества в целом

Показатели коммерческой эффективности учитывают финансовые результаты управлением качеством, но уже по строительным организациям, предприятиям или на более высоком уровне (региону, отрасли, государству).

При этом, как правило, используют показатели расчета эффективности, используемые в бизнес-планах; чистый дисконтированный доход, внутренняя норма доходности, точка безубыточности, индексы доходности с учетом всех возможных рисков при реализации инвестиционных проектов, с учетом существующих ограничений внешней и внутренней среды, а также местных условий.

## 7.6 Понятие организационно-технологической надежности

Поставленные стратегические цели перед инвестиционно-строительным комплексом состоят в повышении качества строительной продукции, обеспечении надежности и безопасности, экономичности зданий и сооружений соответствующего современным достижениям в строительной сфере. Все это, зависит в той или иной мере, от соответствующей организационно-технологической надежности строительного производства отдельных строительных фирм, отдельных объектов и в целом от инвестиционно-строительного комплекса страны.

Надежность строительного производства зависит от большого числа случайных факторов влияния внешней и внутренней среды, как производственных, так и непроизводственных. Учет воздействия их на строительное производство возможно на основе создания вероятностно-статистических моделей и методов их изучения. Такими факторами могут быть экономические, природно-климатические, технические социальные, факторы, как правило, воздействуют не по отдельности, а совместно, что приводит к возникновению синергетического эффекта на строительное производство. Особенно разрушительное воздействие отмечается в последнее время от экономических факторов.

Под организационно-технологической надежностью строительства принято понимать способность строительного производства сохранять параметры функционирования в заданных пределах и получать запланированный результат при данных условиях производства [84].

Технологическая надежность строительного производства представляет собой способность строительных процессов сохранять свои параметры в заданных пределах и условиях строительного производства.

Организационная надежность – это способность организационных решений по ведению объектов строительства с заданной вероятностью обеспечить получение запланированного результата функционирования строительного производства в условиях воздействий случайных факторов. В качестве случайных организационных факторов выступают снабжение ресурсами, правила их взаимодействия и необходимые ограничения.

Наиболее характерными отказами при проведении реконструкции кроме отказов сопутствующих новому строительству необходимо отнести такие технологические отка-

зы связанные с работами по демонтажу и усилению конструкций, а также связанные с стесненными условиями производства работ и с риском нарушения инженерных сетей реконструируемого предприятия, и организационные отказы связанные с совмещением двух различных технологий (строительной и самого реконструируемого производства).

Большинство производственных факторов являются случайными, то надежность строительного производства оценивается статистически, а критерии и количественные характеристики - вероятностными методами. Отказы в строительном производстве, являются случайными величинами, они могут быть прерывистыми и непрерывными. Они характеризуются функциями распределения вероятностей.

При реконструкции важно распределить во времени и пространстве очередность проведения реконструкции участков, цехов и с определением остановки производства или без остановки действующего производства. При этом необходимо учитывать направленность технологических процессов основного производства. От которых зависит правильность моделирования реконструкции действующих предприятий. Существуют следующие группы технологических процессов:

- с последовательной организационно-технологической схемой производства, где перерабатывают сырье или полуфабрикаты в конечную продукцию данного подразделения;

- параллельной организационно-технологической схемой производства, где перерабатывают сырье или полуфабрикаты в конечную продукцию, а на параллельных участках (пролетах) выпускают однородную продукцию;

- с параллельно-последовательной организационно-технологической схемой производства, где в цехах изготавливают неоднородную продукцию, производство которой организовано на последовательных технологических линиях.

Направление движение строительного производства при реконструкции цехов (участков, пролетов) при этом может совпадать с направлениями основного производства или быть противоположными.

При совпадении направления реконструкции цехов (участков, пролетов) с направлением технологического процесса, возникают организационно-технологические перерывы для создания необходимых запасов полуфабрикатов.

При обратном направлении реконструкции цехов (участков, пролетов) организационно-технологических перерывов можно избежать. Так как, создание запасов обеспечивается в период реконструкции другого участка.

Эти особенности реконструкции необходимо учитывать при разработке организационно-технологических моделей реконструкции (диаграммы Ганта, сетевых графиков).

В теории надежности понятие отказа представляет собой событие, при котором происходят сбои при производстве строительно-монтажных работ. Отказы в строительном производстве возникают в результате воздействия случайных факторов или при их взаимодействии.

Организационно-технологическая работа строительного производства как системы можно характеризовать вероятностью наступления отказа. В общем случае безотказная работа системы  $P(t)$  и вероятность возникновения отказа  $Q(t)$  это противоположные события, исходя из этого сумма вероятности их наступления равна 1

$$Q(t) + P(t) = 1 \quad (7.2)$$

В строительном производстве в отличие от технических систем редко связан с полным прекращением функционирования системы (хотя в настоящее время и встречается) В строительстве наиболее характерны частичные отказы, которые как правило, устраняются самостоятельно соответствующими службами саморегулируемых строительных организаций или с привлечением консультационных фирм.

Многообразие причин возникновения отказов, случайных производственных факторов определяют разнообразный характер отказов в строительном производстве, которые можно характеризовать по рядам признаков [84].

Причины возникновения отказов могут быть следующие: технические, технологические, организационные, управленческие, социальные, природные. Эти причины были известны с начала появления ОТН как научной дисциплины. В настоящее время надо отметить появление новых причин появления отказов, мы бы их назвали коррупционными, хотя они связаны и с социальными, экономическими и управленческими факторами. Это появление на первичном рынке недвижимости различных «пирамид». В Амурской области это общеизвестная ООО «Россия», отказ в которой произошел полный, фирма обанкротилась, а объекты до сих пор (прошло 3 года) не закончены строительством.

В настоящее время основным показателем надежности системы используют коэффициент готовности  $K_r$ . Он представляет собой отношение продолжительности безотказной работы системы (строительного производства) и отказов (частичных отказов) за определенный период времени.

Безотказность – это свойство системы (строительного производства, процесса, организации) сохранять работоспособное состояние в течении определенного времени при функционировании в заданных параметрах.

Закономерности распределения отказов теоретически достаточно хорошо изучены к настоящему времени. В строительном производстве рассматривают равномерное распределение отказов, когда случайное событие находится в определенном интервале времени и его появление равновероятно. Показательное распределение соответствующее приближительному соответствию распределению отказов в сложных системах. Распределение Вейбулла переходящее в определенных условиях в показательное, для определения надежности некоторых процессов. Нормальное распределение при зависимости наступления события от множества факторов, при слабом их влиянии. Распределение Пуассона и биномиальное распределение предназначенные для характеристик дискретных случайных величин, остальные законы определяют вероятности непрерывных величин (по Седых и Лазебник). Также хорошо изучены способы расчета показателей надежности и способы расчета параметров потока с учетом надежности.

Рассмотрим *основные методы повышения надежности строительного производства*.

В конце 80-х годов прошлого века одним из основных методов повышения надежности строительного производства считались производственные нормативы, в частности ЕНиРы и правила проектирования организации строительства. Вторым методом являлось устранение причин отказов. Третьим резервирование – традиционный метод повышения надежности технических систем. И наконец, четвертым вариантная разработка организационно-технологической документации строительства, для сокращения продолжительности строительства или отдельных работ.

В настоящее время уже предложены более совершенные методы повышения надежности строительного производства, применение нормативов, но уже не общих для всего строительного производства, а ориентированных на территориальное и фирменное нормирование. Ко второму методу устранение причин отказов в настоящее время можно отнести применение логистических методов и внедрение системы управления качества (системы менеджмента качества) основанной на международных стандартах.

Основными целями логистики является создание интегрированной эффективной системы регулирования и контроля материальных и информационных потоков, обеспечивающей высокое качество поставки продукции, достижение максимальной приспособленности предприятий и фирм в изменяющейся рыночной обстановке и получение преимуществ перед конкурентами при минимизации общих логистических затрат.

Схему повышения организационно-технологической надежности строительного производства в общем виде можно показать следующей моделью, рисунок 7.2.

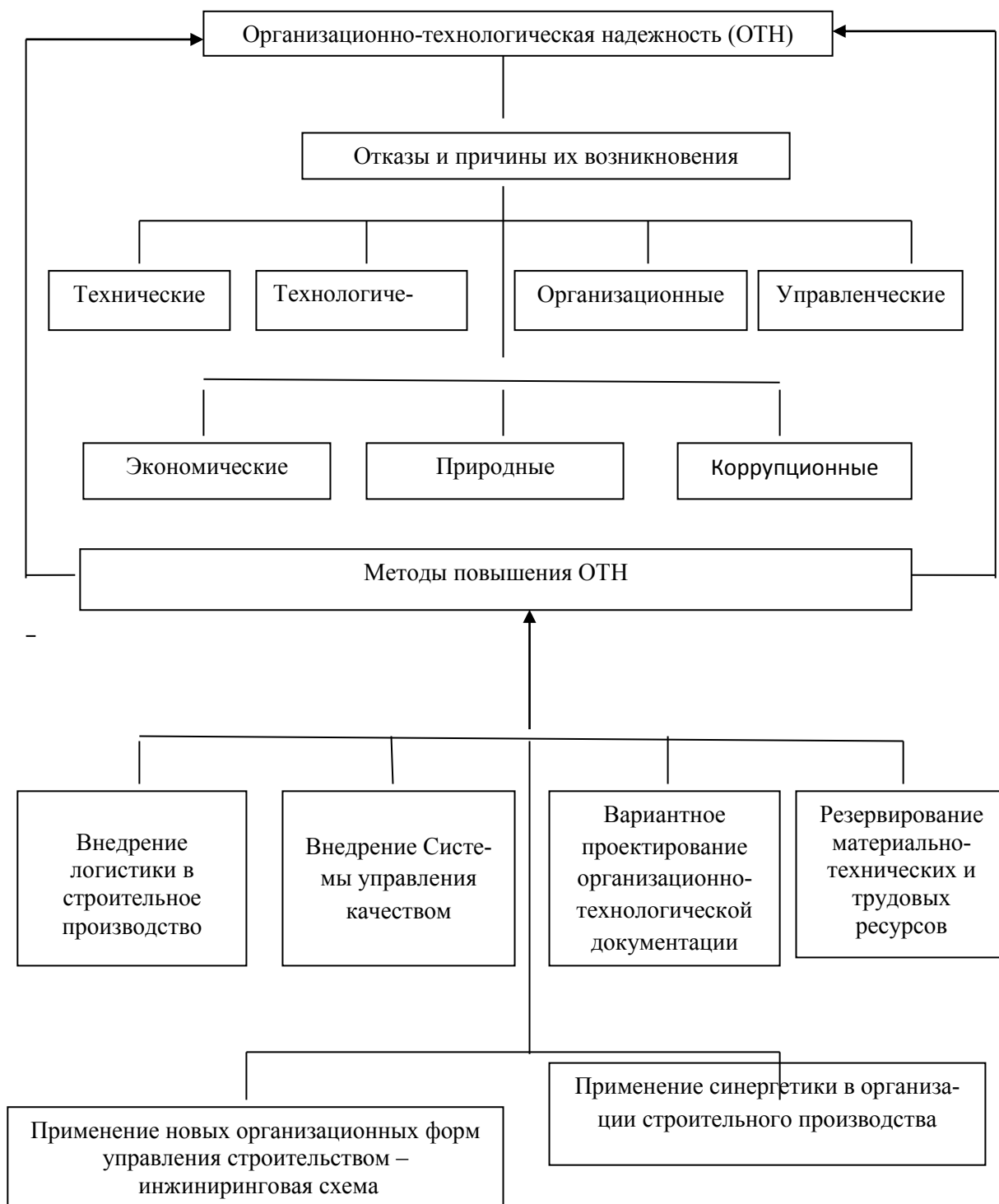


Рис. 7.2. Схема повышения организационно технологической надежности

Из перечисленных выше задач логистики, видно, что ее применение позволяет уменьшить вероятность появления части причин возникновения технических, организационных и управленческих отказов. Таких, как низкое качество материалов, деталей конструкций, несвоевременное обеспечение проектной документацией, отсутствие материалов, изделий, конструкций или полуфабрикатов, отсутствие необходимых ресурсов или нарушение сроков их поставки.

Внедрение системы управления качеством позволит уменьшить потенциальные отказы по причине устранения брака, переделке некачественно выполненных работ, отсутствие заинтересованности рабочих и ИТР в своевременном и качественном выполнении работ.

Резервирование, как одно из направлений повышения надежности в организации строительного производства связано с созданием резервов материальных, технических, финансовых и трудовых ресурсов. Это направление напрямую связано с внедрением логистики в строительное производство. Как и прежде резервирование трудовых ресурсов является весьма затруднительным, так как в стране отсутствуют в достаточном количестве высококвалифицированные рабочие строители, а зарубежные трудовые ресурсы возможно использовать только для неквалифицированного труда. Необходимо также отметить, что при поиске резервирования временных показателей организационно-технологической надежности при разработке календарных планов мы почему-то забываем о трехквартальном узаконенном резерве, который заложен во многих договорах подряда. Окончание строительства во многих договорах подряда обозначается кварталом – имеющего продолжительность 90 суток. При этом мы упорно разыскиваем и рассчитываем резервы в отдельных взятых работах строительства объектов.

Вариантное проектирование является актуальным в условиях минимального количества резервов, оно создаёт условия высокой организационно-технологической надежности получения строительной продукции.

В настоящее время получило еще одно направления повышение надежности строительного производства – это управление рисками.

Экономическую оценку эффективности повышения организационно-технологической надежности строительства (ликвидации отказов) можно осуществить сравнением затрат на выполнение такого мероприятия и эффекта от него [86]:

$$k_3 = C_{пр.о}/C_m \quad (7.3)$$

где  $k_3$  – коэффициент экономической эффективности от мероприятий по повышению надежности (ликвидации отказа);

$C_{от}$  – стоимость предотвращенного ущерба от устранимого отказа и полученной строительной продукции за период отказа;

$C_m$  – затраты, на ликвидацию причины возникновения отказа или ее уменьшению влияния.

Определение минимум математического ожидания затрат, связанных с возможными отказами в период строительства ( $R$ ) можно произвести по методике приведенной [95]:

$$R = C + Q(t) \cdot C_m \quad (7.4)$$

где  $C$  – сметная стоимость объекта;

$Q(t)$  – вероятность возникновения ущерба от возможного отказа;  $C_m$  – затраты вызванные на ликвидацию причин возникновения отказа;

Стоимость устранения последствий отказа ( $C_{ус}$ ) с учетом вероятностей событий определяется:

$$C_{ус} = P_v \cdot C_{л.о.} + C_{с.п.}(t) \quad (7.5)$$

где  $P_v$  – вероятность возникновения отказа;

$C_{л.о.}$  – затраты на ликвидацию отказа;

$C_{с.п.}(t)$  – стоимость возможно произведенной продукции за время отказа.

Таким образом, основными направлениями повышения организационно-технологической надежности строительства можно отнести:

- развитие и совершенствование территориальной и фирменной нормативной базы;
- внедрение логистики в строительное производство;
- совершенствование системы управления (менеджмента) качества в строительстве;
- вариантное проектирование организационно-технологической документации.

## **ГЛАВА 8 ИНВЕСТИЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РЫНОК ЖИЛОЙ НЕДВИЖИМОСТИ В КОНТЕКСТЕ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ**

Строительство – это одна из ключевых отраслей, решающих не только социальные проблемы, но и развивающих промышленность, поскольку эксплуатация производственных фондов не только ограничена по времени, но зачастую просто невозможна в связи с появлением новых производственных технологий.

В разделе монографии освещаются актуальные вопросы управления инвестиционно–строительной деятельностью, оказывающие непосредственное воздействие на эффективность использования инвестиционных ресурсов строительными организациями, влияющие на устойчивость развития строительных предприятий.

В связи со значительным усложнением инвестиционного процесса растёт объективная необходимость в развитии правовых, экономических и социальных отношений, формирующих инвестиционную инфраструктуру. При этом организация современной инвестиционной инфраструктуры требует от региональных органов власти эффективных механизмов управленческих взаимодействий и поддержки в соответствии с приоритетами региональной экономики.

В настоящее время становится очевидным, что необходимо во взаимной увязке проводить решение инвестиционных и земельных проблем, при этом инвестиционная политика должна заключаться в стимулировании инвестиционного процесса на основе совершенствования земельно–имущественных отношений.

