

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Архитектурно-строительный институт

(наименование института полностью)

Центр архитектурных, конструктивных решений и организации строительства

(наименование)

08.04.01 Строительство

(код и наименование направления подготовки)

Строительство, эксплуатация и реконструкция зданий и сооружений

(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему Железобетонная балка с применением бетона двух классов по
прочности на сжатие

Обучающийся

Н.В. Бражник

(Инициалы Фамилия)


(личная подпись)

Научный
руководитель

канд. техн. наук, доцент, Д.С. Тошин

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультант

канд. пед. наук, доцент, Е.А. Исаев

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Рецензент

канд. техн. наук, д-р экон. наук, профессор, А.А. Руденко

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2025

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1 Анализ применения балок в сборно-монолитных системах	6
1.1 Общие сведения о сборно-монолитных системах	6
1.1.1 Сравнительный анализ видов сборно-монолитных систем.....	10
1.2 Гибридная балка в строительстве.....	15
1.2.1 Балка с гибридными несущими слоями.....	15
Глава 2 Эффективность применения высокопрочного бетона в зависимости от параметров балки.	25
2.1 Подбор характеристик для балки сечением $300 \times 200(h)$	27
2.2 Подбор характеристик для балки сечением $200 \times 300(h)$	33
2.3 Анализ полученных результатов	38
Глава 3 Расчет железобетонной балки в системе АРКОС-1	41
3.1 Подбор требуемой площади арматуры для класса бетона В30.....	42
3.2 Подбор требуемой площади арматуры для класса бетона В90.....	44
3.3 Анализ полученных результатов.....	45
3.4 Проверка несущей способности для балок на основании расчета по предельным усилиям.	47
3.5 Проверка несущей способности балки расчетом с использованием деформационной модели.	51
3.6 Проверка несущей способности балки с двумя классами бетона.....	62
Глава 4 Конструирование гибридной балки и проведение технико-экономического сравнительного анализа.	66
4.1 Конструирование новой балки.	66
4.2 Экономическая целесообразность применения новой модели.	70
Заключение	72
Список используемой литературы и используемых источников.....	72
Приложение А	78

Введение

Актуальность работы. С каждым годом происходит рост цен на строительные материалы, что отражается на стоимости возведения здания и квадратного метра жилья. Увеличение несущей способности за счет минимальных вложений – актуальный вопрос. В магистерской диссертации было разработано решение, позволяющее решить эту проблему.

Степень разработанности темы. Применение двух классов бетона изучено при усилении конструкций, однако при новом строительстве это практически неизученная тема. К тому же большинство проектировщиков нацелены на упрощение проекта, поэтому очень неохотно вводят в свои проекты гибридные конструкции.

Объектом исследования магистерской диссертации является монолитная железобетонная балка с применением двух классов бетона.

Предметом исследования магистерской диссертации является несущая способность и экономическая целесообразность применяемой балки.

Цель исследования заключается в разработке конструктивного решения железобетонной балки с применением бетонов двух классов по прочности на сжатие, расчетной оценке несущей способности и технико-экономической эффективности в сравнении с традиционной конструкцией.

Гипотеза состоит в том, что при использовании высокопрочного бетона в сжатой зоне, можно не только уменьшить диаметр рабочей арматуры, но и сэкономить на бетоне в растянутой зоне, применив бетон средней прочности. Это в совокупности повлияет на итоговую стоимость конструкции и покажет максимальный экономический эффект.

Для достижения цели необходимо выполнить следующие задачи:

– анализ основных применяемых сборно-монолитных систем, их сравнение и выбор подходящей для исследования балки в выбранной системе;

- выбор оптимального сечения для эффективного применения высокопрочного бетона и расчет по предельным усилиям;
- разработка конструкции балки с применением двух классов бетона и проектирование BIM модели;
- проверка экономической целесообразности разработанной модели;
- разработка рекомендаций по технологии изготовления конструкции.

Теоретический метод исследования:

- поиск, подбор и анализ существующей научной литературы, связанной с диссертацией;
- выполнение теоретических расчетов для определения несущей способности;
- обоснование эффективности использования новой модели по техническим и экономическим показателям.

Научная новизна исследования:

- разработка нового типа железобетонной балки с использованием двух классов бетона;
- получение в результате расчета характеристик нового типа балки, которые в дальнейшем можно использовать для проведения экспериментов и последующего внедрения в практику строительства.

Практическая значимость исследования состоит в разработке новой модели, имеющей более экономичные и эффективные параметры. В дальнейшем при проведении профессиональных испытаний и расчетов, а также утверждения в качестве безопасной конструкции, ее можно будет использовать в сборно-монолитном и монолитном строительстве.

Достоверность результатов исследования заключается в расчете балки по предельным усилиям и деформационной модели. Эти методики прописаны в СП 63.133330.2018. А также при проектировании соблюдались все конструктивные требования, согласно тому же СП.

Личное участие автора. В проведенном исследовании Автор проводил сбор и анализ информации, расчеты двух конструкций и моделирование

конструкции в 3Д программе. Также составлял 2 локальные сметы, а позже выполнял сравнительный анализ. После проведения анализа Автор обосновал эффективность использования двух классов бетона в строительстве.

Апробация результатов работы проводилась на протяжении всего исследования. Так же за это время были опубликованы две статьи, участие в мероприятиях и подана заявка на патент на изобретение:

- Всероссийская студенческая научно-практическая междисциплинарная конференция «Молодежь. Наука. Общество», г. Тольятти, 16-20 декабря 2024 г.;
- Представление гибридной балки в качестве проекта в государственной программе Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» «АвтоТех2.0», г. Тольятти, 29 ноября 2024 г.;
- Победа в конкурсе на финансирование студенческих научно-исследовательских и инновационных проектов, г. Тольятти, 15.04.2025 г.;
- 12-я Международная молодежная научная конференция «БУДУЩЕЕ НАУКИ – 2025», г. Курск, 17-18 апреля 2025 г.;
- Регистрация заявки патента на изобретение в «Федеральный институт промышленной собственности», г. Москва, дата регистрации 04.12.2024 г.

На защиту выносятся:

- Конструкций железобетонной балки с применением бетона двух классов;
- Результаты расчетов с оценкой полученной информации;
- Техничко-экономический сравнительный анализ;
- Обоснование эффективности применения новой конструкции.

Структура магистерской диссертации. Работа состоит из введения, 4-х глав, заключения, содержит 22 рисунка, 8 таблиц, список используемой литературы (30 источников), приложение А с 2-мя таблицами. Основной текст работы изложен на 77 страницах.

Глава 1 Анализ применения балок в сборно-монолитных системах

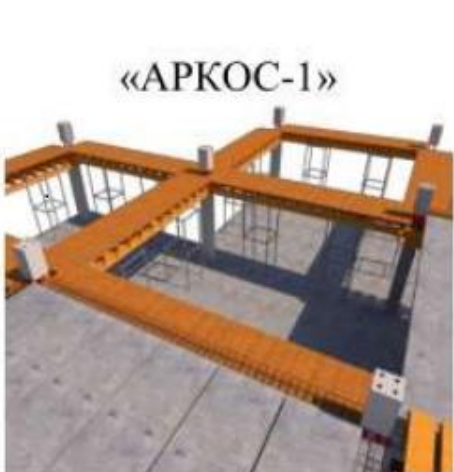
1.1 Общие сведения о сборно-монолитных системах

Сборно-монолитное строительство имеет множество преимуществ по сравнению с монолитным. «Главным недостатком монолитного домостроения является высокая стоимость и продолжительность строительства, а также зависимость от погодных условий и квалификации рабочих. Зимой требуются специальные добавки в бетон и его прогрев, что увеличивает затраты на строительство.

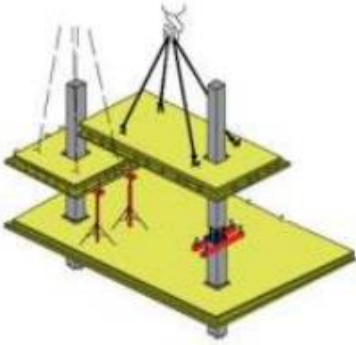
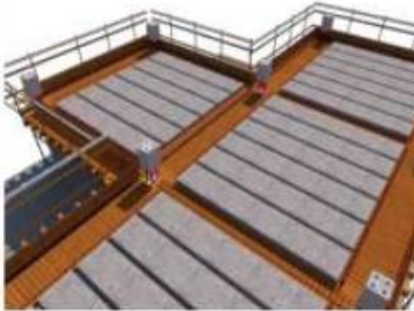
Однако, значительным преимуществом является возможность возводить здания любой конфигурации без зависимости от индустриальной базы, таких как железобетонные и деревянные конструкции.

Сборно-монолитные системы устанавливаются быстрее, обеспечивая высокий уровень полно сборности с должным контролем качества на заводах, что обеспечивает надежность и долговечность построенных объектов. Основные сборно-монолитные системы приведены в таблице 1.

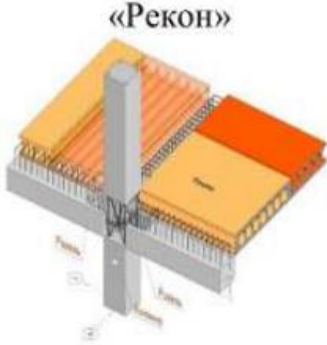
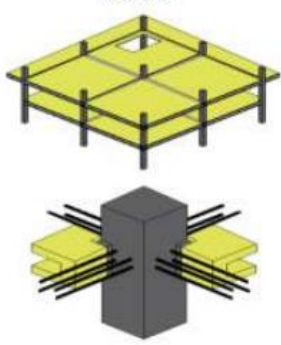
Таблица 1 – Основные сборно-монолитные системы

Сборно-монолитная система	Конструктивные элементы
	«Каркас состоит из сборных колонн, многопустотных плит перекрытий, расположенных в створах колонн и монолитных балочных ригелей, арматура которых поэтажно пропущена через открытые незамоноличенные участки сборных колонн» [3]. «Многопустотные плиты опираются на монолитные ригели через бетонные шпонки, образованные замоноличенными на торцах плит участками пустот. Шаг колонн до 8,4 м как вдоль, так и поперек здания» [5]. «При применении такой системы снижается вес здания в два раза по сравнению с крупнопанельным домостроением, а расход

Продолжение таблицы 1

Сборно-монолитная система	Конструктивные элементы
Разработана институтом БелНИИС (г. Минск, Беларусь) в 1999 г. под руководством А.И. Мордича.	металла составляет 75-85 кг/м³, что на 40 процентов меньше чем в монолитном исполнении, при этом расход сборного железобетона до 0,17 м³ /м²»[21].
«КУБ 2.5»  Разработана в 60-х годах XX в. ЦНИИЭП жилища под руководством А.Э. Дорфамана и Л.Н. Левонтина.	«В качестве стоек каркаса служат многоярусные колонны, роль ригелей выполняют плиты перекрытия, которые устанавливаются через специальные отверстия на колонны. Основу диска перекрытия составляют 3 типа плит: над колонные, межколонные и средние»[1]. Здания могут проектироваться с пролетами 3,6,12 и 18 метров; с шагом колонн от 3 до 7,5 м; высотой этажей 2,8; 3,0; 3,3; 4,2; 4,5 м.
«СОЧИ»  Система разработана в 1962 г. специалистами ЦНИИЭП при участии НИИЖБа (Москва).	Система состоит из железобетонных плит перекрытий, между торцами которых устанавливают монолитные плитные ригели. По длинным сторонам плит оставляют зазоры, в которых образуются монолитные меж плитные балки. Эти же балки служат шпонками для включения плит в совместную работу с главной балкой. Основные пролеты ригелей принимают от 3 до 7,2 м, шаг ригелей не лимитируется.