### **8.1 Концептуальные основы инвестиционного обеспечения устойчивого экономического развития регионального строительного комплекса**

Строительная отрасль выполняет функцию макроэкономического индикатора будущих изменений и перспектив, поскольку ускоренные темпы её развития служат признаком изменения к лучшему ситуации, сложившейся в стране. Кроме того, строительной отрасли принадлежит особая роль в стабилизации и улучшении социально–экономического положения региона, потому что на региональном уровне реализуются различные инвестиционно–строительные программы и проекты с учётом общегосударственных и региональных интересов.

В основе стратегии управления устойчивым развитием экономики инвестиционно–строительного комплекса лежит оптимальное взаимосогласование методов отраслевого и территориального управления инвестиционно–строительным комплексом, а также рациональное сочетание саморегулирования, рыночных и государственных рычагов регулирования экономических отношений, как это показано на рисунке 8.1.

Впервые вопросы устойчивости применительно к экономическим проблемам возникли в теоретических работах, исследующих рыночное равновесие в условиях совершенной конкуренции (Л. Вальрас, П. Самуэльсон, Дж.Р. Хикс и др.). В них достаточно глубоко исследованы вопросы устойчивости рынка с технической стороны, то есть по отношению к экономическим процессам, а не экономическим системам. Дальнейшее развитие вопросы экономической устойчивости получили в рамках становления теории организации, интерпретации последней как целостной системы отношений и соответствующей организационной устойчивости («количественной» и «структурной» устойчивости в терминологии А.А. Богданова). В этих трудах были детально разработаны соотношения между устойчивостью систем разного уровня, обосновано, что устойчи-

вость системы определяется в большей степени устойчивостью структурных связей, нежели элементов, впервые были поставлены вопросы управления устойчивостью организации.



Рис. 8.1. Взаимосвязь отраслевых и территориальных аспектов в обеспечении устойчивости регионального строительного комплекса

Проблемы устойчивости сложных динамических систем изучаются в рамках синергетики (И.Р. Пригожин, Г. Хакен), где устойчивость экономической системы становится важнейшим фактором её динамики. Синергетика показала, что экономические системы, находящиеся вдали от области равновесия, требуют более тонких, косвенных методов управления, отличающихся граничными эффектами, близкими к институциональному регулированию.

Современные тенденции в теории экономической устойчивости закладываются неоинституционализмом, полагающим, что роль институтов заключается в уменьшении неопределённости путем установления устойчивой (но не обязательно эффективной) структуры взаимодействий между экономическими агентами. Причем, по мнению В.А. Мау, именно институциональная среда создает основы устойчивости экономиче-

ского роста, откуда, на наш взгляд, следует вывод об институциональных корнях экономической устойчивости применительно к хозяйственной системе любого уровня. Подобный подход позволяет оценить и место теории экономической устойчивости в развитии неoinституционализма: стабильность экономических институтов может являться важнейшим фактором экономической динамики, как и фактором устойчивости экономического развития [9; 52].

Понятие устойчивости было заимствовано экономической наукой в теории систем, когда экономические объекты стали рассматриваться как сложные и разнообразные хозяйственные системы, и в настоящее время теория экономической устойчивости находится на этапе формирования и не имеет законченной формы.

В системном анализе и синтезе устойчивость используется в комплексе интегральных характеристик сложного объекта, отражающих его взаимодействие со средой, внутреннюю структуру и поведение, и является одним из первичных качеств любой системы. В общем смысле, под устойчивостью понимается способность системы сохранять некоторое её свойство по отношению к возмущению или неопределенности некоторых параметров самой системы или внешней среды [52].

Устойчивое развитие является понятием многогранным, поскольку его связывают с приоритетами будущих поколений, экономическим ростом. В связи с этим, хозяйственные решения, основанные на принципах устойчивого развития, должны быть технологически реализуемыми, экономически возможными, социально желаемыми и экологически безопасными.

Устойчивость, являясь важнейшей характеристикой экономической деятельности в рыночных условиях, помимо качества, способствующего выживанию и функционированию производственно-экономической системы в кризисных условиях, обеспечивает ей преимущества в привлечении инвестиций, квалифицированных кадров, кредитов. Экономическая устойчивость строительного комплекса, как производственной и социально-экономической системы, отражает степень безопасности делового сотрудничества с инвесторами, заказчиками, предприятиями, её образующими, поскольку способствует стабильности осуществления своих основных функций и выполнению обязательств в условиях изменяющейся внутренней и внешней среды. Экономическая устойчивость строительного комплекса как производственно-экономической системы также тесно связана с его конкурентоспособностью.

Основными направлениями устойчивого развития являются:

- повышение эффективности производства;
- оптимизация интересов субъектов рынка, ведущая к сохранению их рыночных позиций;
- гармонизация социальных интересов, предотвращающая социальные конфликты.

Развитие теории и практики управления строительным комплексом должно опираться на принципы системного подхода к производственно-экономическому развитию и методы управленческой деятельности, отвечающие современным рыночным реалиям. Основными характеристиками такого специализированного территориально-отраслевого образования как региональный строительный комплекс являются общность экономического назначения производимой продукции и услуг, однородность потребляемого сырья, материалов и энергии, а также общность технической базы и технологических процессов, особый профессиональный состав кадров и специфические условия труда. Продукция отрасли регионального строительного комплекса, в свою очередь, дифференцирована по видам, соответственно по различным строительным производствам (например, промышленное, жилищное, специальное и др. строительство).

В территориальном разрезе устойчивость зависит от возможностей территории создавать благоприятные условия для эффективного развития её субъектов. Известно,

что в строительстве особенно велики транзакционные издержки в период оформления территории застройки. В их числе: время, потраченное на согласование проектов на разных уровнях, определение территории застройки, поиск сведений о заказчиках, рисках проекта и т.д. В рамках территориального планирования в регионе должны решаться задачи четкого разграничения земель федерального и регионального значения, определяться места под сельскохозяйственные угодья, а также земли под строительство.

Анализ трудов многих ученых позволил выделить факторы устойчивого развития строительного комплекса, среди которых основными являются объём строительной продукции; сырьевое и ресурсное обеспечение; уровень развития технологии производства; структура отрасли; степень использования основного и оборотного капитала, трудовых ресурсов и т.д. Определяя развитие других отраслей, строительство в то же время во многом зависит от них, в частности от промышленности строительных материалов, строительного и транспортного машиностроения, электроэнергетики. Таким образом, значительная часть проблем и задач, связанных с развитием и устойчивостью строительства, носит межотраслевой характер [52].

Устойчивое развитие обеспечивает значительную прибыль строительных предприятий, поскольку устойчивость позволяет сокращать транзакционные издержки, а также сказывается на привлекательности предприятия для потенциальных инвесторов. Стабильно работающее предприятие также составляет налогооблагаемую базу для формирования бюджетов региона, государства. Потому перспективы экономического роста в регионе в значительной степени связаны с усилением инвестиционной активности. В настоящее время становится очевидным, что необходимо во взаимной увязке проводить решение инвестиционных и земельных проблем.

Безусловно, без содействия государства в становлении рынка земли и прочей недвижимости, а также в развитии института ипотеки, решить эти проблемы невозможно. Высока роль государства и в стимулировании инновационно–инвестиционных мотиваций через создание соответствующей законодательной базы, страхования инвестиций, снижения налогового бремени на предприятия и т.п.

В связи со значительным усложнением инвестиционного процесса растёт объективная необходимость в развитии, формирующих инвестиционную инфраструктуру, правовых, экономических и социальных отношений. Состояние и развитие инвестиционной инфраструктуры фактически характеризует возможности строительных предприятий по стабильному развитию в перспективе.

Инвестиционная инфраструктура состоит, прежде всего, из:

- социальной инфраструктуры, фактически обуславливающей пропорции развития кадровых ресурсов;
- кредитно–финансовой инфраструктуры, охватывающей финансовые институты, имеющие прямое или косвенное отношение к прямому инвестированию предпринимательской деятельности в строительстве;
- информационно–коммуникационной инфраструктуры, отражающей совокупность информационных систем, сетей связи, управления информационными потоками;
- институционально–правовой инфраструктуры, устанавливающей нормы и правила поведения взаимодействия предпринимательских, государственных и общественных структур в инвестиционном процессе, позволяющие создавать такой внутренний правопорядок, при котором субъекты инвестиционной деятельности могли развиваться в оптимальных возможностях.

При этом организация современной инвестиционной инфраструктуры, адекватной развитию строительной отрасли, требует от региональных органов власти эффективных механизмов управленческих взаимодействий и поддержки в соответствии со стратегическими целями и приоритетами региональной экономики путём рационального соче-

тания экономических, правовых и административно–хозяйственных способов, рычагов и методов воздействия.

Большая доля инвестиций приходится на жилищно–строительный комплекс, что обуславливает огромную роль строительства в создании условий для динамического развития экономики в целом. Основным ограничителем развития жилищного строительства является недостаточная развитость инвестиционных процессов, которое следует устранять на законодательном уровне.

Анализ жилищного строительства в Амурской области за последние годы показывает, что финансирование осуществлялось в основном за счёт собственных и заёмных средств граждан, а также банковских кредитов, полученных заказчиками–застройщиками. В связи с этим наблюдается слабое использование инновационного потенциала и возможностей совершенствования технологической базы строительной отрасли и сопутствующих сфер, а также высокая степень износа основных фондов и т.д.

Понятие инвестиционной деятельности теснейшим образом связано с инвестиционной привлекательностью предприятия. Следует отметить, что вопросы инвестиционной привлекательности стран, регионов, хозяйствующих субъектов нашли достаточно широкое отражение в отечественной и зарубежной экономической науке, в работах таких учёных как Бланк И.А., Гитман Дж., Глазьев С.Ю., Лившиц В.Н., Шарп У., Шеремет В.В., Ясин Е.Г. и др.

Существует множество определений инвестиционной привлекательности, но в целом общее понимание сущности исследуемой категории состоит в том, что инвестиционная привлекательность предприятия – это экономическая характеристика целесообразности инвестирования за счёт собственных средств и средств других инвесторов с точки зрения рентабельности, минимизации риска вложения инвестиций.

При этом инвестиционная активность организации – более широкое понятие. Это такая характеристика деятельности организации, которая предполагает, что субъект хозяйствования является не только экономически устойчивым, обладающим значительным потенциалом развития, но и владеет значительным размером свободных средств, эффективно инвестируемых. Более широкая дефиниция – «деловая активность», предполагающая экономическую устойчивость организации, высокую скорость совершаемых операций, значительный уровень рентабельности, обладание определённым сегментом рынка [18].

Инвестиционная активность предприятия подразумевает деятельность, направленную на сохранение или рост рыночной стоимости предприятия. Особенности методики анализа инвестиционной активности строительной организации состоят в следующем. На первом этапе проводятся подготовка информационной основы, её обработка, предварительный анализ. Осуществляется оценка внешней среды, факторов, определяющих инвестиционную активность, анализ рынка и т.д. На втором этапе проводится детальный анализ оборотного капитала организации и источников его формирования, определяется оптимальная величина капитала с учётом стадии развития организации. Третий этап включает в себя анализ финансового потенциала и экономической устойчивости. Анализируются элементы потенциала и виды экономической устойчивости: финансовая, имущественная, организационная и т.д. Четвёртый этап ориентирован на анализ инвестиционных операций, их эффективность и, если организация имеет инвестиционный портфель, то на его оценку [18].

Для того чтобы инвестиции привели к получению положительного результата, необходимо постоянно контролировать выполнение всех работ в рамках проекта, следить за использованием средств, получать информацию о состоянии дел по тем объектам, которые строятся в рамках выполнения инвестиционной программы. Актуальность управления инвестициями обусловлена, в первую очередь, масштабом инвестиций: чем

больше масштаб, тем выше вероятность неэффективного использования ресурсов и цена неправильных решений.

Управление инвестиционно–строительной деятельностью значительно отличается от процессов управления другими видами деятельности. Это объясняется многообразием сооружаемых объектов, единичным типом строительной продукции, значительной продолжительностью сооружения отдельных зданий, многочисленностью участников создания готовой продукции, множеством способов организации производства, влиянием природно–климатических условий и др. [50].

Учёт вышеперечисленных особенностей строительства является необходимым условием предпочтения тех или иных методов управления развитием строительного предприятия. В рамках управления инвестиционно–строительной деятельностью решаются следующие задачи, влияющие на эффективность использования инвестиционных ресурсов строительными организациями:

- контроль исполнения управленческих решений в области инвестиционной деятельности;
- обеспечение инвестиционной стратегии;
- планирование инвестиционных ресурсов;
- анализ хода реализации инвестиционных проектов;
- контроль отклонения фактических результатов инвестиционной деятельности от предусмотренных инвестиционных планов;
- оперативное получение информации, что влияет на повышение качества и эффективность управления инвестиционной программой в целом и отдельными инвестиционными проектами;
- формирование портфеля инвестиционных программ, планирование инвестиционных ресурсов;
- управление материально–техническим обеспечением объектов строительства;
- управление финансово–договорным обеспечением объектов строительства.

На процессы инвестирования оказывают влияние множество факторов, обусловленных спецификой сфер инвестирования и субъектным составом инвестиционных отношений. Эффективная инвестиционная деятельность возможна при надлежащей организации взаимодействия между её субъектами. Эффективность инвестиционного проекта – мера целесообразности, отражающая соответствие проекта целям и интересам его участников. Для того чтобы инвестор сделал окончательный вывод о приемлемости разработанного инвестиционного проекта необходим комплексный анализ финансовых и нефинансовых показателей. Основные индикаторы системы показателей оценки эффективности инвестиционного проекта представлены на рисунке 8.2.

Инвестиции в строительство объектов жизненно необходимы, но и само строительное производство должно становиться инновационным, поскольку существует большая взаимосвязь инвестиций и инноваций. К инновациям в строительстве можно отнести технологии и строительные материалы, связанные с энергосбережением, использованием вторичного сырья и техногенных отходов.

Следовательно, если говорить об инновациях в жилищном строительстве в Амурской области, то можно перечислить инновации, используемые в крупных инвестиционных проектах:

- сборно–монолитное каркасное домостроение (многоэтажные жилые дома, возводимые многочисленными компаниями г. Благовещенска);
- использование технологии несъёмной опалубки (использование технологии устройства монолитного ж/б перекрытия по металлическому профилированному листу в качестве несъёмной опалубки);



Рис. 8.2. Основные индикаторы системы показателей оценки эффективности инвестиционного проекта

- улучшение качества бетона за счёт различного рода добавок, улучшающих его конструкционные свойства;
- внедрение различных новых материалов (композиционных материалов, пластиков и др.);
- развитие когенерационных схем энергоснабжения (совместная выработка электро- и тепловой энергии и преобразование электрической энергии в тепловую) и т.д.

В успешных организациях Амурской области сейчас происходят изменения, связанные с внедрением инноваций:

- организационно-кадровых инноваций, которые включают корректировку организационной стратегии, перестройку и оптимизацию организационной структуры управления;
- продуктовых инноваций, то есть переход к применению экономичных современных материалов и ресурсосберегающих технологий;

– финансовых инноваций, которые включают поиск новых источников финансирования, разработку новых финансовых схем, снижение накладных расходов и т.д.[51].

По мнению Г.Н. Макаровой [56], основная ответственность за обеспечение соответствия отрасли запросам обновления российской экономики возлагается на государство, поскольку оно «задает правила игры для всех». С развитием рыночных отношений и повышением степени их зрелости изменяется соотношение государственного регулирования и саморегулирования в инвестиционной сфере, динамично развиваются формы и методы государственного регулирования инвестиций.

Важным направлением совершенствования государственного регулирования инвестиционной деятельности является разработка комплекса адекватных инвестиционной концепции принципов, методов и механизма государственной поддержки инвестиционной деятельности.

На рисунке 8.3 схематично показан механизм государственной поддержки инвестиционной деятельности.



Рис. 8.3. Механизм государственной поддержки инвестиционной деятельности

Из-за нереальности выполнения за счёт бюджетного финансирования намечаемых инвестиционных проектов, в настоящее время актуально привлечение финансовых, материальных, кадровых и других ресурсов частного сектора к решению задач социально-экономического развития. Одним из инструментов достижения целевых параметров региональной экономики является механизм государственно-частного партнёрства. Особо значимые проблемы, которые находят совместное решение бизнесом и государством – это ограниченность доступа отдельных субъектов предпринимательства к ресурсам, наличие административных барьеров, недостаточная информационная прозрачность органов государственной власти и т.д.

Государственно-частное партнёрство (ГЧП) – это объединение усилий государства, строительных компаний, финансово-кредитных институтов и иных участников для достижения целей социально-экономического развития и формирования благоприятного инвестиционного климата, органично соотносящих государственное регулирование экономики и рыночных механизмов.

Законодательство Российской Федерации о ГЧП строится на положениях Конституции Российской Федерации, Гражданского кодекса Российской Федерации, Земельного кодекса Российской Федерации, Федерального закона N 224-ФЗ «О государственно-частном партнерстве, муниципально-частном партнерстве в Российской Федерации и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и других федеральных законов и нормативно-правовых актов.

Согласно закона № 224-ФЗ основные признаки ГЧП: долгосрочный характер партнёрства (более 3 лет); распределение рисков и ответственности между партнёрами; полное или частичное финансирование создания объекта общественной инфраструктуры частным партнёром, что отличает проект ГЧП от государственного заказа.

В рамках реструктурирования экономики и строительной отрасли возможны такие формы ГЧП, как концессии, контракты, лизинг и совместные предприятия. В зависимости от стадии жизненного цикла национальной экономики область применения рассматриваемых механизмов изменяется, существенно сокращаясь на этапе роста и расширяясь в кризисные фазы развития [23].

Проекты ГЧП, реализующиеся в форме инвестиционно-строительных проектов, являются наиболее сложными, и достаточно сильно отличаются от инвестиционно-строительных проектов с использованием традиционных механизмов. Самым важным отличием является то, что после завершения строительства коммерческий партнёр-подрядчик, привлекается к эксплуатации построенного объекта с целью оказания согласованных в контракте общественных услуг. Соглашением о ГЧП могут быть охвачены проекты в большинстве отраслей: социальная, коммунальная, транспортная инфраструктуры, энергетика, мелиоративные системы и т.д. Основными принципами реализации данных проектов должна быть социальная направленность и инвестиционная привлекательность.

Государство берёт на себя ответственность за обеспечение благоприятной макроэкономической среды на весь срок партнёрства, достигающий иногда в инвестиционно-строительных проектах нескольких десятков лет. Кроме того, государство также ответственно за обеспечение получения коммерческой прибыли частным партнером и контроль его деятельности. При этом необходима прозрачность финансовых потоков при реализации проектов ГЧП, а также оценка эффективности проектов ГЧП, которая включает финансовую эффективность, так и социально-экономический эффект.

Немаловажным является решение вопросов, касающихся совершенствования инфраструктуры инновационной системы, а именно технополисов, технико-внедренческих экономических зон, региональных и отраслевых фондов поддержки инновационной деятельности и др. [87].

Одним из проявлений государственного участия в инвестиционно-строительной сфере являются меры государственной поддержки строительства доступного жилья, осуществляемого жилищно-строительными кооперативами.

Амурская область занимает около 6 % территории Дальневосточного федерального округа, на которой проживает 13 % населения и производится 9% ВРП. В настоящее время в Амурской области продолжается процесс преобразований в экономике, социальной сфере и сфере управления.

С целью повышения инвестиционной активности, на территории Амурской области сформирована соответствующая законодательная база, создана система государственной поддержки, которая сконцентрирована на развитии экономики, ипотечного кредитования, предпринимательства, аграрного сектора, машиностроительного комплекса.

В Стратегии социально-экономического развития Амурской области на период до 2025 года, утвержденной постановлением Правительства Амурской области от 13.07.2012 № 380, поставлены основные стратегические цели социально-экономического развития Амурской области [98].

Целями Стратегии являются:

- замедление и преодоление негативных демографических тенденций;
- повышение реальных денежных доходов населения;
- достижение средне российского уровня обеспеченности населения области жильём;
- формирование в Амурской области основной сельскохозяйственной базы для обеспечения продовольственной безопасности Дальнего Востока;
- формирование диверсифицированной структуры экономики с высоким уровнем добавленной стоимости;
- опережающее развитие инфраструктуры для обеспечения ускоренного социально-экономического развития и другие.

В Амурской области в целях государственной поддержки инвестиционной деятельности в регионе предусмотрены следующие формы и методы: проведение экспертизы инвестиционных проектов; предоставление льгот по налогам и сборам, субсидий, инвестиционного налогового кредита; развитие реального ипотечного кредитования на первичном рынке жилья; использование иных форм и методов государственной поддержки. Государство предоставляет хозяйствующим при реализации инвестиционного проекта получить различные формы государственной поддержки. Среди них – субсидирование:

- части затрат на уплату процентов по кредитам, полученным на реализацию инвестиционных и инновационных проектов;
- части процентной ставки по кредитам, полученным юридическими лицами, осуществляющими деятельность на территории Амурской области;
- части затрат на строительство жилья;
- части затрат на удешевление промышленной продукции;
- налоговые льготы и др.

Достижение намеченного результата планируется через модернизацию предприятий на инновационной основе и создание высокотехнологичных производств. Добиться выполнения целей стратегии позволит также увеличение производительности труда, оказание государственной поддержки предприятиям машиностроительного комплекса, повышение конкурентоспособности машиностроительной продукции на основе использования новых технологий.

Формирование интегрированных структур с участием государства позволит:

- выявить потенциал аккумуляции ресурсов для проведения научно-

изыскательских работ, разработки новых технологий;

- укрепить связи в рамках инвестиционно–строительного комплекса;
- проводить в смежных производствах единую техническую и инвестиционную политику, финансирование длительных производственных и исследовательских циклов;
- сформировать более точную стратегическую ориентацию развития участников, а также уменьшить риски различного рода;
- интенсивно обновлять активную часть основных фондов, используемых в строительном производстве и т.д.[25].

К сожалению, стимулируя развитие ГЧП в стране, государство сталкивается с отдельными проблемами, среди которых:

- сложность соединения коммерческой мотивации частного сектора с потребностями общественных организаций, поскольку ключевыми понятиями частного сектора являются удовлетворение потребителя, получение прибыли, а государственного сектора – ответственность, контролируемость;
- рациональность и приемлемость для сторон распределения риска;
- адекватность оценки проектов длительностью свыше 20 лет и т.д.

В целом, инвестиционная политика региона связана с формированием благоприятных экономических, политических, социальных и иных условий, то есть созданием инвестиционного климата, создающего новые возможности и стимулы для эффективного вложения капитала [47].

В настоящее время нередко возникают ситуации, когда особое значение приобретает не увеличение объёма инвестиционных ресурсов, а преодоление деформаций в инвестиционной инфраструктуре, которую следует и дальше развивать, ориентируясь на мобилизацию и выбор направлений наиболее эффективного распределения и применения инвестиций, а также на сочетание интересов всех заинтересованных участников инвестиционного процесса. Результаты анализа инвестиционной активности и инвестиционной привлекательности строительной организации и адекватный механизм управления создают основу повышения эффективности использования инвестиций.

Итак, в основе стратегии управления устойчивым развитием экономики инвестиционно–строительного комплекса лежит оптимальное взаимосогласование методов отраслевого и территориального управления инвестиционно–строительным комплексом, а также рациональное сочетание саморегулирования, рыночных и государственных рычагов регулирования ресурсно–эколого–экономических отношений.

Кроме того, для обеспечения устойчивости инвестиционно–строительного комплекса инвестиционная политика региона должна реализовываться на основе совершенствования земельно–имущественных отношений. В настоящее время становится очевидным, что необходимо во взаимной увязке проводить решение инвестиционных и земельных проблем. Безусловно, без содействия государства в становлении рынка земли и прочей недвижимости, а также в развитии института ипотеки, решить эти проблемы невозможно. Высока роль государства и в стимулировании инновационно–инвестиционных мотиваций через создание соответствующей законодательной базы, страхования инвестиций, снижения налогового бремени на предприятия и т.п.

## **8.2 Влияние строительного рынка на рынок жилой недвижимости в свете эффективного использования земельных ресурсов**

Рынок жилищной недвижимости – это сектор национальной рыночной экономики, представляющий сложную взаимосвязанную структуру, которая охватывает комплекс механизмов по формированию и перераспределению объектов жилищного фонда

и жилищных услуг в условиях конкуренции с использованием различных финансовых инструментов.

Рынок жилищной недвижимости в силу сложной инфраструктуры, показанной на рисунке 2.4 и многообразия институтов и инструментов развития является генератором мультипликативных процессов в современной экономике.

Исследования показали, что рынок жилищной недвижимости имеет специфические особенности: несовершенная конкуренция, территориальная локализация, высокая эластичность по цене и доходу, цикличность развития, взаимосвязь рынка с процессами в инвестиционно–строительном комплексе и др. Рынок жилищной недвижимости классифицируется по признаку статуса продавца на первичный и вторичный, т.е. первичный – это по сути, часть строительного рынка, и его экономическими субъектами становятся субъекты строительного рынка.



Рис. 8.4. Основные субъекты инфраструктуры на рынке жилищной недвижимости

Основные задачи на региональном первичном рынке жилищной недвижимости состоят в повышении общего объема ввода жилья, в позитивных изменениях в структуре региональной жилищной сферы, а также в росте предложения на рынке недвижимости в соответствии с потенциальным спросом [54].

В современных социально–экономических условиях решение жилищной пробле-

мы осуществляется на основе рыночного механизма. В плане обеспечения поступательного развития жилищного рынка необходимо сбалансированное формирование всех источников финансирования, в структуру которых вовлечены ресурсы государства, институциональных инвесторов, средства финансово-кредитных учреждений, сбережения населения.

Процесс развития регионального рынка жилищной недвижимости обеспечивается, в первую очередь, за счёт активизации деятельности государства по созданию правовой и институциональной базы рынка жилищной недвижимости. Вместе с тем, негативно на развитии регионального рынка жилищной недвижимости сказывается устойчивое сокращение уровня платёжеспособного спроса населения на приобретение жилья. По причине невозможности приобретения населением с помощью собственных средств жилья, выявляется необходимость использования заёмных средств [46].

Одним из источников является ипотечное жилищное кредитование, и в настоящее время главными ограничителями его развития становятся:

- низкий уровень доходов основной массы населения;
- глубокий разрыв в доходах социальной верхушки и абсолютного большинства населения;
- отсутствие развёрнутой системы социальной аренды жилья;
- высокий уровень инфляции и неэффективность используемых государством мер её нейтрализации;
- высокие транзакционные издержки и проценты по кредиту;
- неразвитость альтернативных форм жилищного кредитования, в частности строительных сберкасс и жилищно-строительных кооперативов [46].

Обеспеченность жильём определяется степенью его доступности. На сегодняшний день существуют две основные концепции решения проблемы доступности жилья:

–с минимальным вмешательством государства и решением проблемы обеспечения жильём за счёт рыночных механизмов, доходов граждан и финансовых инструментов;

–государство, в той или иной мере, берёт на себя обязанность обеспечения граждан крышей над головой.

Следует отметить, что обеспечение доступности жилья должно достигаться оптимальным соотношением рыночного механизма и государственного вмешательства. В качестве возможной институциональной стратегии можно выделить обеспечение жильём среднего класса граждан за счёт собственных средств, но по доступным ценам. В этом случае стратегически видится создание новых институтов, контролирующих на государственном уровне доступные цены и категории граждан-участников нового института, а также создающих условия осуществления строительства жилья по доступным ценам с помощью социально ориентированной жилищной политики государства.

Уровень доступности жилья зависит от цен на рынке жилья и семейных доходов, на которые, в свою очередь, оказывают влияние различные факторы (табл. 8.1) [57].

Для проявления положительных тенденций в отрасли жилищного строительства необходимо совершенствование механизмов привлечения инвестиций; внедрение в отрасль эффективных инновационных технологий; обеспечение повышения качества и конкурентоспособности строительной продукции, строительных материалов, изделий и конструкций, высоких потребительских характеристик зданий и сооружений, их надёжности, безопасности, комфортности, эксплуатационной экономичности и экологичности [49].

Для этого необходимо развитие института внедрения региональных программ поддержки жилищного строительства, реализация программ экономического и соци-

ального развития, областных и целевых программ, намечаемых инвестиционных вложений в отрасли экономики промышленности, развивающих экономический потенциал региона.

Кроме всего прочего, качество среды жизнедеятельности и формирования личностей граждан, а, следовательно, трудового и интеллектуального потенциала общества зависит от характера проводимой градостроительной политики.

Таблица 8.1

## Классификация факторов, влияющих на доступность жилья

| Группа                                         | Факторы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Факторы домашних хозяйств                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>– численность и структура населения страны (число и структура семей);</li> <li>– уровень среднедушевой жилищной обеспеченности;</li> <li>– среднедушевой доход и ликвидные сбережения.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Факторы предложения на рынке жилья             | <ul style="list-style-type: none"> <li>– объёмы социального (бесплатного) жилья;</li> <li>– объёмы муниципального жилья, реализуемого с помощью субсидий и различных кредитных схем;</li> <li>– объёмы жилья, предоставляемого населению на условиях коммерческого найма;</li> <li>– наличие строительной базы;</li> <li>– стоимость ресурсов;</li> <li>– наличие подходящей под застройку территории;</li> <li>– цены реализации жилья и их дифференциация (по себестоимости, коммерческим ценам);</li> <li>– структура и объёмы жилья, предназначенного для коммерческой реализации.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Политические и финансово-экономические факторы | <ul style="list-style-type: none"> <li>– объём и условия субсидирования и кредитования населения государством для покупки жилья;</li> <li>– объём консолидированных ресурсов, привлечённых бюджетом и финансовой системой для коммерческого кредитования населения и условия их предоставления;</li> <li>– объём бюджетных и внебюджетных средств, привлечённых для реконструкции муниципального жилого фонда;</li> <li>– объём средств частных инвесторов, привлечённых для строительства и реализации коммерческого жилья;</li> <li>– налоги на собственников жилья и их дифференциация, исходя из требований налогового законодательства;</li> <li>– тарифы на оплату жилищно-коммунальных услуг (с дифференциацией по типам жилья и уровню дохода);</li> <li>– политическая, законодательная (в том числе налоговая) стабильность, реструктуризация банковской и финансово-кредитной системы и оценка их влияния на активность операций (населения и инвесторов) на рынке жилья.</li> </ul> |

Степень соответствия характера градостроительной политики действительным потребностям общества на каждом этапе его развития, в свою очередь, зависит от степени обоснованности установленных целей, принципов и средств её проведения.

Градостроительную политику в нашей стране определяют двенадцать основных принципов, приведенных в Градостроительном кодексе РФ [1] в ст.2. Это:

1. Обеспечение устойчивого развития территории на основе территориального планирования и градостроительного зонирования;

2. Обеспечение сбалансированного учёта экологических, экономических, социальных и иных факторов при осуществлении градостроительной политики;
3. Обеспечение инвалидам условий для беспрепятственного доступа к объектам социального и иного назначения;
4. Осуществление строительства на основе документов территориального планирования, правил землепользования и застройки и документации по планировке территории;
5. Участие граждан и их объединений в осуществлении градостроительной деятельности, обеспечение такого участия;
6. Ответственность органов государственной власти Российской Федерации, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления за обеспечение благоприятных условий жизнедеятельности человека;
7. Осуществление градостроительной деятельности с соблюдением требований технических регламентов;
8. Осуществление градостроительной деятельности с соблюдением требований безопасности территорий, инженерно-технических требований, требований гражданской обороны, обеспечением предупреждения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, принятием мер по противодействию террористическим актам;
9. Осуществление градостроительной деятельности с соблюдением требований охраны окружающей среды и экологической безопасности;
10. Осуществление градостроительной деятельности с соблюдением требований сохранения объектов культурного наследия и особо охраняемых природных территорий;
11. Ответственность за нарушение законодательства о градостроительной деятельности;
12. Возмещение вреда, причинённого физическим, юридическим лицам в результате нарушений требований законодательства о градостроительной деятельности, в полном объёме [1].

Количество и разнообразие целей и задач, которые решает градостроительная политика, достаточно много, поэтому важно выделять стратегические цели и задачи. В настоящее время она осуществляется в условиях глобализации мировой экономики, участившихся случаев природных и возросшей вероятности техногенных катастроф, которые в силу развития техники, новых технологий и научно-технического прогресса могут носить как национальный, так и глобальный характер. В то же время повышаются требования к созданию наиболее благоприятных условий жизнедеятельности человека.

Таким образом, на основе анализа принципов градостроительной деятельности можно сделать вывод, что создание наиболее благоприятных условий жизнедеятельности человека и обеспечение безопасности становятся главными стратегическими целями градостроительной политики государства.

В настоящее время становится очевидным, что необходимо во взаимной увязке проводить решение инвестиционных и земельных проблем. Важным вопросом градостроительной политики является механизм формирования цены земли, поскольку эта цена значительно увеличивает затраты на строительство. Потому инвестиционная политика должна заключаться в стимулировании инвестиционного процесса на основе совершенствования земельно-имущественных отношений.