Продолжение таблицы 1

Сборно-монолитная система	Конструктивные элементы
«УДС»  Основана в 2003 г. в г. Екатеринбург проектно-конструкторским центром «Каркасные технологии» и научно-производственный центр «СТРОЙТЕХ», Москва.	Основными элементами каркаса являются сборные многоярусные колонны, имеющие просечки в уровне перекрытий и сборно-монолитные ригели лоткообразной формы, которые поэтажно объединены сборно-монолитными дисками перекрытий. За счет использования предварительно напряженных плит безопалучного формования достигается возможность перекрывать пролеты длиной до 12 м.
«Рекон»  Основана в 1997 г. в г. Чебоксары ОАО «Чебоксарский ДСК», является прототипом французской системы PPB-Saret (Франция, 1981 г.)	«Сборно-монолитный каркас состоит из сборных многоярусных колонн с просечками в уровне перекрытий и ригелей балочной конструкции в виде «корыта» с углублением в его опорной части для установки узловой арматуры и заполняемое бетоном; которые поэтажно объединены сборно-монолитными дисками перекрытий, которые служат несъемной опалубкой для монолитного армированного слоя, укладываемого сверху» [20]. Шаг колонн от 1,5 до 7,2 м.
ИМС  Основана в 1957 г. в Югославии проф. Б. Жежелем.	В уровне перекрытий каждого этажа в соединениях плит перекрытий и покрытий, в поперечном и продольном направлениях устраиваются каналы. В каналы взаимно-перпендикулярно прокладывается арматура или канаты, которым дается натяжение. Затем производится замоноличивание швов и каналов. Система ИМС может иметь сетку колонн с квадратными или прямоугольными ячейками, имеющими параметры от 3×3 до 7,2×7,2 м. Каждая ячейка состоит из четырех колонн и расположенной между ними плиты перекрытия.

Основным достоинством конкурирующих технологий является свободная планировка помещений и возможность перепланировок на этапе проектирования, строительства и эксплуатации. Внешние и внутренние стены выполняют только ограждающую функцию, что позволяет использовать легкие строительные материалы, соответствующие требованиям по теплоизоляции зданий. Заполнение каркаса выполняют стенами различного типа, что придает зданию выразительный архитектурный облик» [7].

«Сборно-монолитные каркасы в среднем сокращают потребность в бетоне с $0,7 \text{ м}^3$ на 1 м^2 общей площади до $0,4 \text{ м}^3$ » [9]. Расход арматуры уменьшается в 1,5-2 раза. Экономия цемента, металла, других материалов, энергоресурсов и транспортных расходов достигается предварительным напряжением элементов каркаса на заводских станках.

«С использованием сборно-монолитных систем можно значительно снизить конечную стоимость строительства, включая уменьшение кредитной нагрузки во время производства СМР, на 45 процентов» [11]. Кроме того, использование СМКД увеличивает полезный объем здания по сравнению со сборными системами, так как участок опирания находится на одном уровне со сборными плитами, что позволяет уменьшить высоту балок перекрытий.

Общий вес здания оказывается на 25-30 процентов ниже, чем при использовании кирпичных стен или монолитного строительства, что влечет за собой снижение транспортных расходов и затрат на фундаментные работы.

Нормативный срок сборки каркаса СМКД в два раза меньше, чем у монолитного способа, и за месяц можно возвести до 4 тысяч квадратных метров жилья «под одним краном».

Строительные работы при использовании сборно-монолитных систем экологичны, поскольку сборку элементов осуществляют изделиями, изготовленными в заводских условиях, и отсутствие бетонной пыли благотворно влияет на окружающую среду и оказывает положительное воздействие на организм человека.

Среди основных сборно-монолитных систем, широко известных в России, следует отметить «Аркус-1» – архитектурно-конструктивную открытую систему, «Куб-2.5» – универсальный безригельный каркас, «УДС» – универсальную домостроительную систему, «ИМС» – сборно-монолитную систему, созданную Институтом испытания материалов Сербии (Белград), «СОЧИ», «Рекон».

1.1.1 Сравнительный анализ видов сборно-монолитных систем

Изучив литературу и научную статью по данной теме, был произведен анализ каждой сборно-монолитной системы. Были изучены различные условия и параметры данных систем.

Первоначально были изучены преимущества и недостатки систем, представленных в таблице 2.

Таблица 2 – Преимущества и недостатки сборно-монолитных систем

Сборно-монолитная система	Преимущества	Недостатки
АРКОС-1	– отсутствие сварных стыков сопряжения ж/б элементов друг с другом; – возможность строительства зданий с повышенной этажностью за счет сопряжения колонны и ригеля выпуском арматуры из колонны; – возведение зданий в условиях сейсмичности до 10 баллов; – «обеспечение свободной планировки без выступающего ригеля; – возможность использования широко распространенной базы производства сборных железобетонных элементов для возведения зданий»[10].	– «монтаж перекрытий требует установки опалубки монолитных ригелей; – при замоноличивании стыка «ригель-колонна» происходит усадка бетонной смеси, что может вызвать дополнительные деформации каркаса»[10].

Продолжение таблицы 2

Сборно-монолитная система	Преимущества	Недостатки
КУБ 2.5	– минимальный объем сварочных работ; – отсутствует необходимость в установлении опалубки; – «возможность консольно выносить плиты перекрытия за оси крайних колонн (1,5 м) и придавать им по их наружному обрезу практически любую форму в плане» [14]; – выдерживает сейсмичность до 9 баллов; – «требуется небольшое количество монтажников на стройплощадке, что снижает риски человеческого фактора; монтаж каркаса можно вести в любых погодных условиях, что расширяет сезонные сроки строительства» [14].	– «трудоемкость обустройства стыка между плитами; – необходимость в специальных приспособлениях (стойки, кондукторы, опорные столики) при монтаже» [14]; – низкая технологическая надежность центровки плиты перекрытия относительно колонны; – сложность транспортировки элементов.
СОЧИ	– «повышенная сейсмостойкость, жесткость и устойчивость системы» [19].	– «большие объемы работ по установке опалубки для плитного ригеля и меж плитных балок» [12]; – технологические перерывы для набора прочности бетона; – высокая трудоемкость монтажа.
УДС	– высокая скорость монтажа каркаса; – небольшой объем работ по замоноличиванию стыков; – требует меньше оснастки; – практически отсутствуют сварочные процессы.	– не распространенность заводов, специализирующихся на данной технологии; – ухудшение объемно-планировочных решений из за выступов лоткового ригеля из плоскости перекрытия.
Рекон	– «высокая степень монтажа, позволяет возводить здания до 40 этажей с сейсмичностью до 10 баллов;	– «большие объемы монолитных работ; – полка ригеля выходит за плоскость потолка, что отражается в интерьере;

Продолжение таблицы 2

Сборно-монолитная система	Преимущества	Недостатки
Рекон	– отсутствие сварочных работ на стройплощадке и невысокие требования к квалификации рабочего персонала;	– «омоноличивание штепсельного соединения колонн затруднено при низких температурах, что приводит к увеличению сроков строительства»[30];
	– возможность использования широко распространенной базы производства сборных железобетонных элементов для возведения зданий» [27].	– необходимость симметричного загрузения сборно-монолитных ригелей при использовании стандартной оснастки» [30]; – низкая технологическая надежность монтажа сборной части сборно-монолитного рядового и торцевого ригеля, сборных панелей шахт; – «совместная работа сборно-монолитной плиты перекрытия создается за счет сцепления бетона по плоскости контакта сборной предварительно напряженной и монолитной части перекрытия.»[26]
ИМС	– малая толщина перекрытия; – гладкие потолки; – свободная планировка; – возможность устройства веранд и лоджий; – уменьшение сроков строительства за счет отсутствия ригелей.	– небольшое количество монтажных элементов и их типоразмеров; – наличие технологического перерыва, непосредственно перед натяжением арматуры необходимого для твердения раствора в контактных швах при монтаже следующего диска плит перекрытий.

ООО «Институт проектирования СМКпроект» провело сравнительный анализ стоимости строительства трех многоэтажных жилых домов, используя разные технологии домостроения.

В таблице 3 представлены результаты сравнительного анализа затрат между сборно-монолитной, монолитной и панельной технологиями для возведения жилых зданий в городах Липецк, Курчатова и Челябинск.

«Таблица 3 – Сравнительный анализ стоимости возведения жилых домов по технологиям монолитного, сборно-монолитного и панельного домостроений.

г. Курчатов Курской области, микрорайон №2, 16-ти этажный жилой дом	
Технология монолитного домостроения	Технология сборно-монолитного домостроения «АРКОС»
90682768,85	75252649,93 руб.
Итого разница на здание с НДС 20 процентов	15 430 118,92 руб.
Снижение стоимости возведения каркаса при использовании технологии сборно-монолитного домостроения	20,5 процентов
г. Липецк, микрорайон №29, 10-ти этажный жилой дом 12	
Технология монолитного домостроения	Технология сборно-монолитного домостроения «РЕКОН»
152800980,00 руб.	128642880,00 руб.
Итого разница на здание с НДС 20 процентов	24158100,00 руб.
Снижение стоимости возведения каркаса при использовании технологии сборно-монолитного домостроения	18,8 процентов
г. Челябинск, Металлургический район, многоэтажный жилой дом	
Технология монолитного домостроения	Технология сборно-монолитного домостроения «АРКОС»
154367846,8 руб.	99743373,94 руб.
Итого разница на здание с НДС 20 процентов	54624472,86 руб.
Снижение стоимости возведения каркаса при использовании технологии сборно-монолитного домостроения	35,4 процентов» [13]

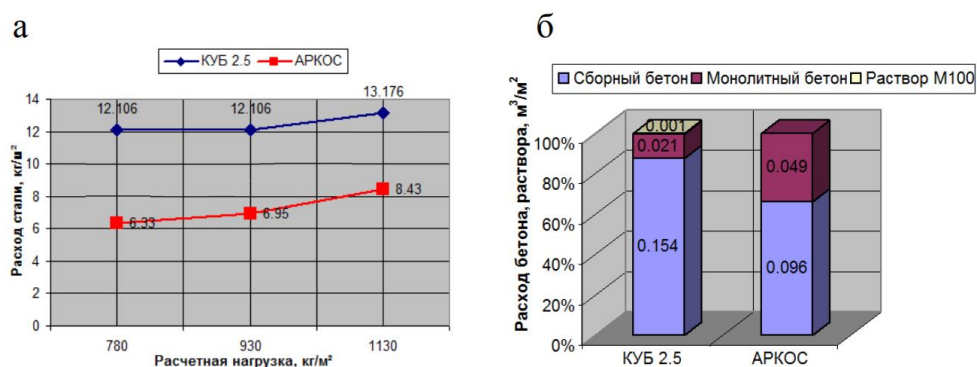
Согласно статье [25] в 2016 году в Екатеринбурге был произведен подсчет инновационного потенциала, представленный в таблице 4.