Градостроительный кодекс оставляет определённую свободу органам местного самоуправления в определении того, для какой территории в первую очередь следует разрабатывать правила землепользования, предоставляя возможность принимать их поэтапно для всего города. Однако на практике при низком уровне градостроительной

культуры среди представителей органов власти, плохом состоянии информационной базы градостроительного проектирования степень проработки проектных решений в рамках сочетания земельных и градостроительных требований остаётся весьма слабой.

Амурская область – регион аграрный, и в современных условиях актуально усиление социально–ориентированной направленности политики в целях повышения уровня жизни населения, поскольку обустройство сельских территорий, и в первую очередь, строительство жилья, будет способствовать сохранению привлекательности жизни на селе. Решать эту глобальную задачу нужно комплексно, и в настоящее время невозможно обеспечить социально–экономическое развитие села без чётко обозначенных программ, в том числе региональных. Одной из основных приоритетных задач развития сельских территорий является повышение уровня благоустройства и комфортности проживания на селе, которое включает: активизацию жилищного строительства на селе; развитие социальной инфраструктуры сельских поселений; совершенствование дорожной сети и улучшение транспортного обслуживания [57].

Решение жилищной проблемы в Амурской области неизбежно повысит уровень жизни населения, а также создаст условия для ускоренного социально–экономического развития региона. Конечно, кризис внёс свои коррективы. Рынок стремится в сторону более экономичного и дешёвого жилья. Тем не менее, любой кризис – это скрытые возможности. И эти возможности увеличиваются при реализации инноваций в строительстве.

В настоящее время в сфере земельно–имущественных отношений имеет место следующая ситуация: с одной стороны, свободных земельных участков в крупных городах и их пригородах уже не хватает под строительство и, потому земля, приносящая рентный доход для ограниченного круга инвесторов, чрезвычайно востребована. С другой стороны, земли, преимущественно сельскохозяйственного назначения, не используются по назначению или используются неэффективно, потому что резко сокращаются площади земель, находящиеся в обработке. Земельные участки населённых пунктов, требующие дополнительных и долгосрочных капитальных вложений, не привлекают потенциальных инвесторов и не являются источником пополнения местных бюджетов. Поэтому, для привлечения инвесторов, вкладывающих средства в осуществление строительства на землях населённых пунктов государство вынуждено вкладывать капитальные вложения в благоустройство земли.

Кроме того, существует тенденция точечной застройки городов Амурской области, поскольку для осуществления менее затратного освоения новых земель в первую очередь рассматриваются те земельные участки, выкуп которых на данный момент требует минимальных затрат. Для улучшения облика города и строительства жилых объектов несомненно требуется комплексное развитие территории и более эффективное использование земельных ресурсов городской территории. Для того чтобы эффективно использовать земельные ресурсы, первоначально следует провести подробный анализ земель, которые будут присоединены к территории города, с целью их дифференциации на группы в соответствии и их оценкой. На рисунке 8.5 приведены этапы работ по комплексному освоению территории города. В основном присоединяемыми являются земли сельскохозяйственного назначения, которые наиболее предпочтительны для застройки с точки зрения девелоперов и частных инвесторов. Важен ещё такой факт: чем менее плодородны земельные угодья, тем они более пригодны для градостроительного освоения.

Выполняется анализ земельных ресурсов и составляется их классификация по степени пригодности для градостроительного развития, которая позволит определить земли, пригодные под первоочередное размещение и строительство различных объектов, в том числе жилого назначения, а также подготовить предложения по созданию

банка земель путём их выкупа в муниципальную собственность. Далее разрабатывается градостроительная документация на включенные в границы города территории, а в её составе – проект очередности освоения территории, на базе которого выполняется градостроительное зонирование.

Затем для территории первоочередного освоения разрабатываются проекты планировки и межевания территории, градостроительные планы земельных участков, выставляемых на торги, подготовка торгов. Наконец, проводятся торги, и осуществляется передача управления развитием и использованием земельного участка (землепользованием) инвестору. Все перечисленные управляющие действия следует выполнять на средства из городского бюджета.

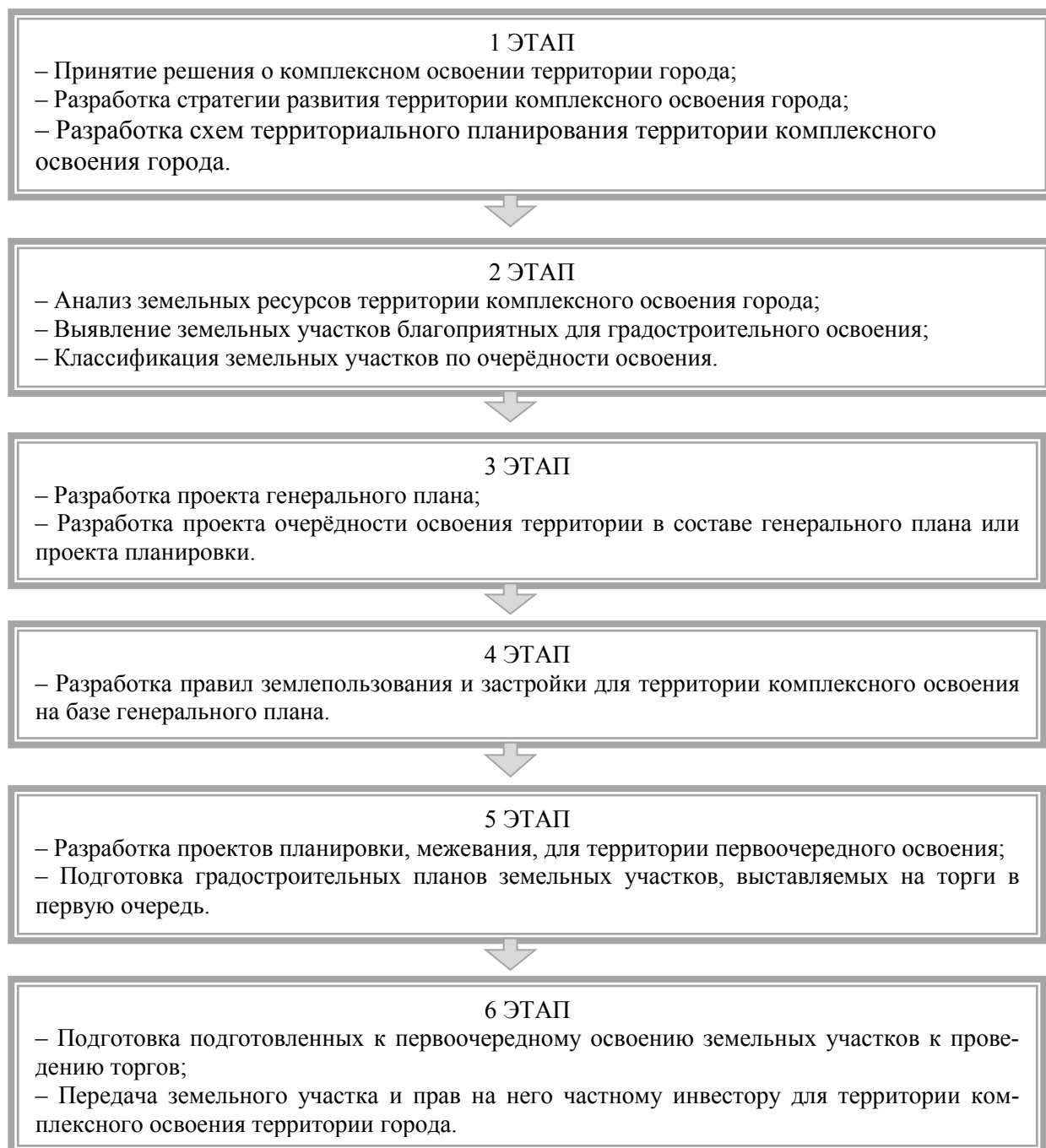


Рис. 8.5. Этапы работ по комплексному освоению территории города

По известной площади земельного участка и установленной структуре жилой застройки по типам домов рассчитывается объём проектируемого на территории земельного участка жилищного фонда. Техничко-экономическое обоснование проекта осуществляется с учётом особенностей осваиваемой территории.

Итак, решение жилищной проблемы и эффективное использование земельных ресурсов в Амурской области неизбежно повысит уровень жизни населения, а также создаст условия для ускоренного социально-экономического развития региона.

Строительная отрасль – одна из ключевых отраслей сферы материального производства, в которой переплетаются и проявляются проблемы экономического и социального развития региона, составляющие основу его экономической и социальной безопасности. Поэтому уровень и тенденции развития строительства во многом определяют успех рыночных преобразований в регионе.

Основными факторами, обуславливающими стратегию в строительной сфере на перспективу, являются: улучшение финансового состояния предприятий; активизация использования кредитных ресурсов в сочетании со снижением стоимости банковских кредитов; увеличение доли бюджетных ресурсов в инвестициях; уменьшение налоговой нагрузки на строительные предприятия; снижение уровня инвестиционных рисков.

На темпы развития строительного комплекса оказывают влияние такие факторы, как объёмы инвестиций в основной капитал в жилищное строительство, реконструкцию и капитальный ремонт, а также в ЖКХ; высокая степень износа основных средств в строительстве и промышленности строительных материалов; расширение ёмкости строительного рынка, дальнейшее развитие стройиндустрии и т.д.

Следует совершенствовать управленческую деятельность в целом в экономике региона, и в строительном комплексе, в частности, что предоставит возможность применять новые методы хозяйствования и выбирать правильные направления развития. Также необходимо совершенствование организационного обеспечения инновационной деятельности в строительстве, которое обусловлено необходимостью ориентации этой деятельности на рынок. Важным фактором эффективного решения социальных вопросов является создание и поддержание высокого уровня квалификации региональных кадров.

Развитие строительного рынка влияет на жилищный рынок, и в современных социально-экономических условиях решение жилищной проблемы осуществляется на основе рыночного механизма. В плане обеспечения поступательного развития жилищного рынка необходимо сбалансированное формирование всех источников финансирования, в структуру которых вовлечены ресурсы государства.

Следует отметить, что обеспечение доступности жилья должно достигаться оптимальным соотношением рыночного механизма и государственного вмешательства, а решение жилищной проблемы и эффективное использование земельных ресурсов будет способствовать решению главной задачи – повышению уровня и качества жизни жителей Амурской области.

## **Глава 9 ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ДОМОВ В АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ**

В настоящее время всем уже стало ясно, что энергетические ресурсы в нашей стране, так же, как и во всем мире – имеют ограничения в потреблении.

Снижение потребления энергии, и в свою очередь энергоносителей стало необходимым и жизненно важным, особенно для будущих поколений.

Таким образом, и необходимость в энергоэффективных домах стало уже несущей потребностью, а не игрой научной и технической мысли архитекторов и строителей.

Анализ существующей ситуации энергосбережения в строительстве получило свое развитие во второй половине прошлого века, после известного энергетического кризиса, который охватил все развитые страны, так как они и нуждались в огромном количестве энергии.

Дефицит энергоресурсов, уменьшение их потерь в зданиях и сооружениях стало важной задачей в области строительства и реконструкции различных объектов, особенно это касается жилищного и общественного сектора. Эта проблема может быть решена разработкой планировочных, конструктивных решений, применением новых строительных материалов, эффективного оборудования и систем энергообеспечения. Энергетически и экономически эффективными, как при строительстве, так и при эксплуатации зданий и сооружений.

Сама по себе идея энергоэффективного дома подразумевает не только экономию энергии при его эксплуатации, но создании комфортабельных условий проживания или работы. В 80-х годах прошлого века была разработана концепция «пассивного дома». Он представляет собой достаточно экономичный объект, оказывающий минимальные вредные воздействия на окружающую среду. При этом предусматривается использование для отопления, имеющиеся собственные (дома), за счет снижения тепловых потерь за счет эффективной теплоизоляции и ликвидации мостиков холода. Важную роль при этом играют интеллектуальные системы отопления и возврат тепла в системах вентиляции с использованием солнечной энергии – освещение. В Германии был разработан стандарт Passivhaus Standard, в котором определены требования к проектированию и строительству таких зданий. После энергетического кризиса 1974 года интерес к жилым домам этого стандарта возрос. На одной из международных энергетических конференций (начало 1980 гг.) участники пришли к выводу, что дома имеют достаточный потенциал для снижения в энергопотреблении, т.е. повышения их энергоэффективности – это и дало импульс к строительству энергоэффективных домов (пассивных, «зданий с нулевым энергопотреблением», «активными зданиям»).

Основной задачей при проектировании строительства пассивного дома является создание герметичной оболочки, при этом необходимо исключить возникновения мостиков холода (мостиков тепла).

К основным принципам проектирования и строительства пассивного дома можно отнести следующие: герметичный теплоизоляционный контур, воздухопроницаемая оболочка, комфортный климат.

Комфортный микроклимат проектируется и создается на основе рациональной приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией (возвращение для повторного использования) тепла. Такая схема позволит нагревать воздух, поступающий с улицы, до поступления в помещение, и принимать участие в создании комфортных условий. Комфортные условия зависят от многих факторов: внутренней температуры помещения; температуры внутренних поверхностей стен помещения, пола; относительной влажности воздуха; скорости движения воздуха в помещении и вида занятий человека.

Существует еще одна концепция энергоэффективных домов. Она базируется на том, что энергоэффективность не должно вредить здоровью человека, а только находится в гармонии с ним и окружающей средой. Этого можно достичь с помощью специальной автоматики, которая позволяет дому самостоятельно управлять собственным микроклиматом без вмешательства человека. Другими словами, это сочетание пассивных технологий и системы «умный дом».

Потребность в энергии в 1 литре жидкого топлива в год для отопления 1 квадратного метра площади. Проект, несмотря на первоначальные сомнения самих же немцев, был успешен, его взяли на вооружения многие страны Европы, и сегодня в мире построено более 40 000 пассивных домов.

Но лидером в строительстве и реконструкции энергоэффективных домов в мире является Дания. Это доказала реконструкция жилых домов 1970-х годов постройки.

Аналогичная концепция под названием «здания с нулевым энергопотреблением» получила развитие в Северной Америке. При этом в ней большее внимание придано к использованию ветровых генераторов, солнечным батареям, но данные дома достаточно дороги для современных технологий. При этом была предложена необходимость проектирования зданий с учетом ориентации фасадов, количества и размеров оконных проемов.

Все проекты энергоэффективных домов должны отвечать главному энергетическому и экономическому критерию – удельному расходу тепловой энергии на отопление 1 м<sup>2</sup> или 1 м<sup>3</sup> здания в холодный период в пересчете на весь год. Исходя из этого критерия дом (здание) относят к тому или иному типу:

- пассивный дом;
- низкого потребления энергии (тепла);
- нулевого потребления;
- активный дом (положительного энергобаланса).

Значения нормативного показателя для пассивного дома не должно превышать 15 кВт·ч/м<sup>2</sup>. При этом общий расход энергии отопительным оборудованием и электроприборами находится в значении до 120 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год. При этом основной особенностью пассивного дома является принципиально иной подход к проектированию и строительству.

Дальнейшим развитием стала система «активного дома», которая предусматривает потребление минимума энергии для собственных нужд, но и отдачу энергии в сети центрального снабжения с получением прибыли, что в наших реалиях представить это достаточно сложно.

Для домов с нулевым и положительным энергетическим показателем характерно:

- наличие смонтированной автономной энергосистемы (инверторный источник и фотогальванические панели);
- подключение к городской электросети, с возможностью «отдавать» ресурс.

Строительство энергосберегающих домов в России. Данные по строительству и проектированию энергосберегающих домов (из Интернета) приведены в таблице 9.1.

Анализируя данные таблицы можно сказать, что, не смотря на целый ряд различных публикаций в средствах массовой информации, множества заявлений строительных и проектных организаций о готовности к проектированию и строительству «под ключ», данные, мягко говоря «не впечатляют». А если говорить о качестве строительно-монтажных работ, то мы еще не готовы к массовому строительству энергосберегающих домов. Это видно по жилищному строительству, строительству объектов федерального значения. Например, при строительстве домов для ветеранов и инвалидов в городе Благовещенске умудрялись оставлять щели между ограждающими конструкциями в 10 мм. Таких примеров множество по всей стране, достаточно посмотреть передачи о переселении из ветхого жилья. Это говорит о том, что необходимо преломить

ситуацию с качеством труда и строительной продукции вообще. Так как, по нашему мнению, не соблюдая строительных технологий, даже при наличии грамотной проектно-сметной документации, такие дома построить достаточно сложно. Это заметно и при индивидуальном строительстве. Тем не менее, к этому стремиться необходимо, это требует от нас и экономическая ситуация, и географическое положение.