Таблица 4 – Индексы факторов инновационного потенциала

Наименование системы	I_M (масштабность в регионе)	I_T (технологичность)	I_H (нормативное обеспечение)	I_P (репутация)	I_{II} (изобретательский уровень)
Рекон	0,6	0,49	0,21	0,4	0,46
АРКОС(Серия Б1.020.1-7)	0,36	0,55	0,6	0,6	0,66
КУБ-2,5	0,84	0,5	0,8	0,6	0,22
УДС	0,6	0,49	0,21	0,4	0,17

Примерно равным инновационным потенциалом обладают системы «АРКОС-1» (I равно 0,566) и КУБ-2,5 (I равно 0,535). Данные системы также отличаются достаточно высокой технологичностью. «Кроме этого, на технологические и конструктивные решения по системе «АРКОС» получено большое количество патентов, включая зарубежные, а решения по системе «КУБ-2,5» легли в основу нескольких систем: КБК, КУБ-3V, УИКСС, для которых получено более 10 патентов» [25].

Также согласно статье [4] был представлен расход материалов 2 систем (рисунок 1).



а – сталь; б – бетон и цементно-песчаный раствор

Рисунок 1 – Расход материалов в сборно-монолитных перекрытиях каркасных систем

Исходя из выше представленных результатов, из всех систем наибольший потенциал и преимущества имеет система АРКОС-1. Именно в этой системе будет проектироваться гибридная балка. «Однако, применение того или иного сборно-монолитного каркаса определяется исходя из комбинации разных условий: ресурс времени, материальные и трудовые затраты, легкость монтажа, природно-климатические условия, архитектурно-планировочные решения» [5]. Поэтому однозначно определить какую именно систему использовать нельзя.

1.2 Гибридная балка в строительстве

В строительстве существует огромное количество гибридных конструкций, список которых пополняется с каждым годом. Для диссертации были выбраны все конструкции схожие с идеей использования двух классов бетона.

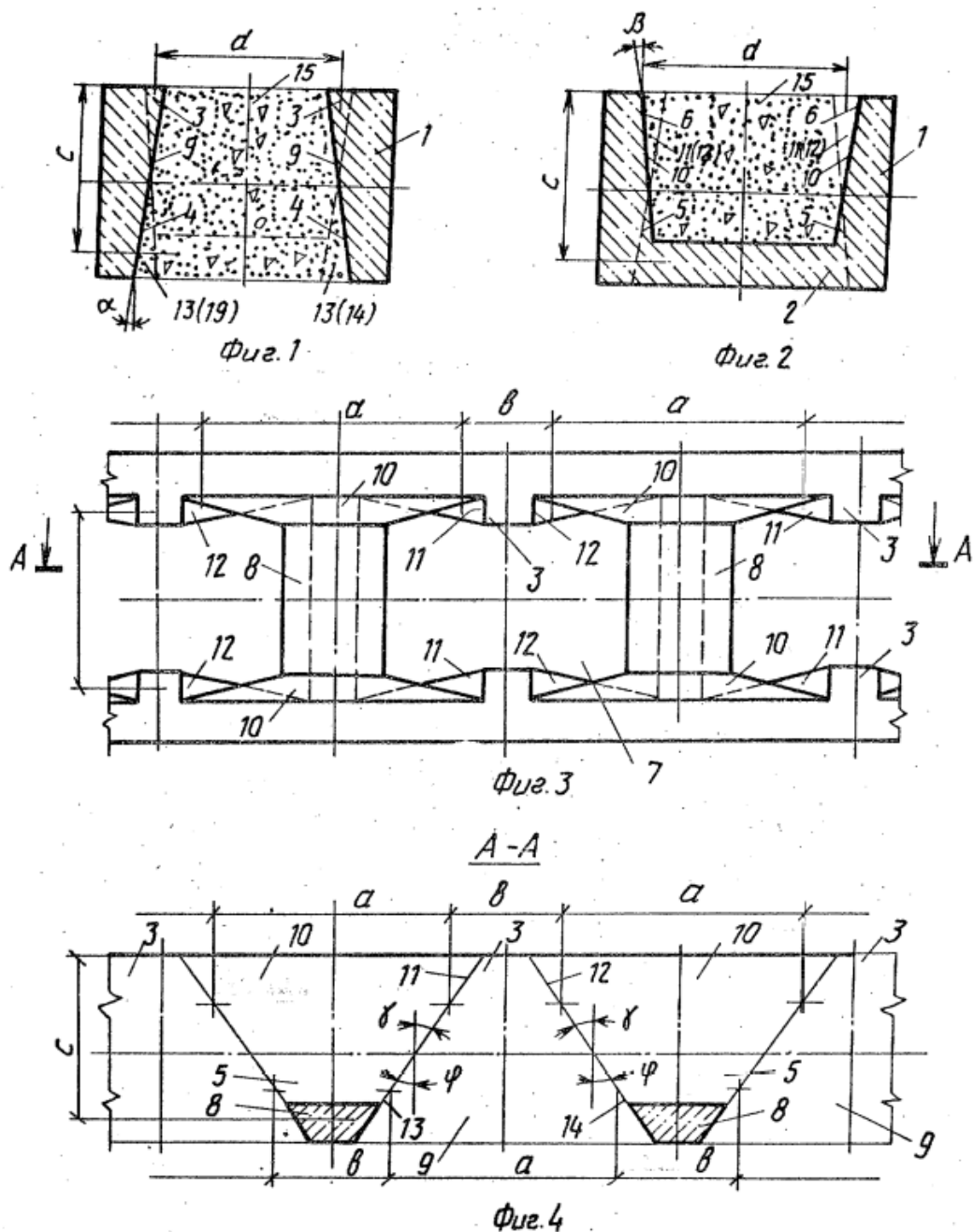
1.2.1 Балка с гибридными несущими слоями

На данный момент существует несколько запатентованных моделей гибридных балок:

1. Одной из моделей запатентованной в 1980 году является гибридная балка (рисунок 2).

Сборно-монолитная конструкция включает в себя лоткообразную оболочку со шпоночными элементами на внутренней поверхности стенок и днища, а также монолитный сердечник. Толщина смежных шпоночных элементов стенок оболочки увеличена поперечно кверху и книзу, образуя контруклоны, которые заклинивают монолитный сердечник в сборной лоткообразной оболочке в поперечном направлении конструкции. Это повышает несущую способность конструкции. Шпоночные углубления в днище лотка выполнены сквозными и обеспечивают непосредственную связь монолитного сердечника с нижележащей конструкцией через контакт

монолита с нижележащим сплошным основанием. Кроме того, присутствуют вертикальные связи стен здания с монолитным сердечником, что также увеличивает несущую способность между конструкцией и основанием.



Фиг.1 – поперечный разрез, со шпоночными элементами, увеличенными кверху; Фиг.2 – со шпоночными элементами, увеличенными книзу; Фиг.3 – лоткообразная оболочка вид сверху; Фиг.4 – разрез А – А

Рисунок 2 – Гибридная балка

«Смежные шпоночные элементы стенок лоткообразной оболочки уширены поочередно кверху и книзу вдоль плоскости оболочки, образуя контруклоны заклинивающие монолитный сердечник в сборном элементе вдоль конструкции, увеличивая ее несущую способность и повышая сейсмостойкость, улучшая технологичность образования шпоночных элементов, уменьшая усадочные деформации, уширениями книзу шпоночными элементами, препятствующими наклонным граням свободному прохождению усадки» [2].

Однако конструкция не исключает возникновения напряжений в контактирующих слоях элементов, но эти напряжения не могут привести к полному расслоению соединяемых элементов, к выходу монолитного сердечника из лоткообразной полости.

2. Следующее изобретение, запатентованное в 2015 году (рисунок 3), относится к мостостроению. Гибридное пролетное строение состоит из предварительно напряженных балок из полимерного композиционного материала и железобетонной плиты. Балки соединены поперечными связями и железобетонной плитой, которая включена в работу балок при помощи металлических упоров. Балки выполнены из полимерного композиционного материала и формируются из полимерных композиционных профилей, расположенных в два или три яруса, имеющих стенку и две полки каждый, связанных друг с другом по плоскостям прилегания и соединенных поперечными связями, выполненными в виде диафрагм «из полимерных композиционных профилей. Ярусы при изготовлении балок предварительно выгибают для создания строительного подъема и предварительного напряжения и объединяют в готовую балку в выгнутом положении.

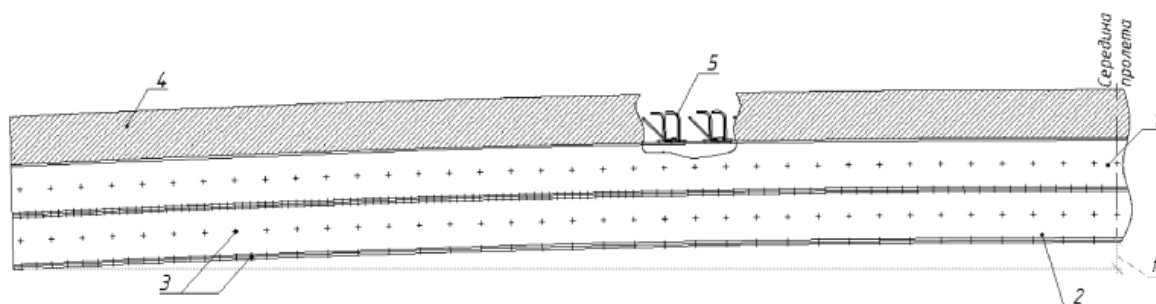


Рисунок 3 – Схема пролетного строения с двухъярусными балками

«Применение для гибридного пролетного строения в качестве материала балок полимерного композиционного материала снижает вес конструкции, облегчает опоры моста, удешевляет транспортные и строительные операции» [20]. Предварительный выгиб ярусов балок с целью создания строительного подъема и соединение ярусов друг с другом в выгнутом состоянии создает предварительное напряжение в балках, что позволяет уменьшить суммарные напряжения от всех нагрузок и за счет этого уменьшить расход материала.

3. Следующая конструкция, запатентованная в 2019 году, является предварительно напряженной сталебетонная балка (рисунок 4).

Предварительно напряженная сталебетонная балка включает прокатные профили, образующие коробчатую балку, внутри которой размещены арматура и бетон. При этом содержит опорные диафрагмы, полый трубчатый элемент в нижней части коробчатой балки, внутри которого расположена затяжка, стенка коробчатой балки выполнена с перфорациями.

«Несущая способность предварительно напряженной сталебетонной балки обеспечивается подбором класса бетона, марки стали, размеров поперечного сечения элементов» [16], параметров перфораций, величины натяжения затяжки, шага шпилек. Применение предлагаемого технического решения позволит снизить материалоемкость предварительно напряженной сталебетонной балки.

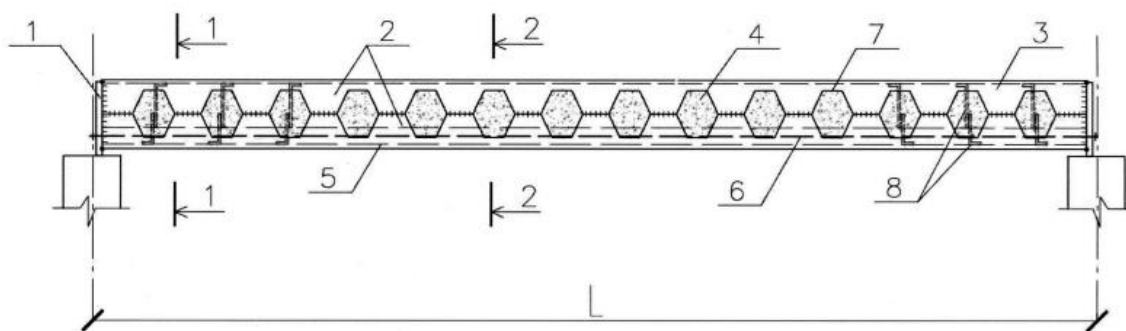


Рисунок 4 – Общий вид сталебетонной балки

«Несущая способность предварительно напряженной сталебетонной балки обеспечивается подбором класса бетона, марки стали, размеров поперечного сечения элементов» [16], параметров перфораций, величины натяжения затяжки, шага шпилек. Применение предлагаемого технического решения позволит снизить материалоемкость предварительно напряженной сталебетонной балки.

4. Следующая модель (рисунок 5) запатентована в 2023 году.

Гибридная балка содержит сталефибробетонные профили несъемной опалубки, состоящие из стенок и поясов. В профилях также присутствует бетон омоноличивания и, при необходимости, регулярная арматура. Сталефибробетонные профили несъемной опалубки выполнены из бетона с фибровым армированием стальными фибрами. Эти профили могут быть снабжены наружным слоем, выполненным из бетона, дисперсно-армированным неметаллической фиброй.

«Использование сталефибробетонных профилей (1) несъемной опалубки совместно с бетоном омоноличивания (4) обеспечивает несущую способность гибридной балки при действии напряжений общего изгиба, снижает затраты на устройство традиционной съемной опалубки, что позволяет уменьшить расход стали, бетона, сроки производства работ и, как следствие, снизить материалоемкость и трудоемкость изготовления гибридной балки при повышении эксплуатационных свойств» [18].

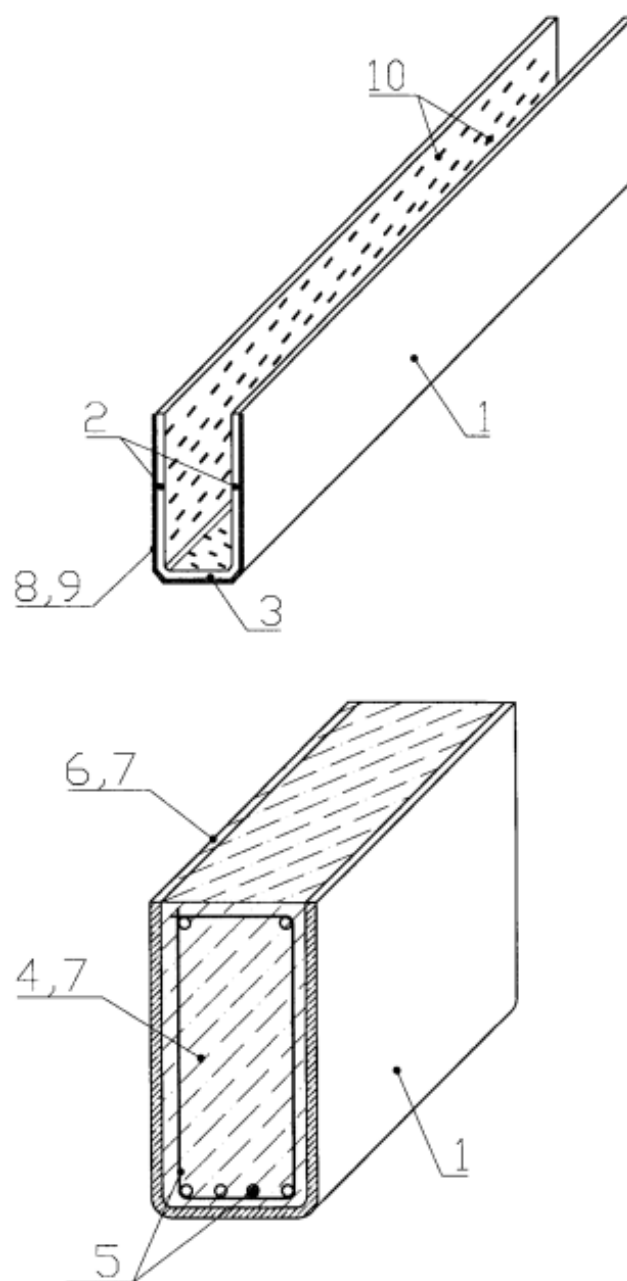


Рисунок 5 – Общий вид гибридной балки

Технический результат – снижение материалоемкости, трудоемкости изготовления, повышение эксплуатационных характеристик балки.

5. Также была запатентована в 2021 году еще одна сталежелезобетонная балка (рисунок 6).

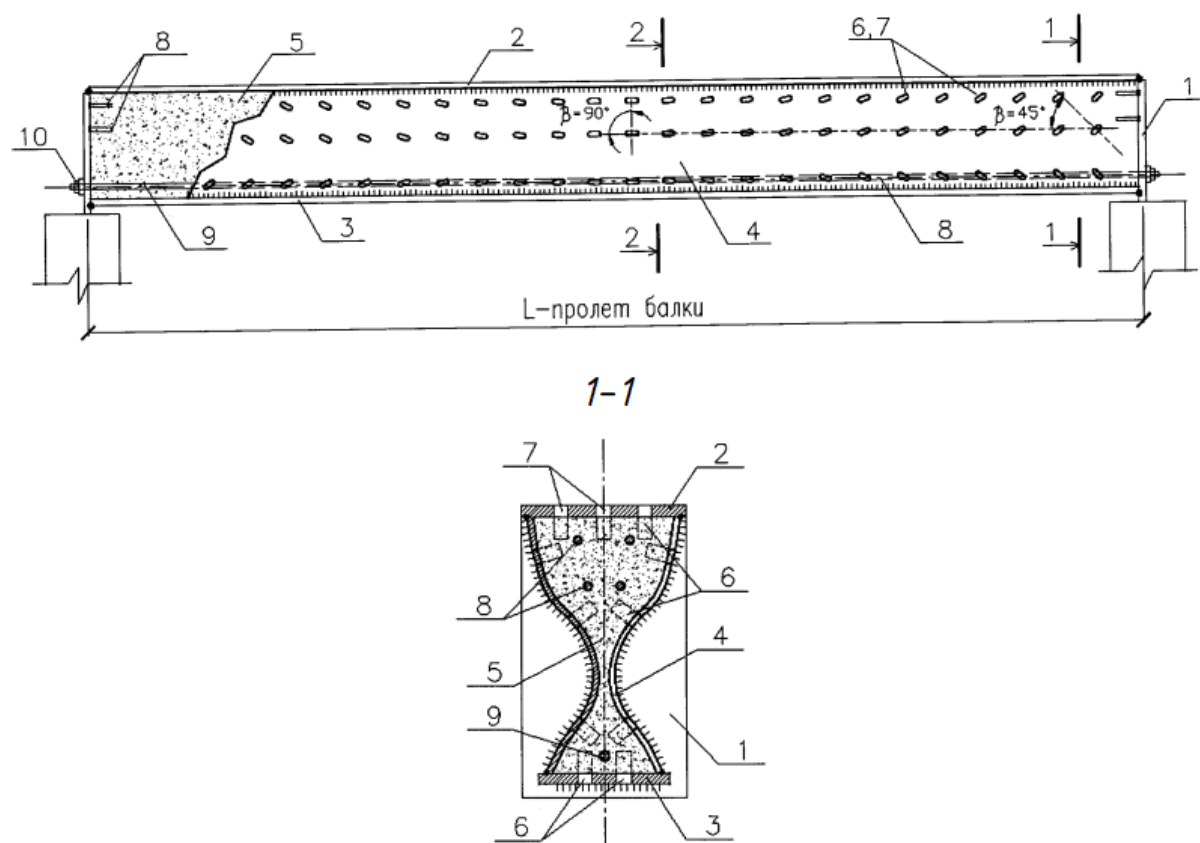


Рисунок 6 – Общий вид балки, поперечное сечение 1-1

«Сталежелезобетонная балка включает опорные диафрагмы, листы верхнего и нижнего поясов и стенок, образующие замкнутый контур, заполненный бетоном. Листы поясов и стенок имеют выштампованные анкерные элементы» [17]. На внутренних поверхностях опорных диафрагм расположены упоры. Опорные диафрагмы соединены напрягаемой арматурой, которая закреплена к наружным поверхностям опорных диафрагм в зоне нижнего пояса при помощи анкерных элементов. Листы стенок по высоте сечения балки имеют выпукло-вогнутую форму, соответствующую эпюре нормальных напряжений в бетоне от внешней нагрузки в верхней части сечения и эпюре нормальных напряжений в бетоне от натяжения напрягаемой арматуры в нижней части сечения [15].

Применение предлагаемого технического решения позволит снизить материалоемкость сталежелезобетонной балки.

6. Следующая модель (рисунок 7) отличается от предыдущих тем, что создается гибридная конструкция из дерева и железобетона. Преимуществом этих конструкций перед массивными деревянными во многих случаях является их низкая стоимость. Они также обеспечивают эксплуатационные характеристики, необходимые для возводимых зданий, при снижении технико-экономических показателей.

«Деревянная часть работает в растянутой зоне перекрытия, а бетонная - в сжатой, что означает рациональное использование свойств материалов. Такое перекрытие называют Holz-Beton-Verbunddecke» [24]. Увеличивается уровень шумоизоляции и степень огнестойкости конструкции.



Рисунок 7 – Гибридная конструкция перекрытия австрийской компании Сгее
Сегодня в Германии, Австрии и Швейцарии есть ряд фирм, которые специализируются только на этих конструкциях, однако в России такая модель имеет маленький спрос.

7. «В составных конструкциях, в случае домоноличивания сборной части балки новым бетоном при горизонтальном расположении шва контакта бетонов, варианты домоноличивания могут быть представлены плоским контактом, либо в виде плоскости с продольными шпонками» [8]. Однако, в таких конструкциях без должной анкеровки сила трения возрастает, что

приводит к проскальзыванию 2 составных частей. Для этого были спроектировано оптимальное расположение шпонок (рисунок 9).