Таблица 9.1

Принятые в эксплуатацию, в строительства или проектирования  
(по федеральным округам) 2016 г.

| Округа                              | Построено | В стадии строительства |
|-------------------------------------|-----------|------------------------|
| Центральный федеральный округ       | 14        | 0                      |
| Южный федеральный округ             | 3         | 0                      |
| Дальневосточный федеральный округ   | 12        | 0                      |
| Сибирский федеральный округ         | 17        | 0                      |
| Приволжский федеральный округ       | 4         | 0                      |
| Северо-Кавказский федеральный округ | 14        | 1                      |
| Уральский федеральный округ         | 16        | 0                      |
| Северо-Западный федеральный округ   | 47        | 6                      |
| Всего в Российской Федерации        | 136       | 7                      |

Соблюдая все технологии пассивного дома, в российских климатических условиях сложно добиться значения  $15 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ . В настоящее время нельзя говорить, что в нашей стране строят пассивные дома. Их можно назвать домами с низким потреблением энергии или условно-пассивными. Но будущее в строительстве за энергоэффективными зданиями, которые уже сейчас позволяют собственникам экономить на энергоносителях и создавать комфортные условия проживания, не оказывая негативного влияния на окружающую среду. Это в первую очередь касается индивидуальных застройщиков собственного жилья.

Если сравнить энергосбережение в России и Германии в жилых домах, то сравнение явно не в нашу пользу таблица 9.2 [99].

Таблица 9.2

Расход тепловой энергии по типам зданий в России и Германии

| Индивидуальный жилой дом $140 \text{ м}^2$ общей площади | Годовой расход тепла, кВт, ч/м <sup>3</sup> в год | Удельный расход тепла, Вт ч/м <sup>2</sup> | Расход солянки, л/год |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------|
| <b>Германия</b>                                          |                                                   |                                            |                       |
| Старое строение                                          | 300                                               | 136                                        | 4200                  |
| Типовой дом 70-х гг.                                     | 200                                               | 91                                         | 2800                  |
| Типовой дом 80-х гг.                                     | 150                                               | 68                                         | 2100                  |
| Дом низкого энергопотребления 90-х гг.                   | 0-70                                              | 14-32                                      | 420-980               |
| Дом ультранизкого энергопотребления                      | 30-15                                             | 14-7                                       | 210-420               |
| Современный пассивный дом                                | менее 15                                          | менее 7                                    | 0                     |
| <b>Россия</b>                                            |                                                   |                                            |                       |
| Дома старой постройки (до середины 90-х гг.)             | 600                                               | 125                                        | 8400                  |
| Постройки в соответствии с новым СНиПом по теплотехнике  | 350                                               | 73                                         | 4900                  |
| Дом низкого энергопотребления                            | 60-150                                            | 13-31                                      | 840-2100              |
| Дом ультранизкого энергопотребления                      | 15-60                                             | 3-13                                       | 210-840               |
| Пассивный (теплонулевой) дом                             | менее 15                                          | менее 3                                    | 0                     |

В домах, сданных в эксплуатацию после 2005 года, энергопотребление соответствует немецким зданиям постройки 70-х годов прошлого века. Это связано с тем, что проблемами энергосбережения в СССР, а затем и в России уделялось незначительное внимание, основное направление – снижение капитальных затрат, а затем стоимости 1 м<sup>2</sup>.

При этом существует и другой подход – при строительстве коммерческих зданий (офисных, банковских и др.) заказчики стремятся снизить эксплуатационные затраты, что в свою очередь позволяет окупить дополнительные затраты на энергоэффективность в течение 7-10 лет.

Строительство энергоэффективных домов в Амурской области, как в целом по России находится в начальной стадии. Основным фактором сдерживания внедрения энергосберегающих технологий является то, что стоимость 1 м<sup>2</sup> жилой площади энергоэффективного дома примерно на 10% выше, чем традиционного – которая и так достаточно высокая. Поэтому вкладывать инвестиции в «энергозатратные» дома компаниям выгодно – с точки зрения получения более высокой прибыли. В Амурской области была принята и законодательная база:

Постановление Правительства Амурской области от 30.08.2010 № 471 (ред. от 01.12.2011 № 843) «Об областной программе энергосбережения и повышения энергетической эффективности в Амурской области с 2010 по 2014 год и на период до 2020 года».

На данный момент топливно-энергетический комплекс (ТЭК) России является одним из наиболее устойчиво работающих производственных комплексов экономики. Он активно влияет на состояние и перспективы развития экономики: на его долю приходится 26 % валового внутреннего продукта (ВВП), около 30 % объема промышленного производства, 25 % налоговых доходов консолидированного бюджета и 60 % валютных поступлений в страну. В то же время экономика России носит энергорасточительный характер. Только прямые потери топливно-энергетических ресурсов достигают 25 - 30 %, потребление энергоресурсов превышает аналогичные показатели индустриально развитых стран в промышленности в 3 раза, в жилищно-коммунальном хозяйстве - в 3,5 раза.

Имеется достаточный потенциал для строительства энергосберегающих домов, так в области в 2011 г. было сдано индивидуальных домов 62 281 м<sup>2</sup> общей площади, что составляет 25,9% от всего построенного жилья, в основном это коттеджи в городах и дачных поселках (Чигири, район 5-й стройки, Владимировка и др.). За январь – июль этого года сдано 27 012 м<sup>2</sup> общей площади индивидуального жилья.

Проблеме энергосбережения в строительстве в г. Благовещенске, да и по области в целом решается методом привлечения дешевой рабочей силы (КНР, КНДР, некоторых стран ближнего зарубежья – Киргизия), что сказывается на качестве строительно-монтажных работ (СМР) и в целом по объектам в период их эксплуатации. При этом забываются технологические требования выполнения СМР, и применения теплоизоляционных материалов. Примером неправильного решения применения теплоизоляционных материалов служит бассейн в г. Благовещенске. Здесь в качестве теплоизоляционного материала применили минеральную вату и при плохом качестве гидроизоляции, она – вата, в конце концов «сползла» внутри стены, что стало одной из причин прекращения эксплуатации данного объекта. Этого можно было избежать при качественном выполнении проектных работ, СМР и применении эффективных утеплителей. Но не у проектировщиков, не у строителей никаких сомнений не вызывали применение такого рода утеплителя. Это в некоторой мере объясняется тем, что в те годы «плановой экономики». Основной мотивацией для руководителей строительных организаций бала сдача объектов в «эксплуатации» к определенным праздничным датам. Но и в период рыночной экономики строительные организации города и области отстают, как в качестве СМР, так и в энергосбережении.

В настоящее время в области активно занимаются быстровозводимыми домами, что вызвано объективными причинами – пожарами, освоением «пионерных» районов при развитии горнодобывающей и энергетической отрасли. При этом опять забывают о качестве СМР, что приводит к энергетическим потерям в период эксплуатации. Пример: один из домов для ветеранов и пенсионеров, был сдан в Благовещенске с величинной зазоров в «евроокнах», достигающей 10 мм, это говорит о многом.

В Шимановске началось строительство еще двух домов для переселения людей из ветхого и аварийного жилья. Трехэтажные здания планируют сдать уже через полгода. Всего с начала действия программы новые квартиры получили больше 100 семей. Один из этих домов будет построен по новым технологиям. Будет применяться технология, которая поможет сберегать тепло. Будет использоваться термальное тепло из скважин. Также предусмотрены солнечные батареи. При этом о качестве строительства и других составляющих энергосберегающего дома не упоминается. Из этого можно сделать вывод, что ни проектировщики, ни строители пока еще не понимают, что представляет собой «зеленое строительство».

Энергосбережение является лишь частью более общей и важной концепции – экологического, или так называемого «зеленого» строительства [10].

Тепловая защита зданий не ограничивается экономией энергии, здания должны обеспечить комфортность проживания и здоровый микроклимат в помещениях. Сама комфортность в помещениях зависит от многих факторов, вот только некоторые из них;

- температура воздуха в помещениях, что очень важно для Дальневосточного региона и Сибири;
- температура воздуха поверхностей ограждающих конструкций помещений;
- относительной влажности в помещениях;
- функционального назначения зданий и сооружений.

Немного о теплоизоляции зданий. Так около 70% (по Бадьину Г.М.) всех тепловых потерь приходится на утечки тепла через наружные стены и крыши. В связи с этим, улучшение теплоизоляции является одним из важнейших направлений по сокращению потерь энергии, т.е. сбережению ее. Улучшение теплоизоляции зданий хорошо защищает здания и сооружения от атмосферных явлений и повышает комфорт в помещениях здания. За счет проектирования новых домов с усиленной теплоизоляцией и реконструкции зданий путем усиления или устройства новой теплоизоляции можно добиться значительной экономии энергии. В этом вопросе в Благовещенске есть хорошие примеры, так при реконструкции здания бывшей 5-й школы под офисное здание ООО «Бурягесстрой» была запроектирована и применена достаточной толщины и хорошего качества материал теплоизоляции. При этом была применено «оригинальное» конструктивное решение, которое потребовало дополнительного обследования уже выполненной теплоизоляции здания, рисунок 9.1.

Используется в качестве утеплителя наружной стены два типа теплоизоляционного материала в большей части стены пенопласт  $\lambda_{п} = 0,064 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$  толщиной 150 мм. Под оконными проемами минеральная вата, с расчетными коэффициентами теплопроводности  $\lambda_{п} = 0,06 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$  и  $\lambda_{п} = 0,09 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ , что создает условия для возникновения «тепловых мостиков» или «мостиков холода». Они, как известно, возникают в местах, где стыкуются материалы с разной теплопроводностью.

«Мостки холода» или «тепловые мостики» – это участки в ограждающих конструкциях зданий, в которых вследствие геометрических пересечений и совместного применения различных материалов по теплотехническим характеристикам создаются условия для распространения тепла в нескольких направлениях. В этих участках происходит утечки большого количества тепла через небольшие по площади участки.

«Мостики холода» наиболее часто встречающиеся, возникают по следующим

причинам:

- участки ограждающих конструкций, где имеются слои неоднократные по материалу. Примером может служить встроенная в кирпичную стену железобетонная колонна;
- конструкция ограничивается непараллельными плоскостями. Например, углы помещений, пересечение стен, стыки стен с перекрытиями;
- участки ограждающих конструкций, встречается изменение однородности или профиля. В качестве примера – стыки стен из разнородных материалов, места стыка стен и окон и дверей.

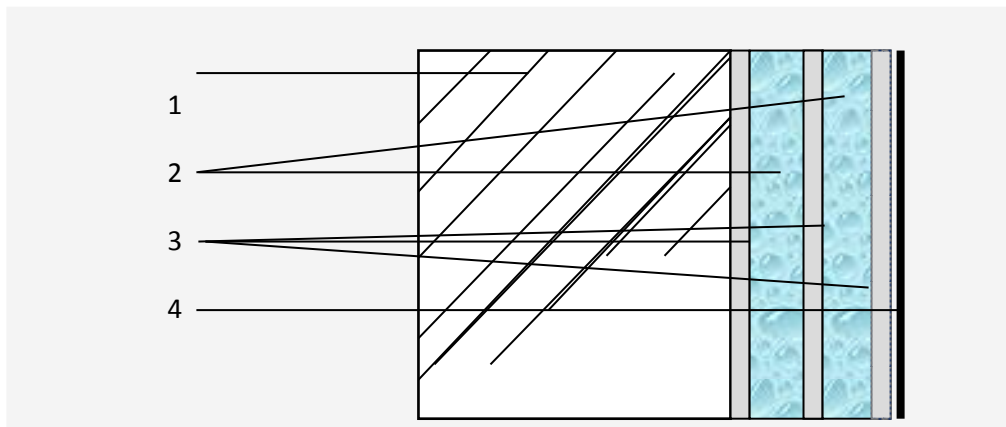


Рис. 9.1. Устройство наружной теплоизоляции

1 – кирпичная стена; 2 – теплоизоляция; 3 – штукатурка; 4 – наружная панель.

«Мостики холода» приводят не только к потерям тепла, их наличие приводит и к другим нежелательным последствиям:

- уменьшение комфортности помещений вследствие понижения температуры внутренних поверхностей в сравнении с температурой ограждающих конструкций;
- снижение термосопротивления конструкций – конденсация влаги в форме росы. Все это приводит к образованию трещин, росту плесени или пропитывание влагой углов стен;
- совместные действия отрицательных факторов приводит, к тому, что углы здания становятся слабыми местами с конструктивной и теплотехнической точки зрения.

Избежать «мостиков холода» можно с помощью следующих мероприятий:

- теплоизоляция должна устанавливаться так, чтобы избежать утечек тепла, особенно в местах соединения конструкций или их пересечении;
- выступающие конструктивные элементы должны быть покрыты теплоизоляционным материалом со всех сторон;
- несущие конструкции, изготовленные из бетона, стали и древесины должны быть снабжены дополнительной теплоизоляцией.

Свайные фундаменты применяются на слабых сжимаемых грунтах, больших нагрузках и глубоком залегании прочных пород. Недостатком свайных фундаментов является их дороговизны и трудоемкость в устройстве, но дает значительную экономию земляных работ.

Применение свайных фундаментов вызвано, прежде всего, грунтами, так глинистые и песчаные грунты с повышенной влажностью являются опасными. Некоторые песчаные грунты не выдерживают нагрузки зданий из фундаментов из стандартных блоков, а на глинистых грунтах при отрицательных температурах фундаменты начинают «рвать». В этом случае наиболее приемлемыми с точки зрения надежности и экономичности являются фундаменты на винтовых сваях.

Основными преимуществами фундаментов на винтовых сваях, для малоэтажного строительства, являются следующие:

- возможность устройства фундаментов на сложных грунтах;
- малый срок работ, устройство свай можно производить в любую погоду и время года;
- сейсмоустойчивость, экологичность, надежность;
- устройство фундамента без нарушения рельефа местности и без проведения земляных работ;
- винтовые сваи не подвержены морозному пучению;
- не требуется гидроизоляция фундамента на винтовых сваях.

Утепление оснований фундаментов. Исключить морозное пучение грунтов, которому подвергнуты большая часть территории Амурской области, позволяет устройство теплоизоляции вокруг здания. Сущность этого приема заключается в том, что грунт находящийся вокруг здания теплоизоляционными материалами от промерзания и тем самым ликвидируется причина вызывающая это явление.

Размещение теплоизоляционного слоя по периметру здания позволяет защитить грунт от промерзания и утеплить подвальное помещение. Для этого следует выкопать грунт на глубину 0,5-0,6 м. Размеры выемки должны обеспечить укладку утеплителя шириной не менее 1,2 м. На дно траншеи укладывается слой промытого песка толщиной не менее 200 мм, при этом устраивают уклон от фундамента и утрамбовывают. В дальнейшем на песок укладывают теплоизоляционные плиты из экструдированного (произведенного под давлением) пенополистирола. Толщина плит принимается в зависимости от коэффициента теплопроводности утеплителя (табл. 9.3).

Необходимо помнить, что потери тепла через углы здания превышают потери через стены, поэтому необходимо предусмотреть усиленное утепление. Для этого на расстоянии 1,5-2 м от угла здания укладывают утеплитель толщиной в 1,4-1,5 раза больший, чем приведено в таблице 9.3.

Таблица 9.3

Толщина плит для теплоизоляции фундамента в зависимости  
от коэффициента теплопроводности утеплителя

| Коэффициент теплопроводности<br>утеплителя, Вт/(м·°C) | 0,03 | 0,035 | 0,04 | 0,045 | 0,05 |
|-------------------------------------------------------|------|-------|------|-------|------|
| Толщина утеплителя не менее, мм                       | 60   | 70    | 80   | 90    | 100  |

Утеплитель засыпают слоем песка или гравия толщиной не менее 300 мм до поверхности грунта. Данное утепление будет препятствовать промерзанию грунта и появлению сил морозного пучения.

Эти рекомендации для борьбы с морозным пучением малоэтажных домов (по Бадьину Г.М.) [10], который рассматривал эти мероприятия по Центральному и Северо-западному регионам России, для нашего региона, где промерзание грунтов достигает более 2 м их необходимо скорректировать. Надо также полагать, что такие рекомендации для нашего региона достаточно революционны, что потребует дополнительного времени для их внедрения в практику строительства.