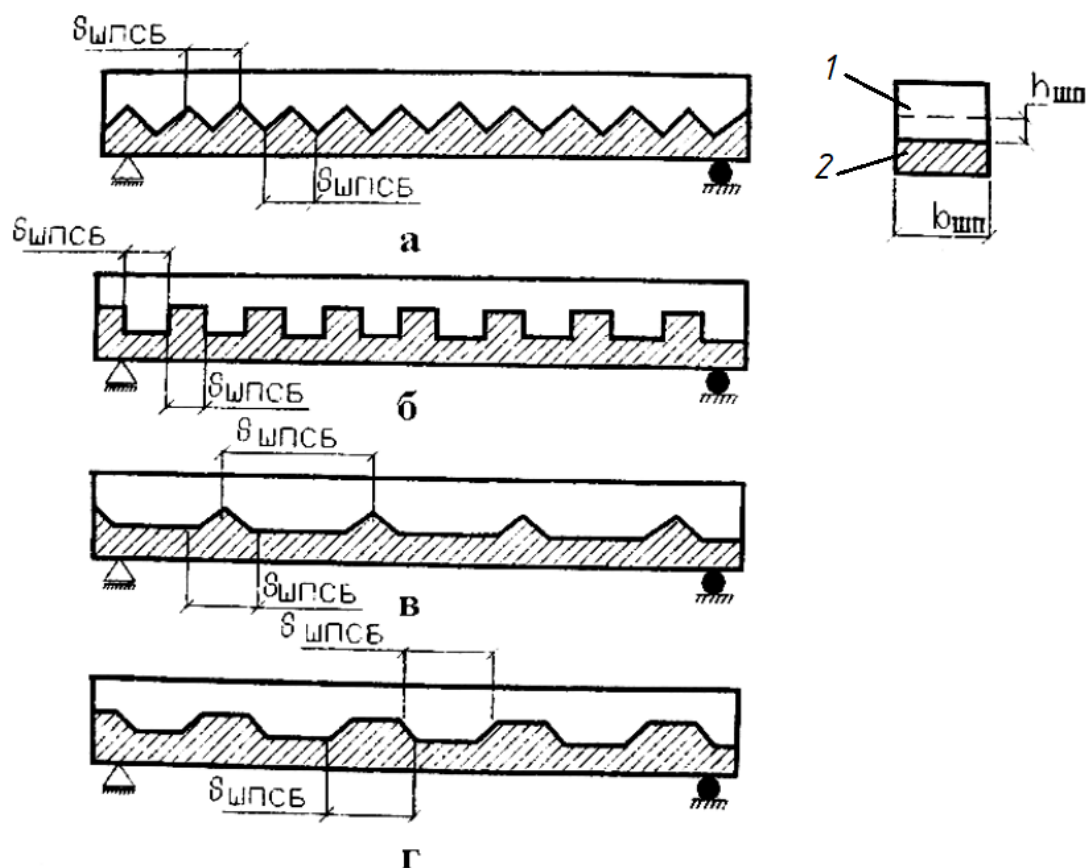


Рисунок 9 – Варианты поперечных шпонок в однопролетных балках

Кроме того, для успешного применения нового бетона необходимо обеспечить одинаковую прочность в различных составах. Область значений, близких к оптимальным для кубической прочности нового бетона и его прочности на растяжение, также должна соответствовать оптимальным значениям для прочности контакта на срез.

Результаты испытаний сборно-монолитных балок подтверждают расчетные предположения, представленные различными исследователями. Однако, при одинаковой прочности нового бетона, прочность контакта в балках зависит от состава нового бетона, уровня массопоглощения и степени технологических повреждений старого бетона.

Выводы по первой главе.

В 1 главе был проведен анализ информации, связанной с железобетонной балкой. Для целесообразного использования новой модели балки в первую очередь было определено направление в строительстве, а именно система, которая имеет наилучшие характеристики как физические, так и экономические. Как было сказано ранее, сборно-монолитная система АРКОС-1 занимает лидирующую позицию, однако в дальнейшем нужно произвести расчеты, чтобы понять целесообразно применять два класса бетона в данной системе или нет.

После этого был рассмотрен ряд схожих изобретений, а именно гибридных балок с применением нескольких классов бетона, подчеркнуты плюсы и минусы конструкций, для дальнейшего учета в работе.

Для новой модели нужно будет подобрать такие условия, чтобы балка удовлетворяла требованиям сборно-монолитной системы и обеспечивала необходимую несущую способность. А также имела физическую, эстетическую и экономическую целесообразность.

Глава 2 Эффективность применения высокопрочного бетона в зависимости от параметров балки.

На начальном этапе расчетов необходимо понять, в каких случаях применение высокопрочного бетона целесообразно, а в каких нет. Для этого проведем несколько расчетов, в которых подберем эффективное сечение балки, а также проследим за изменениями применяемой арматуры при повышении класса бетона.

Эффективность применения высокопрочного бетона будет рассматриваться для двух сечений балки ($300 \times 200(h)$; $200 \times 300(h)$) с одинаковой эксплуатационной нагрузкой. Для этого произведем сбор нагрузок на балку в жилом здании. Длину балки примем стандартную – 6 м.

Расчетные нагрузки:

а) Собственный вес железобетонной балки:

$$0,3\text{м} \cdot 0,2\text{м} \cdot 1\text{м} \cdot 2500 \text{ кг/м}^3 \cdot 1,1 = 165 \text{ кг/м пог.}$$

б) Плиты перекрытия:

$$300 \text{ кг/м}^2 \cdot 6\text{м} \cdot 1,1 = 1980 \text{ кг/м пог.}$$

в) Полы:

$$0,08 \cdot 1800 \text{ кг/м}^3 \cdot 1,3 \cdot 6\text{м} = 1125 \text{ кг/м пог.}$$

г) Максимальная полезная нагрузка (люди и оборудование в коридорах):

$$300 \text{ кг/м}^2 \cdot 1,2 \cdot 6\text{м} = 2160 \text{ кг/м пог.}$$

д) Перегородки кирпичные:

$$250 \text{ кг/м}^2 \cdot 6 \text{ м} = 1500 \text{ кг/м пог.},$$

$$\Sigma 165 + 1980 + 1125 + 2160 + 1500 = 6930 \text{ кг/м пог.}$$

Для расчета изгибающего момента, возникающего в балке, примем жесткую схему в узлах опирания. Исходя из этого найдем изгибающий момент по формуле 3:

$$M = \frac{ql^2}{12}, \quad (3)$$

$$M = \frac{6930 \text{ кг/м} \cdot 6 \text{ м}^2}{12} = 2,08 \text{ т} \cdot \text{м} = 208 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Из условий равенства суммы проекций всех нормальных усилий на ось элемента, выразим относительную высоту сжатой зоны балки x (см. формула 4).

$$x = \frac{R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A_s'}{R_b \cdot b}, \quad (4)$$

где R_s, R_{sc} – расчетное сопротивление арматуры растяжению и сжатию соответственно, кН/см²;

A_s, A_s' – площадь арматуры в растянутой и сжатой зоне, см²;

b – ширина балки, см;

R_b – расчетное сопротивление бетона сжатию, кН/см².

В расчетах всегда стремятся к пластическому разрушению, когда ξ меньше ξ_R (По формуле 5,6 можно найти – ξ_R, ξ соответственно).

$$\xi_R = \frac{0,8}{1 + \frac{R_s}{700}}, \quad (5)$$

$$\xi = \frac{x}{h_0}, \quad (6)$$

$$\xi_R = \frac{0,8}{1 + \frac{435}{700}} = 0,531.$$

Примем эти данные для дальнейшего расчета.

2.1 Подбор характеристик для балки сечением $300 \times 200(h)$

В расчете используется бетон класса В30 и класс арматуры А500.

Примем следующие характеристики:

- а) $R_b - 170 \text{ кН/см}^2$;
- б) $R_s - 4350 \text{ кН/см}^2$;
- в) $R_{sc} - 4000 \text{ кН/см}^2$;
- г) $a - 4,0 \text{ см}$;
- д) $a' - 3,0 \text{ см}$;
- е) $h_0 - 16,0 \text{ см}$.

Подберем площади сечения растянутой и сжатой арматуры.

Для этого определяем α_m по формуле 7:

$$\alpha_m = \frac{M}{R_b \cdot b \cdot h_0^2}, \quad (7)$$

$$\alpha_m = \frac{208 \text{ кН} \cdot \text{м}}{17000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,3 \text{ м} \cdot (0,16 \text{ м})^2} = 1,6.$$

Сравниваем значение α_m с граничным значением α_R , которое вычисляется по формуле 8:

$$\alpha_R = \xi_R \cdot (1 - 0,5 \cdot \xi_R), \quad (8)$$

$$\alpha_R = 0,531 \cdot (1 - 0,5 \cdot 0,531) = 0,39.$$

Так как выполняется условие α_m больше α_R , то в сжатую зону балки устанавливаем арматуру.

Требуемую площадь сечения сжатой арматуры определяем по формуле 9:

$$A_s' = \frac{M - \alpha_R \cdot R_b \cdot b \cdot h_0^2}{R_{sc} \cdot (h_0 - a')}, \quad (9)$$

$$A_s' = \frac{208 \text{ кН} \cdot \text{м} - 0,39 \cdot 17000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,3 \text{ м} \cdot (0,16 \text{ м})^2}{400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot (0,16 \text{ м} - 0,03 \text{ м})} = 0,003058 \text{ м}^2 = 3058 \text{ см}^2.$$

Требуемую площадь сечения растянутой арматуры определяем по формуле 10:

$$A_s = \frac{R_b \cdot b \cdot h_0 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \alpha_m}) + R_{sc} \cdot A_s'}{R_s}, \quad (10)$$

где коэффициент α_m определяется по формуле 11.

$$\alpha_m = \frac{M - R_{sc} \cdot A_s' \cdot (h_0 - a')}{R_b \cdot b \cdot h_0^2}, \quad (11)$$

$$\alpha_m = \frac{208 \text{ кН} \cdot \text{м} - 400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,003058 \text{ м}^2 \cdot (0,16 \text{ м} - 0,03 \text{ м})}{17000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,3 \text{ м} \cdot (0,16 \text{ м})^2} = 0,39,$$

$$A_s = \frac{17000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,3 \text{ м} \cdot 0,16 \text{ м} \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,39}) + 400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,003058 \text{ м}^2}{435000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}} = 3807 \text{ см}^2.$$

Согласно сортаменту, диаметр растянутой арматуры соответствует 36, а сжатой 32. Исходя из этих значений скорректируем значения балки:

а) $a - 4,2$ см;

б) $a' - 3,6$ см;

в) $h_0 - 15,8$ см.

Пересчитаем площади сжатой и растянутой арматуры:

$$A_s' = \frac{208 \text{ кН}\cdot\text{м} - 0,39 \cdot 17000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,3 \text{ м} \cdot (0,158 \text{ м})^2}{400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot (0,158 \text{ м} - 0,036 \text{ м})} = 0,003285 \text{ м}^2 = 3285 \text{ см}^2,$$

$$\alpha_m = \frac{208 \text{ кН}\cdot\text{м} - 400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,003285 \text{ м}^2 (0,158 \text{ м} - 0,036 \text{ м})}{17000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,3 \text{ м} \cdot (0,158 \text{ м})^2} = 0,39,$$

$$A_s = \frac{17000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,3 \text{ м} \cdot 0,158 \text{ м} \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,39}) + 400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,003285 \text{ м}^2}{435000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}} = 4005 \text{ см}^2.$$

Для этого же сечения балки, подберем параметры при увеличении класса бетона до В60. Примем следующие характеристики:

а) $R_b = 330 \text{ кН/см}^2$;

б) « $R_s = 4350 \text{ кН/см}^2$;

в) $R_{sc} = 4000 \text{ кН/см}^2$;

г) $a = 4,0$ см;

д) $a' = 3,0$ см;

е) $h_0 = 16,0$ см».

«Подберем площади сечения растянутой и сжатой арматуры.»

«Для этого определяем α_m по формуле 7:»

$$\alpha_m = \frac{208 \text{ кН}\cdot\text{м}}{33000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,3 \text{ м} \cdot (0,16 \text{ м})^2} = 0,82.$$

«Так как выполняется условие α_m больше α_R , то в сжатую зону балки устанавливаем арматуру.»

«Требуемую площадь сечения сжатой арматуры определяем по формуле 9:»

$$A_s' = \frac{208 \text{ кН}\cdot\text{м} - 0,39 \cdot 33000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,3 \text{ м} \cdot (0,16 \text{ м})^2}{400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot (0,16 \text{ м} - 0,03 \text{ м})} = 0,002135 \text{ м}^2 = 2135 \text{ см}^2.$$

«Требуемую площадь сечения растянутой арматуры определяем по формуле 10, где α_m расчетное определяется по формуле 11.»

$$\alpha_m = \frac{208 \text{ кН}\cdot\text{м} - 400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,002135 \text{ м}^2 (0,16 \text{ м} - 0,03 \text{ м})}{33000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,3 \text{ м} \cdot (0,16 \text{ м})^2} = 0,387,$$

$$A_s = \frac{33000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,3 \text{ м} \cdot 0,16 \text{ м} \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,387}) + 400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,002135 \text{ м}^2}{435000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}} = 3871 \text{ см}^2.$$

Согласно сортаменту, диаметр растянутой арматуры соответствует 36, а сжатой 28. «Исходя из этих значений скорректируем значения балки:»

а) $a - 4,2 \text{ см};$

б) $a' - 3,4 \text{ см};$

в) $h_0 - 15,8 \text{ см}.$

Пересчитаем площади сжатой и растянутой арматуры:

$$A_s' = \frac{208 \text{ кН}\cdot\text{м} - 0,39 \cdot 33000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,3 \text{ м} \cdot (0,158 \text{ м})^2}{400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot (0,158 \text{ м} - 0,034 \text{ м})} = 0,002290 \text{ м}^2 = 2290 \text{ см}^2,$$

$$\alpha_m = \frac{208 \text{ кН}\cdot\text{м} - 400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,002290 \text{ м}^2 (0,158 \text{ м} - 0,034 \text{ м})}{33000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,3 \text{ м} \cdot (0,158 \text{ м})^2} = 0,39,$$

$$A_s = \frac{33000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,3\text{м} \cdot 0,158\text{м} \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,39}) + 400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,002290\text{м}^2}{435000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}} = 4014 \text{ см}^2.$$

Последний расчет для данного сечения будет с применением класса бетона В90. Примем следующие характеристики:

- а) $R_b - 440 \text{ кН/см}^2$;
- б) $R_s - 4350 \text{ кН/см}^2$;
- в) $R_{sc} - 4000 \text{ кН/см}^2$;
- г) $a - 4,0 \text{ см}$;
- д) $a' - 3,0 \text{ см}$;
- е) $h_0 - 16,0 \text{ см}$.

«Подберем площади сечения растянутой и сжатой арматуры.»

«Для этого определяем α_m по формуле 7:»

$$\alpha_m = \frac{208 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}}{44000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,3\text{м} \cdot (0,16\text{м})^2} = 0,62.$$

«Так как выполняется условие α_m больше α_R , то в сжатую зону балки устанавливаем арматуру.»

«Требуемую площадь сечения сжатой арматуры определяем по формуле 9:»

$$A_s' = \frac{208 \text{ кН} \cdot \text{м} - 0,39 \cdot 44000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,3\text{м} \cdot (0,16\text{м})^2}{400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot (0,16\text{м} - 0,03\text{м})} = 0,001504\text{м}^2 = 1504 \text{ см}^2.$$

«Требуемую площадь сечения растянутой арматуры определяем по формуле 10, где α_m расчетное определяется по формуле 11.»

$$\alpha_m = \frac{208 \text{ кН} \cdot \text{м} - 400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,001504\text{м}^2 \cdot (0,16\text{м} - 0,03\text{м})}{44000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,3\text{м} \cdot (0,16\text{м})^2} = 0,387,$$

$$A_s = \frac{44000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,3 \text{ м} \cdot 0,16 \text{ м} \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,387}) + 400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,001504 \text{ м}^2}{435000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}} = 3928 \text{ см}^2.$$

Согласно сортаменту, диаметр растянутой арматуры соответствует 36, а сжатой 22. Исходя из этих значений скорректируем значения балки:

- 1) $a - 4,2 \text{ см};$
- 2) $a' - 3,1 \text{ см};$
- 3) $h_0 - 15,8 \text{ см}.$

Пересчитаем площади сжатой и растянутой арматуры:

$$A_s' = \frac{208 \text{ кН} \cdot \text{м} - 0,39 \cdot 44000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,3 \text{ м} \cdot (0,158 \text{ м})^2}{400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot (0,158 \text{ м} - 0,031 \text{ м})} = 0,001565 \text{ м}^2 = 1565 \text{ см}^2,$$

$$\alpha_m = \frac{208 \text{ кН} \cdot \text{м} - 400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,001565 \text{ м}^2 \cdot (0,158 \text{ м} - 0,031 \text{ м})}{44000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,3 \text{ м} \cdot (0,158 \text{ м})^2} = 0,39,$$

$$A_s = \frac{44000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,3 \text{ м} \cdot 0,158 \text{ м} \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,39}) + 400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,001565 \text{ м}^2}{435000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}} = 3985 \text{ см}^2.$$

После расчетов подсчитаем для каждого класса бетона χ и ξ по формулам 4 и 6 соответственно.

Для класса бетона В30:

$$\chi = \frac{4350 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 40,05 \text{ см}^2 - 4000 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 32,85 \text{ см}^2}{170 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 30 \text{ см}} = 8,39 \text{ см},$$

$$\xi = \frac{8,39 \text{ см}}{15,8 \text{ см}} = 0,531.$$

Для класса бетона В60:

$$x = \frac{4350 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 40,14 \text{ см}^2 - 4000 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 22,50 \text{ см}^2}{330 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 30 \text{ см}} = 8,38 \text{ см},$$

$$\xi = \frac{8,38 \text{ см}}{15,8 \text{ см}} = 0,53.$$

Для класса бетона В90:

$$x = \frac{4350 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 39,85 \text{ см}^2 - 4000 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 15,65 \text{ см}^2}{440 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 30 \text{ см}} = 8,39 \text{ см},$$

$$\xi = \frac{8,39 \text{ см}}{15,8 \text{ см}} = 0,531.$$

Расчет выполнен, перейдем к следующему сечению.

2.2 Подбор характеристик для балки сечением 200 × 300(н)

Для той же нагрузки и сечения 200×300 применим бетон класса В30

и класс арматуры А500. «Примем следующие характеристики:

- а) $R_b - 170 \text{ кН/см}^2$;
- б) $R_s - 4350 \text{ кН/см}^2$;
- в) $R_{sc} - 4000 \text{ кН/см}^2$;
- г) $a - 4,0 \text{ см}$;
- д) $a' - 3,0 \text{ см}$;
- е) $h_0 - 26,0 \text{ см}$ ».

«Подберем площади сечения растянутой и сжатой арматуры.»

«Для этого определяем α_m по формуле 7:»

$$\alpha_m = \frac{208 \text{ кН} \cdot \text{м}}{17000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,2 \text{ м} \cdot (0,26 \text{ м})^2} = 0,92.$$

«Так как выполняется условие α_m больше α_R , то в сжатую зону балки устанавливаем арматуру.»»

«Требуемую площадь сечения сжатой арматуры определяем по формуле 9:»

$$A_s' = \frac{208 \text{ кН}\cdot\text{м} - 0,39 \cdot 17000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,2 \text{ м} \cdot (0,26 \text{ м})^2}{400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot (0,26 \text{ м} - 0,03 \text{ м})} = 0,001304 \text{ м}^2 = 1304 \text{ см}^2.$$

«Требуемую площадь сечения растянутой арматуры определяем по формуле 10, где α_m расчетное определяется по формуле 11.»

$$\alpha_m = \frac{208 \text{ кН}\cdot\text{м} - 400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,001304 \text{ м}^2 \cdot (0,26 \text{ м} - 0,03 \text{ м})}{17000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,2 \text{ м} \cdot (0,26 \text{ м})^2} = 0,39,$$

$$A_s = \frac{17000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,2 \text{ м} \cdot 0,26 \text{ м} \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,39}) + 400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,001304 \text{ м}^2}{435000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}} = 2277 \text{ см}^2.$$

Согласно сортаменту, диаметр растянутой арматуры соответствует 28, а сжатой 8. «Исходя из этих значений скорректируем значения балки:»

а) а – 3,4 см;

б) а' – 2,4 см;

в) h_0 – 26,6 см.

«Пересчитаем площади сжатой и растянутой арматуры:»

$$A_s' = \frac{208 \text{ кН}\cdot\text{м} - 0,39 \cdot 17000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,2 \text{ м} \cdot (0,266 \text{ м})^2}{400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot (0,266 \text{ м} - 0,024 \text{ м})} = 0,001200 \text{ м}^2 = 1200 \text{ см}^2,$$

$$\alpha_m = \frac{208 \text{ кН}\cdot\text{м} - 400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,0012 \text{ м}^2 \cdot (0,266 \text{ м} - 0,024 \text{ м})}{17000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,2 \text{ м} \cdot (0,266 \text{ м})^2} = 0,389,$$

$$A_s = \frac{17000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,2 \text{ м} \cdot 0,266 \text{ м} \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,389}) + 400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,0012 \text{ м}^2}{435000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}} = 2202 \text{ см}^2.$$

«Для этого же сечения балки, подберем параметры при увеличении класса бетона до В60.Примем следующие характеристики:

- а) $R_b - 330 \text{ кН/см}^2$;
- б) $\langle R_s - 4350 \text{ кН/см}^2$;
- в) $R_{sc} - 4000 \text{ кН/см}^2$;
- г) $a - 4,0 \text{ см}$;
- д) $a' - 3,0 \text{ см}$;
- е) $h_0 - 26,0 \text{ см}$ ».

«Подберем площади сечения растянутой и сжатой арматуры.»

«Для этого определяем α_m по формуле 7:»

$$\alpha_m = \frac{208 \text{ кН}\cdot\text{м}}{33000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,2\text{м} \cdot (0,26\text{м})^2} = 0,47.$$

«Так как выполняется условие α_m больше α_R , то в сжатую зону балки устанавливаем арматуру.»

«Требуемую площадь сечения сжатой арматуры определяем по формуле 9:»

$$A_s' = \frac{208 \text{ кН}\cdot\text{м} - 0,39 \cdot 33000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,2\text{м} \cdot (0,26\text{м})^2}{400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot (0,26\text{м} - 0,03\text{м})} = 0,000390\text{м}^2 = 390 \text{ см}^2.$$

«Требуемую площадь сечения растянутой арматуры определяем по формуле 10, где α_m расчетное определяется по формуле 11.»

$$\alpha_m = \frac{208 \text{ кН}\cdot\text{м} - 400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,00039\text{м}^2 \cdot (0,26\text{м} - 0,03\text{м})}{33000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,2\text{м} \cdot (0,26\text{м})^2} = 0,39,$$

$$A_s = \frac{33000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,2\text{м} \cdot 0,26\text{м} \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,39}) + 400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,00039\text{м}^2}{435000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}} = 2453 \text{ см}^2.$$

Согласно сортаменту, диаметр растянутой арматуры соответствует 28, а сжатой 8. «Исходя из этих значений скорректируем значения балки:»

а) $a - 3,4 \text{ см};$

б) $a' - 2,4 \text{ см};$

в) $h_0 - 26,6 \text{ см}.$

«Пересчитаем площади сжатой и растянутой арматуры:»

$$A_s' = \frac{208 \text{ кН}\cdot\text{м} - 0,39 \cdot 33000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,2 \text{ м} \cdot (0,266 \text{ м})^2}{400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot (0,266 \text{ м} - 0,024 \text{ м})} = 0,00029 \text{ м}^2 = 290 \text{ см}^2,$$

$$\alpha_m = \frac{208 \text{ кН}\cdot\text{м} - 400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,00029 \text{ м}^2 (0,266 \text{ м} - 0,024 \text{ м})}{33000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,2 \text{ м} \cdot (0,266 \text{ м})^2} = 0,39,$$

$$A_s = \frac{33000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,2 \text{ м} \cdot 0,266 \text{ м} \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,39}) + 400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,00029 \text{ м}^2}{435000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}} = 2409 \text{ см}^2.$$

«Последний расчет для данного сечения будет с применением класса бетона В90. Примем следующие характеристики:

а) $R_b - 440 \text{ кН/см}^2;$

б) $R_s - 4350 \text{ кН/см}^2;$

в) $R_{sc} - 4000 \text{ кН/см}^2;$

г) $a - 4,0 \text{ см};$

д) $a' - 3,0 \text{ см};$

е) $h_0 - 26,0 \text{ см}.$

«Подберем площади сечения растянутой и сжатой арматуры.»