В заключение хочется напомнить, что энергопотребление в России в среднем примерно в 3 раза выше, чем странах Скандинавии с аналогичными природно-климатическими условиями. Россия уже вступила во Всемирную торговую организацию и должна играть по ее правилам. А они (правила), просто вынуждают заниматься энергосберегающим, «зеленым» строительством, так как это более эффективно и с экологической, и с экономической точек зрения.

## ГЛАВА 10 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА НА ПРИМЕРЕ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ

При строительстве зданий и сооружений всегда возникали и возникают экологические проблемы, приведенные в таблице 10.1, различной значимости качественной, количественной, территориальной и временной значимости.

Рассматривая силу воздействия строительства на экологию с отраслевой точки зрения, на первое место можно поставить гидроэнергетическое строительство, строительство горнодобывающих предприятий, строительство линейно протяженных сооружений и жилищно-гражданское строительство. Все эти виды строительства присутствуют в Амурской области.

Таблица 10.1

Классификация экологических проблем в строительстве

| Основные экологические проблемы                    | Характеристики экологических проблем                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Изъятие земель                                     | Качественная, количественная, территориальная (местные, региональные, меж-региональные трансграничные глобальные) временная (кратковременные, среднесрочные, долговременные) |
| Загрязнение атмосферного воздуха                   |                                                                                                                                                                              |
| Загрязнение водоемов                               |                                                                                                                                                                              |
| Загрязнение земель                                 |                                                                                                                                                                              |
| Загрязнение окружающей среды физическими факторами |                                                                                                                                                                              |
| Нанесение ущерба биоресурсам                       |                                                                                                                                                                              |

Необходимо также отметить, что не только строительство создает экологические проблемы. Строительная отрасль страдает от природных воздействий, это наводнения (наводнение в Приамурье 2013 г.), землетрясения, а также от радона – газа который поступает из недр земли в местах разломов земляной коры (один из разломов проходит по р. Амур).

Расчеты показывают, что в среднем удорожание строительства в семибалльных районах составляет – 5 %, в восьмибалльных – 8 % и в девятибалльных – 11 % от стоимости несейсмического проекта.

**Гидроэнергетическое строительство** в Амурской области создало немало экологических проблем, начиная со строительства Зейской ГЭС, кроме затопления значительных территорий малоосвоенных земель, созданы экологические проблемы для животного мира области пути миграции диких копытных представляли, это же наблюдалось при строительстве Бурейской ГЭС. Ее строительство, изображенное на рисунке 10.1, вызвало необходимость строительства Нижне-Бурейской ГЭС, которая в большей степени предназначена для решения гидрологии р. Амур, чем электроснабжения региона.

При строительстве гидроэлектростанций большое количество земель выводятся из хозяйственного оборота, таблица 10.2.

Таблица 10.2

Размеры затопляемых территорий по действующим  
и строящимся ГЭС Амурской области

| Наименование показателей            | Зейская ГЭС | Бурейская ГЭС | Нижне Бурейская ГЭС |
|-------------------------------------|-------------|---------------|---------------------|
| Площадь затопленных земель, тыс. га | 224,0       | 74,0          | 15,3                |
| в т.ч. с/х земель                   | 3,9         | 0,4           | 6,57                |

Водохранилища накапливают огромное количество тепловой энергии, которая в 50-70 раз превышает потенциальную энергию напора ГЭС. Процессы теплообмена над

водохранилищем и площадью прилегающего побережья являются ведущими факторами изменения местного климата.

Создание водохранилищ большой глубины и объема воды само по себе вызывает потенциальную возможность повышения сейсмической активности в районе его расположения.



Рис. 10.1. Строительство Бурейской ГЭС (начальный период)

Создание водохранилищ на Зейской ГЭС, Бурейской ГЭС и Нижне-Бурейской ГЭС привело значительному влиянию на животный мир. Впервые массовая гибель диких животных была замечена при наполнении водохранилища Зейской ГЭС, затем это же произошло и на водохранилище Бурейской ГЭС. Связаны эти негативные явления с миграцией животных, которые десятилетиями мигрировали по одним и тем же маршрутам – это приводило к массовой гибели, в частности косули.

Справедливости ради необходимо отметить и положительное влияние водохранилищ на окружающую среду. Учеными Савченко И.Ф., Савченко М.Н. Отделения региональной геологии и гидрогеологии Амурского научного центра (ОРГиГ АмурНЦ) ДВО РАН были выявлены следующие положительные тенденции влияния водохранилищ на окружающую среду:

«Для водохранилищ, расположенных на реках дальневосточного типа (дождевого питания) обязательным условием является наличие регулирующей емкости большого объема, значительная величина сработки по глубине и площади. Это необходимо для обеспечения постоянства выработки электроэнергии, что связано с переводом части летнего стока на зимний период.

Водоохранилища накапливают огромное количество тепловой энергии, которая в 50-70 раз превышает потенциальную энергию напора ГЭС. Процессы тепломассы обмена над акваторией и площадью прилегающего побережья являются ведущими факторами изменения местного климата. Тепловой поток с открытой водной поверхности перед осенней гомотермией превышает 100 Вт./м<sup>2</sup>, а с ледовой поверхности – более 50 Вт./м<sup>2</sup>. Следствием теплообменных процессов в летне-осеннее время является увели-

чение продолжительности вегетационного периода, суммы активных для вегетации температур, ликвидация раннеосенних заморозков. После наступления осенней гомотермии и в зимнее время тепловой поток с поверхности водохранилища нагревает прилегающие слои холодного воздуха, повышает минимальные температуры на 7-12°C, снижая, таким образом, жесткость климата, что создает лучшие условия зимовки лесных пород по сравнению с бытовыми (до водохранилища) условиями.

В весенний период массы льда на площади зоны сработки и на водохранилище охлаждают воздушные массы, отодвигают сроки наступления вегетационного периода. Одновременно создаются условия ликвидации поздневесенних заморозков.

Потенциальные возможности улучшения местной климатической обстановки позволяют рассчитать и компенсационные возможности гидростроительства. Как следует из таблиц 15 и 16, потеря лесного фонда при затоплении вполне компенсируется дополнительным приростом на территории влияния. Так, при возрасте рубки лиственничников 120 лет суммарный прирост по всем группам возраста составит 3500 тыс. м<sup>3</sup> на первый оборот рубки. На второй оборот рубки главного пользования этот прирост составит 6282,2 тыс. м<sup>3</sup>, что значительно больше запасов в зоне затопления, т.е. на:  $6282,2 \text{ тыс. м}^3 - 4698,3 \text{ тыс. м}^3 = 1583,9 \text{ тыс. м}^3$ , а ежегодное приращение прироста будет равно 5235 тыс. м<sup>3</sup> против 43,2 имеющихся».

Из выше приведенных исследований этих ученых нужно сделать правильный вывод, в любом воздействие человека на окружающую среду видеть только одну негативную или позитивную стороны.

**Строительство горнодобывающих предприятий** в области связано с созданием ГОК Чалганы, ГОК Покровское, ГОК Пионер, ГОК Олекма, ГОК Маломыр, ГОК Албын. В этом случае основные проблемы связаны с изъятием территорий под строительство самого ГОК, водохранилищ (Чалганы), хвостохранилищ (все остальные). Другая проблема строительства – это отходы от очистки территории – лесонасаждения и изменение ландшафта местности, большие затраты на поселки «вахтовиков», которые в последствии становятся городами «призраками».

На рисунке 10.2 показана панорама строительства золотодобывающего предприятия на Маломырском золоторудном месторождении и это только третья часть его. Срыта целая сопка, и уничтожена растительность на площади 1,68 км<sup>2</sup> и это не учитывая вахтового поселка с вспомогательными производствами, площадь которого занимает около 2,5 км<sup>2</sup>.

**Строительство линейно-протяженных сооружений (дорог, ЛЭП, нефтепроводов)** это дорога федерального значения «Амур», нефтепровод, газопровода для газоперерабатывающего завода в Свободном, ЛЭП. Основные проблемы связаны с изъятием территорий под строительство сооружения и отходы строительного производства. В данном строительстве кроме достаточно большого изъятия земель под строительство и зачастую потенциального опасного производства (точнее транспортировки нефти и газа). Необходимо отметить неадекватную оценку платы за изъятие земель, что было замечено неоднократно в Амурской области, но и достаточно большой ущерб наносимый данным видом строительства животному миру. Приведем несколько примеров ущерба, в расчете которых автор принимал непосредственное участие вместе с научными сотрудниками АмурНЦ ДВО РАН И.И. Гладышевым В.З. Межаковым, В.С. Се-ребренниковым. Приведем некоторые примеры.



Рис. 10.2. Строительство ГОК Маломир Селемджинский район

Из письма губернатору Амурской области 2003 года заключение оценки ущерба от строительства нефтепровода, достаточно большого ущерба, сама оценка была проведена достаточно неадекватно.

«...Прежде всего, это касается платежей за земельные ресурсы, оцененных в 49,16 млн. рублей, с чем нельзя согласиться по следующим причинам:

– предварительная площадь земельного отвода под строительство НПС ВСТО составила 5245,075 га. В «Обосновании» эта площадь произвольно увеличена до 7720,82 га, но перерасчет платежей на дополнительную площадь не проводилось;

– не описана методика, по которой производилась эколого-экономическая оценка земельных ресурсов в коридоре трассы НПС. Кадастровая оценка земель для этой цели не пригодна;

– согласно оценке влияния на окружающую среду (ОВОС), только сельхозугодий в Амурской области при строительстве НПС будет передано в аренду НПС ВСТО 1236,82 га.

Занижена сумма упущенной выгоды. Сравнительная оценка стоимости 1 км земли по трассе нефтепровода и 1 га земельных ресурсов, отведенных под строительство НПС ВСТО в регионах восточного участка нефтепровода и в Иркутской области, согласно «Обоснованию» показывает, что земли Амурской области оказались самыми «дешевыми». Это видно из данных приведенных в таблице 10.3.

Таблица 10.3

Стоимостные характеристики земель, занятых под строительство нефтепровода

| Субъект РФ              | Сумма платежей за предоставление земельных ресурсов, тыс. рублей | Стоимость 1 га земельных ресурсов отведенных НПС, рублей | Стоимость 1 км земельных ресурсов трассы НПС, рублей |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| <b>Амурская область</b> | <b>49162</b>                                                     | <b>6368</b>                                              | <b>34971</b>                                         |
| Хабаровский край        | 75265,8                                                          | 84407                                                    | 306083                                               |
| Приморский край         | 119419                                                           | 40942                                                    | 218676                                               |
| Иркутская область       | 49250                                                            | 11363                                                    | 60806                                                |

Аналогичная ситуация просматривается и в вопросе компенсации ущерба за размещение отходов НПС, таблица 10.4.

Здесь ущерб Амурской области, на наш взгляд, оценен по минимуму, хотя по протяженности нефтепровода и количеству размещенных здесь отходов, превосходит все другие регионы.

Таблица 10.4

Сумм компенсационных ущербов регионом, по которым проложен нефтепровод

| Субъект РФ              | Сумма компенсации ущерба, тыс. рублей | Сумма компенсации за 1 км. трассы, рублей | Количество объектов |
|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------|
| Иркутская область       | 506                                   | 621,9                                     | 7                   |
| Республика Бурятия      | 463                                   | 835,3                                     | 8                   |
| Читинская область       | 399                                   | 1321,6                                    | 4                   |
| <b>Амурская область</b> | <b>737</b>                            | <b>524,2</b>                              | <b>17</b>           |
| Еврейская АО            | 168                                   | 525,2                                     | 3                   |
| Хабаровский край        | 157                                   | 639,5                                     | 4                   |
| Приморский край         | 496                                   | 698,8                                     | 5                   |

Исключительно важным, но обойденным вниманием проектировщиков является вопрос оценки влияния строительства нефтепровода на социальную среду территорий традиционного природопользования, эвенков – коренного малочисленного народа северного Приамурья. В Тындинском районе НПС пройдет по землям, закрепленным за эвенкийскими Усть-Нюжинским, Нюкжинским и Первомайским сельсоветами, основным занятием которых является оленеводство и охота.

Пример из пояснительной записки «К расчетам размеров ущерба объектам охотничьих животных Тындинского и Сковородинского районов Амурской области при строительстве нефтепроводной системы «Восточная Сибирь – Тихий Океан» апрель 2004 года...

Общая сумма ущерба госохотфонду этой территории при строительстве нефтепровода составляет 28 827,0 тыс. рублей, в том числе для Тындинского района – 28 720,9 тыс. рублей, для Сковородинского района – 106,1 тыс. рублей».

Ущерб объектам охотничьих животных при освоении и эксплуатации Куранахского титаномагнетитового месторождения на территории Тындинского района Амурской области. ООО «Олекминский рудник» 1638,9 тыс. рублей на октябрь 2004 года.

**Жилищно-гражданское строительство** наиболее развито в областном центре г. Благовещенске, здесь главная экологическая проблема - отходы строительного производства (рассмотрим ее в конце статьи). Появилась и более сложная проблема, это намыв новой территории на р. Амур, что воздействует на гидрологию этой реки. Это, уже международная экологическая проблема, так как на противоположном берегу находится китайский г. Хэйхе городской округ в провинции Хэйлузян в КНР.

**Строительство космодрома «Восточный»** Данное строительство имеет стратегическое значение для Российской Федерации, тем не менее, снижение техногенной нагрузки на окружающую среду при строительстве объектов необходимо решать. Экологические проблем при строительстве данного объекта аналогичны рассматриваемым выше.

**Связь экологических проблем строительства с ресурсосбережением и энергоэффективностью.** Повышение роли природных ресурсов как фактора экономического развития и экологические проблемы вызвали развитие ресурсосберегающих и энергоэффективных технологий, в том числе и в строительстве.

Кроме этого решение экологических проблем в строительстве помогают применение логистических систем (особенно при строительстве крупных объектов), внедрение систем управления качеством, что позволяют снизить потребление материальных ресурсов.

Техническое регулирование качества окружающей среды и управление экологической безопасностью строительства для изделий и технологий ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения очень подробно рассмотрены В.И. Теличенко [90].

Нами предложена модель обращения с отходами строительного производства изображенная на рисунке 10.3.

Обращения с отходами строительного производства можно сгруппировать в следующие блоки: ресурсный, экономический, экологический, технологический. Их взаимосвязь позволяет определить возможность управления отходами строительного производства на уровне муниципального образования.



Рис. 10.3. Эколого-экономическая модель обращения с отходами строительного производства

Источниками образования строительных отходов являются: строительство новых объектов; реконструкция и ремонт, а также разработка и снос существующих зданий; деятельность предприятий по производству железобетонных изделий, кирпича, ДВП, ДСП, керамической продукции [7].

Анализ предлагаемой эколого-экономической модели показывают совокупность технологических функций обращения отходами строительного производства формирующая систему ведения на составляющие элементы, блоки, при этом все элементы находятся в зависимости друг от друга. Как правило, один из них, будучи заданным, во многом определяет другие элементы, что дает возможность сформулировать качественные и количественные характеристики параметров управления отходами строительного производства [11].

Экологические проблемы строительства достаточно разнообразны по своему воздействию на окружающую среду, как по качественному, количественному, временному и даже политическому критериям.

Они зависят от конкретных строящихся объектов, их месторасположения, погодных и климатических условий. Тем не менее, многие воздействия на окружающую среду возможно если не устранить, то смягчить.

Например, возможно перенять японский опыт строительства на Сахалине, когда еще в 30-х годах прошлого столетия они – японцы, не разрушали природные ландшафты, а приспосабливались к ним. У нас такой опыт то же имеется – Новосибирский академгородок.

Необходимо не только проводить мониторинг окружающей среды и воздействие на нее, а управлять негативными экологическими процессами, например управлением строительными отходами, через развитие системой нормативной документации, экологические и экономические показатели, логистику и систему управления качеством и окружающей среды.

**Управление, обращение с отходами строительного производства** Общество достаточно давно осознало ограниченность природных ресурсов, и даже истощаемость некоторых из них, для обеспечения своей жизнедеятельности. При этом природные ресурсы в нашей стране используются на 30-60 %, остальное идет в отходы, которые в свою очередь являются вторичным сырьем для будущих поколений, частично используются и сейчас, например шлаки для производства строительных материалов.

Отходы производства: Остатки сырья, материалов, веществ, изделий, предметов, образовавшиеся в процессе производства продукции, выполнения работ (услуг) и утратившие полностью или частично исходные потребительские свойства. К отходам производства относят образующиеся в процессе производства попутные вещества, не находящие применения в данном производстве: вскрышные породы, образующиеся при добыче полезных ископаемых, отходы сельского хозяйства, твердые вещества, улавливаемые при очистке отходящих технологических газов и сточных вод и т. п. [90].

В строительстве отходы образуются при новом строительстве, при реконструкции зданий и сооружений, а также при сносе ветхого жилья в г. Тынды, по ветхости или при природных катастрофах, как это было в 2013 году на Дальнем Востоке.

В строительном производстве отходы также занимают значительный объем от произведенной строительной продукции.

Так, например, при забивке железобетонных свай, отходы составляют до 30% – при срубке голов свай. Эти отходы в настоящее время используются как вторичное сырье при строительстве индивидуальных гаражей и других малых объектах, но и достаточное количество (более половины) просто зарывается в землю на строительной площадке. Следующим примером может служить вторичное применение асфальтового покрытия дорог при их ремонте.

Повышение требований к условиям проживания, реализацией программы переселения из ветхого жилья, ликвидация последствий наводнения на Дальнем Востоке приводит к увеличению объема отходов сноса и строительного производства. Все это негативно влияет на экономику региона и состояние окружающей среды. Это вызвано отсутствием системы управления данной проблемы, т.е. отходами.

Так, при строительстве горнодобывающих предприятий в Амурской области (да и по Дальнему Востоку) большинство отходов просто зарываются в землю или сваливаются в тайге или сжигаются непосредственно на месте строительства – это достаточно большие лесные территории, которые также можно отнести к отходам строительства.

Используя отходы строительства и сноса в качестве сырья, строительные фирмы смогут экономить, не ухудшая при этом качество конечной продукции. Согласно статистическим данным независимых экспертов, внедрение системы эффективного рециклинга может позволить добиться 25 % сокращения себестоимости строительства [7].

С каждым годом в России возрастает общий объем образования всех видов отходов, в том числе и строительных, хотя их доля от общего объема не велика, как это и показано в таблице 10.5.

Таблица 10.5

Образование отходов производства по видам экономической деятельности (млн. тонн)

| Наименование     | 2005 г. | 2006 г. | 2007 г. | 2008 г. | 2009 г. | 2010 г. | 2011 г. |
|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Всего            | 2988,3  | 3516,3  | 3895,0  | 3872,2  | 3499,6  | 3732,4  | 4303,3  |
| По строительству | 17,0    | 17,8    | 62,8    | 15,1    | 24,7    | 11,1    | 14,1    |
| В % соотношении  | 0,57    | 0,51    | 1,61    | 0,39    | 0,71    | 0,30    | 0,33    |

В Амурской области, к сожалению, используется в основном только второй путь обращения с отходами строительного производства.

Известно: в строительном производстве в основном преобладают отходы железобетона, бетона, битого кирпича, древесные отходы, цемент, различные виды утеплителя, например «Базалит».

При строительстве горнодобывающих предприятий в Амурской области хранение цемента, различного вида утеплителя находится в неудовлетворительном состоянии, в основном «потери» отходов получаются именно таким образом.

Так, при строительстве Маломырского золотодобывающего комплекса буквально за два часа из-за несоблюдения правил хранения было потеряно около 35-40 тонн цемента. В то же время при этом строительстве вторично использовались металлоконструкции – 18 метровые фермы в количестве 60 шт. с небольшой доработкой.

За рубежом существуют современные технологии переработки железобетона, бетона и других строительных отходов. Наибольшего успеха добились в переработке строительных отходов такие страны, как Дания, Бельгия, Нидерланды, Германия. При этом в некоторых из них отсутствуют полигоны по захоронению строительных отходов.

Япония проблему отходов строительного производства (и не только) решила своеобразным образом, начиная с 1980-х годов, она создает искусственные острова, которые используются как аэродромы (под Токио) и даже для проживания.

Во многих странах эту проблему решают чисто экономическими методами, например, стимулирование производителей и наоборот, вплоть до привлечения к ответственности.

Все составляющие модели обращения отходами строительного производства можно сгруппировать в следующие блоки: природно-естественный, технологический, ресурсный, экономический, экологический.

Использование отходов позволяет сократить объемы добычи минерального сырья из земных недр, и тем самым сохранить природные ландшафты и биологическое равновесие окружающей среды [7].

Анализ предлагаемой эколого-экономической модели показывают совокупность технологических функций обращения отходами строительного производства формирующая систему ведения на составляющие элементы, блоки, при этом все элементы находятся в зависимости друг от друга.

Как правило, один из них, будучи заданным, во многом определяет другие элементы, что дает возможность сформулировать качественные и количественные характеристики параметров управления отходами строительного производства. Это подтверждается и нашими исследованиями, обуславливающими системность, комплексность этого процесса.

К сожалению, статистической отчетности по отходам строительного производства в области не ведется.

Благодаря эмпирическим подходам достаточно условно можно определить количество отходов строительного производства.

Данные по таким приблизительным (эмпирическим) приведены в таблице 10.6, составленной на основании [6].

Таблица 10.6

Образование отходов производства по видам  
экономической деятельности в Амурской области

| Наименование                                              | 2010 г.      | 2013 г.        | 2014 г.        | 2015 г.         | 2016 г.         |
|-----------------------------------------------------------|--------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Всего, тыс. тонн</b>                                   | <b>499,0</b> | <b>9 814,2</b> | <b>7 019,5</b> | <b>10 637,0</b> | <b>16 882,5</b> |
| В % соотношении*                                          | 0,60         | 0,60           | 0,60           | 0,60            | 0,6             |
| В строительстве, тыс. тонн                                | 3,00         | 58,88          | 42,12          | 63,82           | 101,30          |
| Текущие затраты на защиту ОС в строительстве, тыс. рублей | 70,9         | 1 394,6        | 997,5          | 1 512,0         | 5 453,0         |

Данные приведенные в таблице довольно приблизительны и, как видим, составляют незначительную часть всех отходов хозяйственной деятельности и затрат на охрану окружающей среды. Необходимо отметить, что при строительстве отдельных крупных объектов, например, горнодобывающих предприятий в конкретной местности имеющих значительное влияние на окружающую природную среду, как во время строительства, так и при эксплуатации. Строительство Албынского горнодобывающего предприятия в Селемджинском районе, строительство космодрома «Восточный», города Циолковский, газоперерабатывающего завода Свободненского района – примеры наибольшего влияния строительного производства на природу.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассматриваемые вопросы инженерного обоснования, проектирования, применения строительных материалов, технологии и управления строительным производством в монографии являются достаточно актуальными для успешного экономического развития Амурской области и Дальневосточного региона, для повышения эффективности, надежности и конкурентоспособности строительной отрасли.

Научные исследования и разработки, проводимые преподавателями кафедры строительного производства и инженерных конструкций, прошли апробацию на конференциях и выставках инноваций, поэтому могут быть использованы при осуществлении инвестиционных проектов, проводимых в рамках реализации Государственной программы социально-экономического развития Дальнего Востока. В Амурской области продолжается строительство космодрома Восточный, города Циолковский, объектов социальной и производственной инфраструктур для участников программы «Дальневосточный гектар». Специалисты кафедры готовы оказывать помощь при проектировании и строительстве объектов гражданского и промышленного строительства города и области.

В монографии представлены исследования:

- по теории и методам оптимизации расчета конструктивных элементов зданий и сооружений;
- по совершенствованию управления инвестиционно-строительным комплексом для устойчивого экономического развития с изучением его влияния на рынок недвижимости;
- инженерной геодинамики и геолого-экономических проблем Приамурья;
- колебаний и устойчивости пологих трехслойных оболочек с изломами поверхности;
- возможности производства и применения в Амурской области бетонов с минеральными добавками на основе композиционных вяжущих;
- по изучению прочности плит безопалубочного формирования при опирании на кирпичные стены;
- повышению тепловой защиты гражданских зданий в городе Благовещенске Амурской области;
- по совершенствованию организации строительного производства в современных экономических условиях;
- проблем строительства энергоэффективных домов в Амурской области;
- аспектов экологической безопасности в строительстве при управлении строительными отходами на территории Амурской области.

Результаты исследований, как бы глубоки они не были, не могут всесторонне учесть различные, часто случайные факторы, действующие в условиях производства. Поэтому научные разработки требуют опытной проверки в производственных условиях. Результаты анализа работы плит перекрытия безопалубочного формования в зданиях со стенами из кирпича уже используются строительными организациями при проектировании и сооружении объектов города Благовещенска, свойства бетонов с минеральными добавками на основе композиционных вяжущих подтверждены патентами [100].

Представленные предложения по разработке строительных элементов, конструкций, теплозащите зданий и сооружений, защите окружающей природной среды от техногенных воздействий (отходов строительного производства и эксплуатации объектов) могут быть использованы при разработке и строительстве объектов гражданского, промышленного и сельскохозяйственного назначения.

Полученные результаты не являются окончательными, поскольку рассматриваемые проблемы достаточно сложны, постоянно изменяются, а условия решения вновь возникающих проблем носят динамичный и стохастический характер.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Градостроительный кодекс РФ от 29.12.2004 г. № 190-ФЗ.
2. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003ч [Текст]. - М., 2012. - 155 с.
3. СП 15.13330.2012. Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22 -81 [Текст]. - М.: 2012. - 76 с.
4. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* [Текст]. - М.: 2011. - 80 с.
5. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» [Текст] (утв. Приказом Минрегиона России от 30.06.2012 № 265). - М., 2012.- 100 с.
6. Агапов, В. П. Метод конечных элементов в статике, динамике и устойчивости конструкций [Текст] / В. П. Агапов. – М.: АСВ, 2004. – 248 с.
7. Алексанин, А.В. Управление отходами строительного производства [Текст] / А.В. Алексанин, С.Б. Сборщиков. - М.: Стройинфориздат, 2013. – 140 с.
8. Алфутов, Н. А. Основы расчета на устойчивость упругих систем [Текст] / Н. А. Алфутов. – М.: Машиностроение, 1978. – 312 с.
9. Архитектура. Строительство. Инженерные системы: монография [Текст] / Н.П. Кузьмич [и др.]. – Новосибирск: Изд-во НГТУ. – 2012.– 466 с.
10. Бадьин, Г.М. Строительство и реконструкция малоэтажного энергоэффективного дома / Г.М. Бадьин [Текст]. – СПб: БХВ-Петербург, 2011. – 432 с.
11. Бурчик, В.В. Отходы строительного производства – обращение, управление / В.В. Бурчик, С.Е. Гамылин, В.А. Широков [Текст] //Актуальные проблемы архитектуры и строительства: матер. междунар. науч.-практ. конф. (г. Благовещенск, 25 фев. 2014 г.) / отв. ред. А.В. Ижендеев. – Благовещенск: ДальГАУ, 2014. - С 133-140.
12. Бычков, Д. В. Строительная механика стержневых тонкостенных конструкций / Д. В. Бычков [Текст]. – М.: Стройиздат, 1962. – 476 с.
13. Вайнберг, Д.В. Расчет пластин и оболочек с разрывными параметрами [Текст] / Д.В. Вайнберг, И.З. Ройтфарб //Расчет пространственных конструкций: Сб. вып.Х. М.:Стройиздат, 1969. - С. 39-80.
14. Власов, В. З. Тонкостенные упругие стержни /В. З. Власов [Текст]. – М.: Физматиздат, 1958. – 568 с.
15. Власов, В.З. Общая теория оболочек и ее приложение к технике /В. З. Власов [Текст]. - М.-Л.: Гостехиздат, 1949. - 784 с.
16. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества: технология и свойства. [Текст] /А.В. Волженский, Ю.С. Буров, В.С. Колокольников. - М.: Стройиздат, 1979. - 476с.
17. Вольмир А.С. Гибкие пластинки и оболочки [Текст] / А.С. Вольмир А.С. - М.: Гос.изд-во техн.-теорет. лит., 1956. - 420 с.
18. Выборова, Е.Н. Методические аспекты анализа и управления инвестиционной активностью организации [Текст] / Е.Н. Выборова, Э.А. Салыхова// Экономический анализ: теория и практика.– 2013. – №12 (315). – С.23–26.
19. Габриель, И. Реконструкция зданий по стандартам энергоэффективного дома: [Текст] Пер. с нем. / И. Габриель, Х. Ладенер. – СПб: БХВ-Петербург, 2011. – 480 с.
20. Гиссин, В.И. Управление качеством [Текст] / В.И. Гиссин. – М.: MapT, 2003. – 400 с.
21. Горшков, А.Г. Теория упругости и пластичности [Текст] /А.Г. Горшков, Э.И. Старовойтов, Д.В. Тарлаковский. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 416 с.
22. Гольденвейзер, А.Л. Свободные колебания тонких упругих оболочек [Текст] / А.Л. Гольденвейзер, В.Б. Лидский, П.Е. Товстик. - М.: Наука, 1979. - 384 с.

23. Городнова, Н.В. Развитие теории управления государственно–частными партнерствами [Текст] / Н.В. Городнова, М.К. Кожевникова// Управленческий учёт. – 2015. – №4. – С.11 – 22.

24. Григолюк, Э.И. Устойчивость и колебания трехслойных оболочек / Э.И. Григолюк, П.П. Чулков [Текст]. - М: Машиностроение, 1973. - 172 с.

25. Емельянов, Ю.С. Государственно–частное партнерство как антикризисный инструмент развития инфраструктуры [Текст] /Ю.С. Емельянов// Транспортное дело России. – 2011. – №5. – С.11 – 16.

26. Ижендеев, А. В. Вычисление геометрических характеристик поперечного сечения тонкостенного стержня открытого профиля [Текст] /А.В. Ижендеев // Актуальные проблемы архитектуры и строительства: матер. междунар. науч.-практ. конф. (г. Благовещенск, 25 февр. 2014 г.) / отв. ред. А. В. Ижендеев. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2014. – С. 67-78.

27. Ижендеев, А. В. Матрица начальных напряжений изгибаемого тонкостенного стержня открытого профиля [Текст] / А. В. Ижендеев // Изв. вузов. Строительство. – 2014. – № 4. – С. 119-126.

28. Ижендеев, А. В. О поиске оптимальных размеров поперечного сечения тонкостенного стержня [Текст] /А. В. Ижендеев // Строительство и природообустройство: сб. научн. тр. /отв. ред. М. В. Маканникова. – Благовещенск: Дальневосточный ГАУ, 2016. – Вып. 3. – С. 45-48.

29. Ижендеев, А. В. Определение критического параметра нагрузки для тонкостенных стержней [Текст] /А. В. Ижендеев // Актуальные проблемы строительства и природообустройства Дальнего Востока / отв. ред. М. В. Маканникова: сб. научн. тр. ДальГАУ. – Благовещенск: ДальГАУ, 2012. – Вып. 2. – С. 17-20.

30. Ижендеев, А. В. Определение критического параметра нагрузки стержневой тонкостенной системы [Текст] /А.В. Ижендеев // Взаимодействие научно-образовательных учреждений, бизнеса и власти: матер. 2-й регион. науч. конф. (г. Благовещенск, 9 октября 2012 г.). – Благовещенск: ДальГАУ, 2012. – С. 68-74.

31. Ижендеев, А. В. Оптимальное проектирование сжатого тонкостенного стержня открытого профиля [Текст] /А.В. Ижендеев // Проблемы оптимального проектирования сооружений: Доклады 3-й Всероссийской конференции, Новосибирск, 15-17 апреля 2014 г. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2014. – С. 159-167.

32. Ижендеев, А.В. Оптимальное проектирование стержневых тонкостенных систем, находящихся под воздействием многопараметрического нагружения [Текст] /А.В. Ижендеев. – Благовещенск: Изд-во Амур. Гос. ун-та, 2006. – 168 с.

33. Ижендеев, А.В. Оптимизация размеров поперечного сечения тонкостенного стержня открытого профиля [Текст] /А.В. Ижендеев // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 4-2 (46). – С. 100-103.

34. Ижендеев, А.В. Подход к построению матрицы начальных напряжений тонкостенного стержня открытого профиля [Текст] / А.В. Ижендеев // Материалы V Всероссийской научно-технической конференции "Актуальные вопросы строительства". – Новосибирск: Изд-во НГАСУ (Сибстрин). - 2012. – Т. 1. – С. 64-68.

35. Ижендеев, А.В. Поиск оптимальных размеров поперечного сечения тонкостенного стержня открытого профиля [Текст] /А.В. Ижендеев // Актуальные проблемы, современное состояние, инновации в области природообустройства и строительства: матер. всерос. заоч. науч.-практ. конф., посвящ. памяти д-ра техн. наук, проф., заслуженного мелиоратора РФ И. С. Алексейко (г. Благовещенск, 11 ноября 2015 г.) /отв. ред. М. В. Маканникова. – Благовещенск: Изд-во Дальневосточного ГАУ, 2015. – С. 291-297.