«Для этого определяем α_m по формуле 7:»

$$\alpha_m = \frac{208 \text{ кН}\cdot\text{м}}{44000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,2 \text{ м} \cdot (0,26 \text{ м})^2} = 0,35.$$

Так как выполняется условие α_m меньше α_R , то в сжатую зону балки не устанавливаем арматуру.

Требуемую площадь сечения растянутой арматуры определяем по формуле 12:

$$A_s = \frac{R_b \cdot b \cdot h_0 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \alpha_m})}{R_s}, \quad (12)$$

$$A_s = \frac{44000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,2 \text{ м} \cdot 0,26 \text{ м} \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,35})}{435000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}} = 0,002793 \text{ м}^2 = 2793 \text{ см}^2.$$

Согласно сортаменту, диаметр растянутой арматуры соответствует 32.

«Исходя из этих значений скорректируем значения балки:»

а) $a - 4,2 \text{ см}$;

б) $h_0 - 25,8 \text{ см}$.

«Пересчитаем площадь растянутой арматуры:»

$$A_s = \frac{44000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,2 \text{ м} \cdot 0,258 \text{ м} \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,35})}{435000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}} = 0,002771 \text{ м}^2 = 2771 \text{ см}^2.$$

«После расчетов подсчитаем для каждого класса бетона x и ξ по формулам 4 и 6 соответственно.»

«Для класса бетона В30:»

$$x = \frac{4350 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 22,02 \text{ см}^2 - 4000 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 12,00 \text{ см}^2}{170 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 20 \text{ см}} = 14,06 \text{ см},$$

$$\xi = \frac{14,06 \text{ см}}{26,6 \text{ см}} = 0,529.$$

«Для класса бетона В60:»

$$x = \frac{4350 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 24,09 \text{ см}^2 - 4000 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 2,90 \text{ см}^2}{330 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 20 \text{ см}} = 14,12 \text{ см},$$

$$\xi = \frac{14,12 \text{ см}}{26,6 \text{ см}} = 0,53.$$

«Для класса бетона В90:»

$$x = \frac{4350 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 27,71 \text{ см}^2}{440 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 20 \text{ см}} = 13,70 \text{ см},$$

$$\xi = \frac{13,70 \text{ см}}{25,8 \text{ см}} = 0,531.$$

Расчет выполнен. На основании данных проведем анализ результатов.

2.3 Анализ полученных результатов

На основании полученных результатов было составлено два графика зависимости требуемой площади сжатой и растянутой арматуры от класса бетона. График для сечения балки 200×300(h) представлен на рисунке 10, а для сечения 300×200(h) на рисунке 11.

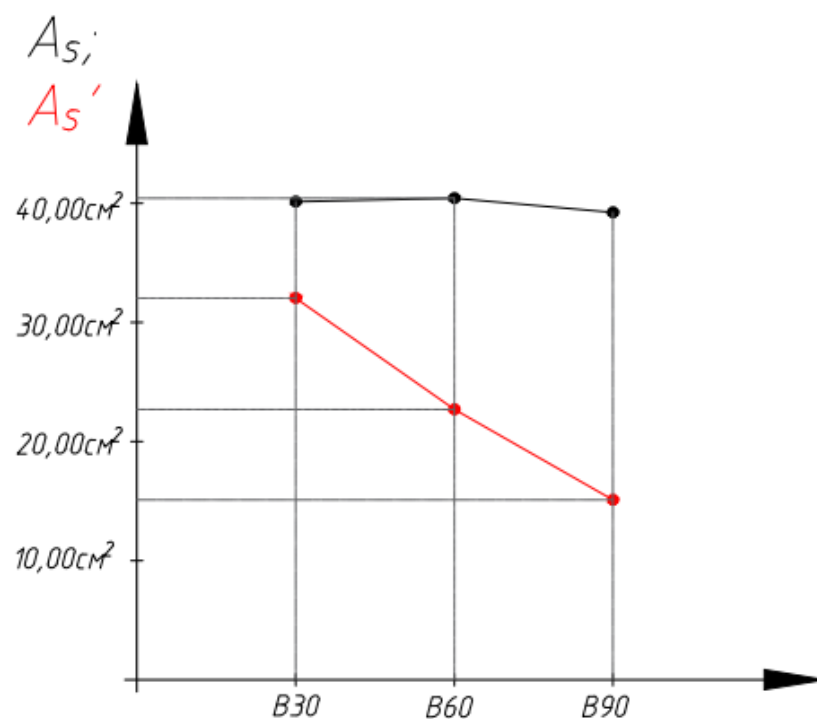


Рисунок 10 – График зависимости требуемого армирования от класса бетона для сечения балки 300×200(h)

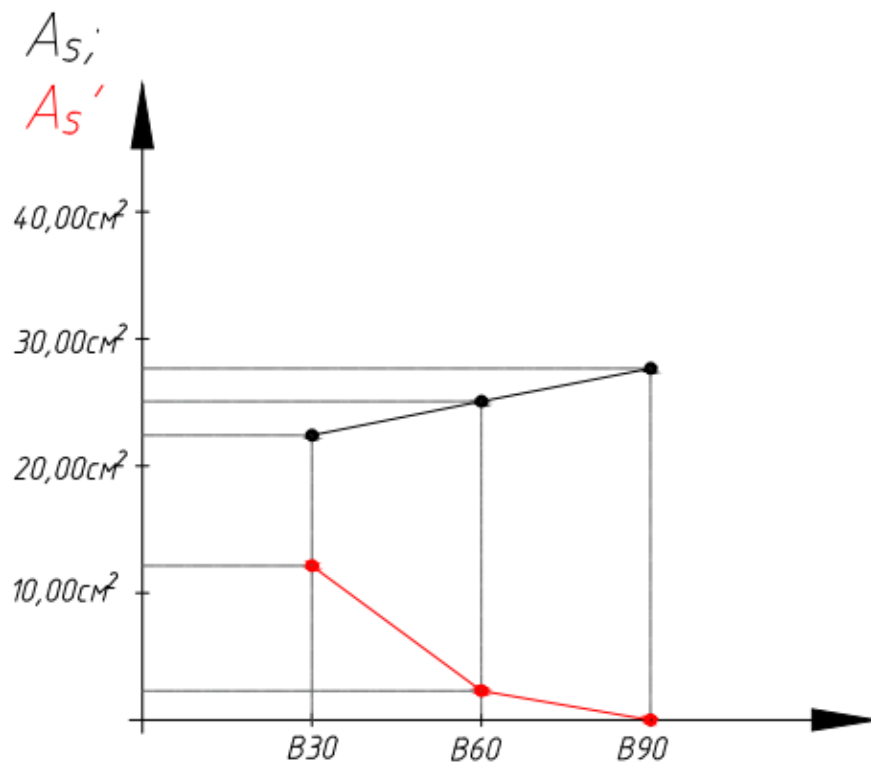


Рисунок 11 – График зависимости требуемого армирования от класса бетона для сечения балки 200×300(h)

Анализируя график и данные можно сделать следующие выводы:

а) При повышении класса бетона в сечении $300 \times 200(h)$ происходит уменьшение требуемой площади армирования как в сжатой, так и растянутой зонах. Максимальный эффект наблюдается при классе бетона В90. В этом случае растянутая арматура уменьшается на 0,5 процента, а сжатая на 52,36 процента.

б) При повышении класса бетона в сечении $200 \times 300(h)$ происходит уменьшение требуемой площади армирования в сжатой зоне, однако потребность в растянутой арматуре увеличивается. При классе бетона В90 растянутая арматура увеличивается на 20,5 процентов, а потребность в сжатой арматуре пропадает.

в) В обоих случаях относительная высота сжатой зоны стремится или равна граничной ($\xi \cong \xi_R$). Однако в случае сечения $300 \times 200(h)$ в работу включены полностью и бетон, и арматура растянутой и сжатой зоны, поэтому происходит снижение требуемой площади арматуры. В случае же с сечением $200 \times 300(h)$ увеличивается требуемая площадь в растянутой зоне, что приводит к обратному отрицательному эффекту от применения высокопрочного бетона.

Выводы по второй главе.

Во второй главе было проведено два расчета, направленных на подбор требуемой площади армирования для сечения $300 \times 200(h)$ и $200 \times 300(h)$.

Проведен анализ получившихся данных, согласно которым максимальный эффект от применяемого высокопрочного бетона наблюдается в сечении $300 \times 200(h)$, где отношение b к h равно 1,5 и более и при ξ приблизительно равным ξ_R .

Глава 3 Расчет железобетонной балки в системе АРКОС-1

Проанализировав научную литературу в первой главе, было показано, что наиболее эффективной сборно-монолитной системой является система АРКОС–1. К тому же, анализ по второй главе показал, что максимальный эффект от применения высокопрочного бетона достигается, когда отношение b к h равно 1,5 и более и при ξ приблизительно равным ξ_R . В системе АРКОС–1 соблюдаются эти условия, поэтому для дальнейшего исследования примем сечение балки $400 \times 220(h)$.

В данной системе остается неизменным именно сечение балки, поэтому для увеличения несущей способности мы можем увеличивать либо диаметр арматуры, либо класс бетона.

Длину балки выбираем 6 метров, так как имеем это длина чаще всего используется при строительстве жилых домов. На основании предыдущего расчета скорректируем усилия, воспринимаемые балкой.

Расчетные нагрузки:

а) Собственный вес железобетонной балки:

$$0,4\text{м} \cdot 0,22\text{м} \cdot 1\text{м} \cdot 2500 \text{ кг/м}^3 \cdot 1,1 = 242 \text{ кг/м пог.}$$

б) Полы:

$$0,05 \cdot 1800 \text{ кг/м}^3 \cdot 1,3 \cdot 6\text{м} = 702 \text{ кг/м пог.,}$$

$$\Sigma 242 + 1980 + 702 + 2160 + 1500 = 6584 \text{ кг/м пог.}$$

Найдем изгибающий момент:

$$M = \frac{6584 \text{ кг/м} \times 6 \text{ м}^2}{12} = 19,75 \text{ т} \cdot \text{м} = 198 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Примем момент, который возникает в опорных зонах балки, равным 198 кН·м.

3.1 Подбор требуемой площади арматуры для класса бетона В30

В расчете используется бетон класса В30, класс арматуры А500. Сечение балки 400×220(н). «Примем следующие характеристики:

- а) $R_b - 170 \text{ кН/см}^2$;
- б) $R_s - 4350 \text{ кН/см}^2$;
- в) $R_{sc} - 4000 \text{ кН/см}^2$;
- г) $a - 4,0 \text{ см}$;
- д) $a' - 3,0 \text{ см}$;
- е) $h_0 - 18,0 \text{ см}$.