36. Ижендеев, А.В. Построение матрицы начальных напряжений тонкостенного стержня открытого профиля [Текст] /А.В. Ижендеев // Взаимодействие научно-

образовательных учреждений, бизнеса и власти: матер. регион. науч. конф. (г. Благовещенск, 15 ноября 2011 г.). – Благовещенск: ДальГАУ, 2011. – С. 46-53.

37. Ижендеев, А.В. Расчет на общую устойчивость сжатого тонкостенного стержня открытого профиля [Текст] / А.В. Ижендеев // Актуальные проблемы строительства и природообустройства Дальнего Востока / отв. ред. М. В. Маканникова: сб. науч. тр. ДальГАУ. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2013. – Вып. 4. – С. 12-18.

38. Ижендеев, А.В. Расчет на общую устойчивость тонкостенного стержня открытого профиля [Текст] / А.В. Ижендеев // Проблемы и перспективы развития строительства и природообустройства Амурской области: матер. регион. науч.-практ. конф., посвященной проблемам мелиорации и строительства Амурской области (13 февраля 2013 года, г. Благовещенск). – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2013. – С. 28-34.

39. Ижендеев, А.В. Оптимальное проектирование стержневых систем / Ижендеев, А.В. // Расчет стержневых систем, составленных из тонкостенных стержней открытого профиля [Текст]. – Изв. вузов. Строительство. – 2006. – № 7. – С. 88-92.

40. Ижендеев, А.В. Формирование матрицы начальных напряжений тонкостенного стержня открытого профиля [Текст] / А.В. Ижендеев // Изв. вузов. Строительство. – 2013. – № 1. – С. 119-125.

41. Каландия, А.И. Математические методы двумерной теории упругости [Текст] / А. И. Каландия. – М.: Наука, 1973. – 304 с.

42. Кобелев, В.Н. Динамика многослойных оболочек [Текст] / В.Н. Кобелев, В.А. Потопахин. – Изд-во Ростовского ун-та, 1985. – 160 с.

43. Козлов, К.Г. Экзогенные процессы рельефообразования, развитые на территории Амурской области. Наледи [Текст] / К.Г. Козлов, Н.В. Трутнева, Т.В. Кезина // Вестник Амурского государственного университета: материалы Междунар. симпоз. – 2010. – Вып. 49 : Сер. Естественные и экономические науки. – С. 92-96: 2 рис.

44. Кондратьева, Л.Н. Свободные колебания складчатых трехслойных оболочек при различных закреплениях краев [Текст] / Л.Н. Кондратьева // Статические и динамические задачи расчета сложных строительных конструкций: Межвуз. темат. сб. тр. / Л. : Изд-во ИСИ, 1988. – С. 76-80.

45. Кондратьева, Л.Н. Эффективность применения трехслойных плоских элементов в оболочках покрытий [Текст] / Л.Н. Кондратьева // Региональные проблемы НТП и развитие новых технологий: Тез. докл. Амур. Обл. науч.-практ. конф. – Благовещенск, 1987. – С. 13-14.

46. Куликов, А. О стратегии развития жилищной сферы [Текст] / А. Куликов, В. Янин // Экономист. – 2013. – №1. – С.59–69.

47. Кузьмич, Н.П. Анализ динамики инвестиций в основной капитал и результатов инвестиционно–строительной деятельности в региональной экономике [Текст] / Н.П. Кузьмич // Власть и управление на Востоке России. – 2012. – № 1 (58). – С. 76–83.

48. Кузьмич, Н.П. Воздействие строительного рынка на рынок жилищной недвижимости в контексте эффективного использования земельных ресурсов [Текст] / Н.П. Кузьмич // Общество: политика, экономика, право. – 2016. – №6 (133). – С. 38–40.

49. Кузьмич, Н.П. Госрегулирование предпринимательства в строительстве в условиях социально ориентированной рыночной экономики [Текст] / Н.П. Кузьмич // Российское предпринимательство. – 2014. – №17(263). – С.77–82.

50. Кузьмич, Н.П. Обеспечение устойчивого развития строительных предприятий на основе эффективного использования инвестиций [Текст] / Н.П. Кузьмич // Финансовая экономика. – 2014. – №3. – С.19–24.

51. Кузьмич, Н.П. Организационно-экономические аспекты устойчивого развития инвестиционно-строительного комплекса в условиях инновационных преобразований [Текст] /Н.П. Кузьмич //Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2013. – № 3. – С. 44 – 47.
52. Кузьмич, Н.П. Предпосылки устойчивого развития строительного комплекса в регионе [Текст] /Н.П. Кузьмич // European Social Science Journal (Европейский журнал социальных наук). – 2012. – №2 (18). – С.412 – 417.
53. Лазарев, И.Б. Основы оптимального проектирования конструкций. Задачи и методы [Текст] /И.Б. Лазарев. – Новосибирск: Сибирская государственная академия путей сообщения, 1995. – 296 с.
54. Левин, Ю.А. Концепция инновационного развития рынка жилищной недвижимости и сценарный подход к её реализации [Текст] /Ю.А. Левин //Экономическое возрождение России. – 2011. – №4 (30). – С.12 – 16.
55. Лихтарников, Я.М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций [Текст] /Я. М. Лихтарников. – М.: Стройиздат, 1979. – 319 с.
56. Макарова, Г.Н. Отрасль строительства как индикатор макроэкономических тенденций и перспектив [Текст] / Г.Н. Макарова // Известия ИГЭА. – 2011. – № 6 (80). – С.125–128.
57. Мамон, Н.В. Факторы, влияющие на уровень доступности жилья в регионе [Текст] / Н.В. Мамон, М.С. Пушкарева //Вестник Костромского государственного технологического университета. Серия «Экономические науки». – 2013. – №1 (3). – С.29–32.
58. Михайлов, Б.К. Свободные колебания пологих трехслойных оболочек, составленных из плоских элементов (Деп. в ВИНТИ 12.07.87, В 3937- В87) [Текст] / Б.К. Михайлов, Л.Н. Кондратьева. - Л.: Изд-во ЛИСИ, 1987- . 17 с.
59. Михайлов, Б.К. Пластины и оболочки с разрывными параметрами [Текст] /Б.К. Михайлов.- Л.: Изд-во ЛГУ, 1980. - 196 с.
60. Мишин, В.М. Управление качеством [Текст] / В.М. Мишин. - 2-е изд. перераб. и доп. - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2005. - 463 с.
61. Мурашова, Е.Г. Флювиальные процессы в Амурской области. Актуальные проблемы техносферной безопасности и природообустройства: матер. междунар. науч.-практ. конф. (г. Благовещенск, 12 февраля 2014 г.) [Текст] / Е.Г. Мурашова. – Благовещенск: ДальГАУ, 2014. – С. 251-256.
62. Мурашова, Е.Г. Рельеф и пространственная дифференциация ландшафтов Зейско-Буреинской равнины [Текст] /Е.Г. Мурашова. - Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2013. – 228 с.
63. Мурашова, Е.Г. Многолетняя мерзлота в Амурской области [Текст] /Мурашова Е.Г., С.А. Родоманская // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. - № 8, ч. 2, 2014 – С. 15-17.
64. Новожилов, В. В. Основы нелинейной теории упругости [Текст] / В. В. Новожилов. – М.: Гостехиздат, 1948. – 212 с.
65. Новожилов, В.В. Теория тонких оболочек. 2-е изд., испр. и доп. [Текст] / В.В. Новожилов. - .Л.: Судостроение, 1962. - 431 с.
66. Основы физики. Курс общей физики. В 2т. Т. 1: Кингсеп, А.С. Механика, электричество и магнетизм, колебания и волны, волновая оптика [Текст] / А.С. Кингсеп, Г.Р. Локшин, О.А. Ольхов.- М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. - 560с.
67. Основы физики. Курс общей физики. В 2т. Т. 2: Белонучкин, В.Е. Квантовая и статистическая физика [Текст] / В.Е. Белонучкин, Д.А. Заикин, Ю.М. Ципенюк . - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. - 504с.
68. Отчет по геолого-экологическим исследованиям и картографированию масштаба 1:1000000 территории Амурской области. (Объект “Геоэкологический”,

Гр. № 47-95-34) / А.А. Жуковская А.А. [и др.] [Текст]. - Благовещенск: ФГУГП «Амур-геология», 1999. - 2 кн. - 104 с., 2 гр.пр.

69. Павлюк, Н.Г. Природное регионоведение [Текст] /Н.Г. Павлюк, В.И. Себин, М.П. Шиндялова. – Благовещенск: БГПУ, 2000. - 123 с.

70. Перельмутер, А. В. Устойчивость равновесия конструкций и родственные проблемы. Том 1 [Текст] /А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – М.: СКАД СОФТ, 2010. – 704 с.

71. Перельмутер, А.В. Устойчивость равновесия конструкций и родственные проблемы. Том 2 [Текст] / А.В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – М.: СКАД СОФТ, 2010. – 672 с.

72. Плиты перекрытий железобетонные предварительно напряженные стендового безопалубочного формования по ТУ 5842-001-57607516-2008. ИЖ 0-462-08.А. Выпуск А. Дополнение (рекомендуемое). Расчет и конструирование узлов опирания многпустотных плит перекрытий на стены зданий из кирпича или мелких блоков [Текст]. – Екатеринбург, 2008. - 23 с.

73. Плиты перекрытий железобетонные, предварительно напряженные стендового безопалубочного формования. ИЖ 0-462-08.А.Д. Выпуск А.Д. [Текст]. - Екатеринбург, 2015. - 12 с.

74. Попов, К.Н. Строительные материалы и изделия [Текст] / К.Н. Попов, М.Б. Каддо. - М.: Высшая школа, 2001. - 367с.

75. Путеева, Л. Е. Оптимизация сечений элементов плоских стержневых систем при многопараметрическом нагружении [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук /Л. Е. Путеева. – Томск: Изд-во Томск. гос. архитектурно-строит. ун-та, 2013. – 24 с.

76. Рекомендации по применению многпустотных плит перекрытий, изготовленных способом непрерывного формования на длинных стендах [Текст].- М., 2007. - 19 с.

77. Рыженко, В.Х. Электрические свойства бетонных диэлектриков с минеральной цеолитовой добавкой [Текст] / В.Х. Рыженко, А.В. Рыженко, С.В. Ланкин // Промышленное и гражданское строительство. – 2015. – № 9. – С. 41-46.

78. Рыженко, В.Х. Факторы, влияющие на формирование структуры электроизоляционных бетонов [Текст] /В.Х. Рыженко, А.В. Рыженко // Строительство и природообустройство. //Сб. научн. тр. ДальГАУ. – Благовещенск, 2002. – Вып.7. – С.83-88

79. Рыженко, В.Х. Бетоны, модифицированные добавками, для малоэтажного строительства [Текст] /В.Х. Рыженко, А.В. Рыженко. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2011. – 166 с.

80. Рыженко, В.Х. Влияние катодно-активированной воды затворения на прочность цементного камня [Текст] /В.Х. Рыженко, Ю.Г. Манцевич //Строительство и природообустройство на рубеже тысячелетия.: Труды международной науч.-техн. конференции / ДальГАУ. – Благовещенск, 2000. – С. 23-28..

81. Савченко, И.Ф. Болотные экосистемы Зейского Приамурья. //Геология и экология бассейна реки Амур [Текст]. – Благовещенск: 1989. - С.54-56.

82. Сборщиков, С.Б. Организация и факторы ценообразования системы логистики в строительстве [Текст] /С.Б. Сборщиков, Е.Е. Ермолаев. – М.: Стройинформиздат, 2012. – 200 с.

83. Сборщиков, С.Б. Аутсорсинг и аутстаффинг в строительстве [Текст] / С.Б. Сборщиков. – М.: Стройинформиздат, 2013. – 164 с.

84. Седых, Ю.И. Организационно-технологическая надежность жилищно-гражданского строительства [Текст] / Ю.И. Седых, В.М. Лазебник. – М.: Стройиздат, 1989. – 396 с.

85. Система земледелия Амурской области [Текст]: коллектив авторов / Агро-промышленный комитет администрации Амурской области, всероссийский научно-исследовательский институт сои.- Благовещенск. 2003.- 303с.

86. Система земледелия Амурской области [Текст]: производственно-практ. справ. / под общ. ред. д-ра с-х наук проф. П.В. Тихончука. - Благовещенск: ДальГАУ, 2016 - 570 с.

87. Снижение рисков в строительстве при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера [Текст]: Научное издание / А.Г. Тамразян [и др.]; под общ. ред. Тамразяна А.Г. - Издание второе. – М.: Издательство АСВ, 2012. – 304 с.

88. Теплотехнические особенности проектирования утепленных наружных стен с вентилируемым фасадом [Текст]: Учебное пособие / Б.В. Гусев, В.А. [и др.]. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – 117с.

89. Трутнева, Н.В. Отчет по ведению мониторинга экзогенных геологических процессов на территории Амурской области. Объект «Экзогенный – 97», гр. № 47-97-35. Прот. НТС № 296 от 30.12.98 [Текст] /Н.В. Трутнева. – Свободный: Амургеология, 1998. – 189 с.

90. Управление качеством строительной продукции. Техническое регулирование безопасности и качества в строительстве [Текст] / В.И. Теличенко [и др.]: Учеб. пособие. – Издательство АСВ, 2003. – 512 с.

91. Фролова, Е.В. Энергоэффективность многослойной конструкции стены при проектировании жилых зданий в г. Благовещенске [Текст] /Е.В. Фролова /Актуальные проблемы, современное состояние, инновации в области природообустройства и строительства: материалы всерос. заоч. науч.-практ. конф., посвящ. памяти д-ра техн. наук, проф., заслуж. мелиоратора РФ И.С. Алексейко (Благовещенск, 11 нояб. 2015 г.) /отв. ред. М.В. Маканникова. - Благовещенск: Изд-во ДальГГАУ, 2015. - С.123-129.

92. Цеолиты Амурской области [Текст] / В.В. Юрков [и др.] // Вестник ДВО РАН. – 2004. - №1. – с.69-80.

93. Эльсгольц, Л.Э. Дифференциальные уравнения. Теоретические основы механики деформирования и разрушения: монография [Текст] / В.В. Леденев, В.Г. Однолько, З.Х. Нгуен. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. – 312 с.

94. Эльсгольц, Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление [Текст] / Л.Э. Эльсгольц. - М.: Наука, 1969. – 424 с.

Электронные ресурсы:

95. Булгаков С.Н. Энергоэффективные строительные системы и технологии /С.Н. Булгаков //https://www.abok.ru/for\_spec/articles.php?nid=140

96. Гусев М.Н. Амурский комплексный научно-исследовательский институт АмурНИЦ ДВО РАН [Эл. ресурс] / М.Н. Гусев, Ю.В. Помигуев // Научные основы экологического мониторинга водохранилищ: материалы всерос. науч.-практ. конф. Хабаровск, 28 февр.-3 марта 2005 г. – Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2005. – 214 с. – (Дружининские чтения. Вып. 2) //http://rud.exdat.com/docs/index-812385.html?page=5#3860146).

97.НовостиРИА,2011[Эл.ресурс]// <http://ria.ru/eco/20111015/459668087.html#ixzz2nCFIrZxS>).

98.Стратегия социально-экономического развития Амурской области на период до 2025 года, утвержденная постановлением Правительства Амурской области от 13.07.2012 № 380 //http://invest.amurobl.ru

99. Энергоэффективные здания для села из местных строительных материалов //http://portamur.ru/.

100.Патент РФ № С 04 В40/02, 20.07.2005. Способ изготовления бетонных и железобетонных конструкций и изделий // Патент России № 2256633.2005. Бюл. № 20. / Костюков Н.С. (RU), Рыженко В.Х. (RU), Рыженко А.В. (RU).

*Научное издание*

ИНЖЕНЕРНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ,  
ОПТИМИЗАЦИИ МАТЕРИАЛОВ, РАСЧЕТОВ И УПРАВЛЕНИЯ  
В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ

*Монография*  
*под редакцией канд. экон. наук В.В. Бурчика*

*Редактор А.И. Казимова*  
*Компьютерная верстка С.В. Ковалёвой*

Лицензия ЛР 020427 от 25.04.1997 г. Подписано к печати 19.11.2019 г. Формат 60×90/8.  
Уч.-изд.л. – 10,6. Усл.-п.л. – 24,0. Тираж 500 экз. Заказ 92.

---

Отпечатано в отделе оперативной полиграфии  
издательства Дальневосточного государственного аграрного университета  
675005, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86