«Подберем площади сечения растянутой и сжатой арматуры.»

«Для этого определяем α_m по формуле 7:»

$$\alpha_m = \frac{198 \text{ кН}\cdot\text{м}}{17000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,4\text{м} \cdot (0,18\text{м})^2} = 0,9 > 0,39.$$

«Так как выполняется условие α_m больше α_R , то в сжатую зону балки устанавливаем арматуру.»

«Требуемую площадь сечения сжатой арматуры определяем по формуле 9:»

$$A_s' = \frac{198 \text{ кН}\cdot\text{м} - 0,39 \cdot 17000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,4\text{м} \cdot (0,18\text{м})^2}{400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot (0,18\text{м} - 0,03\text{м})} = 0,001868\text{м}^2 = 1868 \text{ см}^2.$$

«Требуемую площадь сечения растянутой арматуры определяем по формуле 10, где α_m расчетное определяется по формуле 11:»

$$\alpha_m = \frac{198 \text{ кН} \cdot \text{м} - 400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,001868 \text{ м}^2 (0,18 \text{ м} - 0,03 \text{ м})}{17000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,4 \text{ м} \cdot (0,18 \text{ м})^2} = 0,389,$$

$$A_s = \frac{17000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,4 \text{ м} \cdot 0,18 \text{ м} \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,389}) + 400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,001868 \text{ м}^2}{435000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}} = 3206 \text{ см}^2.$$

Согласно сортаменту, диаметр растянутой арматуры соответствует 32, а сжатой 25. «Исходя из этих значений скорректируем значения балки:»

а) а – 4,2 см;

б) а' – 3,6 см;

в) h₀ – 17,8 см.

«Пересчитаем площади сжатой и растянутой арматуры:»

$$A_s' = \frac{198 \text{ кН} \cdot \text{м} - 0,39 \cdot 17000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,4 \text{ м} \cdot (0,178 \text{ м})^2}{400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot (0,178 \text{ м} - 0,036 \text{ м})} = 0,002007 \text{ м}^2 = 2007 \text{ см}^2,$$

$$\alpha_m = \frac{198 \text{ кН} \cdot \text{м} - 400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,002007 \text{ м}^2 (0,178 \text{ м} - 0,036 \text{ м})}{17000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,4 \text{ м} \cdot (0,178 \text{ м})^2} = 0,39,$$

$$A_s = \frac{17000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,4 \text{ м} \cdot 0,178 \text{ м} \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,39}) + 400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,002007 \text{ м}^2}{435000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}} = 3323 \text{ см}^2.$$

«После расчетов подсчитаем χ и ξ по формулам 4 и 6 соответственно.»

$$\chi = \frac{4350 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 33,23 \text{ см}^2 - 4000 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 20,07 \text{ см}^2}{170 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 40 \text{ см}} = 9,45 \text{ см},$$

$$\xi = \frac{9,45 \text{ см}}{17,8 \text{ см}} = 0,53 < 0,531.$$

Расчет окончен.

3.2 Подбор требуемой площади арматуры для класса бетона В90

В расчете используется бетон класса В90, класс арматуры А500. Сечение балки 400×220(h). «Примем следующие характеристики:

- а) $R_b - 440 \text{ кН/см}^2$;
- б) $R_s - 4350 \text{ кН/см}^2$;
- в) $R_{sc} - 4000 \text{ кН/см}^2$;»
- г) $a - 4,0 \text{ см}$;
- д) $a' - 3,0 \text{ см}$;
- е) $h_0 - 18,0 \text{ см}$.

«Подберем площади сечения растянутой и сжатой арматуры.»

«Для этого определяем α_m по формуле 7:»

$$\alpha_m = \frac{198 \text{ кН} \cdot \text{м}}{44000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,4 \text{ м} \cdot (0,18 \text{ м})^2} = 0,347 < 0,39.$$

Так как выполняется условие α_m меньше α_R , то в сжатую зону балки не устанавливаем арматуру. Однако, при вязке арматурного каркаса необходимо устанавливать арматуру в сжатую зону, поэтому дальнейший расчет будем вести при двойном армировании.

Примем сжатую арматуру диаметром 8А500, для нее соответствует расчетная площадь сечения $R_s - 2,01 \text{ см}^2$.

Требуемую площадь сечения растянутой арматуры определяем по формуле 10, где α_m расчетное определяется по формуле 11:

$$\alpha_m = \frac{198 \text{ кН} \cdot \text{м} - 400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,000201 \text{ м}^2 (0,18 \text{ м} - 0,03 \text{ м})}{44000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,4 \text{ м} \cdot (0,18 \text{ м})^2} = 0,325,$$

$$A_s = \frac{44000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,4 \text{ м} \cdot 0,18 \text{ м} \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,325}) + 400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,000201 \text{ м}^2}{435000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}} = 3159 \text{ см}^2.$$

Согласно сортаменту, диаметр растянутой арматуры соответствует 32, а сжатой 8. Исходя из этих значений скорректируем значения балки:

а) $a - 4,2$ см;

б) $a' - 2,6$ см;

в) $h_0 - 17,8$ см.

Пересчитаем площади сжатой и растянутой арматуры:

$$A_s' = \frac{198 \text{ кН} \cdot \text{м} - 0,39 \cdot 44000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,4 \text{ м} \cdot (0,178 \text{ м})^2}{400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot (0,178 \text{ м} - 0,026 \text{ м})} = 0,00032 \text{ м}^2 = 3,20 \text{ см}^2,$$

$$\alpha_m = \frac{198 \text{ кН} \cdot \text{м} - 400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,00032 \text{ м}^2 \cdot (0,178 \text{ м} - 0,026 \text{ м})}{44000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,4 \text{ м} \cdot (0,178 \text{ м})^2} = 0,32,$$

$$A_s = \frac{44000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,4 \text{ м} \cdot 0,178 \text{ м} \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,32}) + 400000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,00032 \text{ м}^2}{435000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}} = 3175 \text{ см}^2.$$

После расчетов подсчитаем x и ξ по формулам 4 и 6 соответственно.

$$x = \frac{4350 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 31,75 \text{ см}^2 - 4000 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 3,20 \text{ см}^2}{440 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 40 \text{ см}} = 7,12 \text{ см},$$

$$\xi = \frac{7,12 \text{ см}}{17,8 \text{ см}} = 0,40 < 0,531.$$

Расчет окончен.

3.3 Анализ полученных результатов

На основании полученных результатов было составлен график зависимости требуемой площади сжатой и растянутой арматуры от класса бетона. График для сечения $400 \times 220(h)$ представлен на рисунке 12.

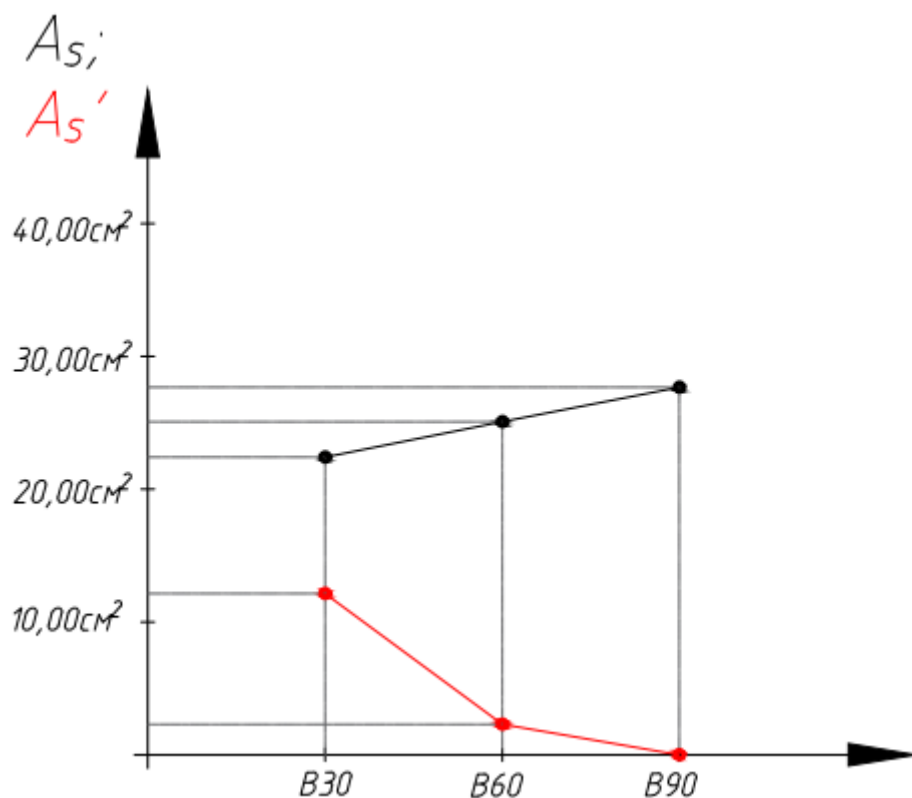


Рисунок 12 – График зависимости требуемого армирования от класса бетона для сечения балки 400×220(h)

Анализируя график и данные можно сделать следующие выводы:

При повышении класса бетона в сечении 400×220(h) происходит уменьшение требуемой площади армирования в сжатой зоне на 84 процента и растянутой зоне на 4,5 процента. Уменьшение требуемой арматуры в целом происходит на 40 процентов.

Гипотеза подтвердилась, в случае, когда отношение b к h равно 1,5 и более при ξ стремящемся к ξ_R , снижается потребление как сжатой, так и растянутой арматуры.

3.4 Проверка несущей способности для балок на основании расчета по предельным усилиям.

В результате расчетов была получена требуемая площадь армирования для разных классов бетона. Однако, при проектировании закладываются площади арматуры по сортаменту.

Согласно расчетам, при классе бетона В30 требуется четыре арматуры диаметра 36А500 в растянутую зону и диаметра 32А500 в сжатую зону (так как диаметр 28А500 является заказной и редко используемой позицией на заводах). При классе бетона В90 требуется четыре арматуры диаметра 32А500 в растянутую зону и диаметра 12А500 в сжатую зону.

При корректировке данных необходимо пересчитать несущую способность обеих балок.

Момент сопротивления сечения, возникающий в балке, можно найти из условия равенства моментов (см. формулу 14).

$$M < M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0,5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'), \quad (14)$$

где M – изгибающий момент от действия внешних сил в приопорных зонах балки, кН·м;

M_{ult} – предельный изгибающий момент, который воспринимает сечение элемента, кН·м;

x – относительная высота сжатой зоны бетона, см;

h_0 – рабочая высота арматуры, см;

a' – расстояние от наружно грани до ц.т. арматуры сжатой зоны, см.

Расчет для балки с классом бетона В30.

Для данных материалов соответствуют следующие характеристики:

а) $R_b = 170 \text{ кН/см}^2$;

б) $R_s = 4350 \text{ кН/см}^2$;

в) $R_{sc} - 4000 \text{ кН/см}^2$;»

г) $A_s - 40,72 \text{ см}^2$, $A_s' - 32,17 \text{ см}^2$;

д) $a - 4,2 \text{ см}$;

е) $a' - 3,6 \text{ см}$;

ж) $h_0 - 17,8 \text{ см}$.

На основании исходных данных, запроектируем балку (см. рисунок 13).

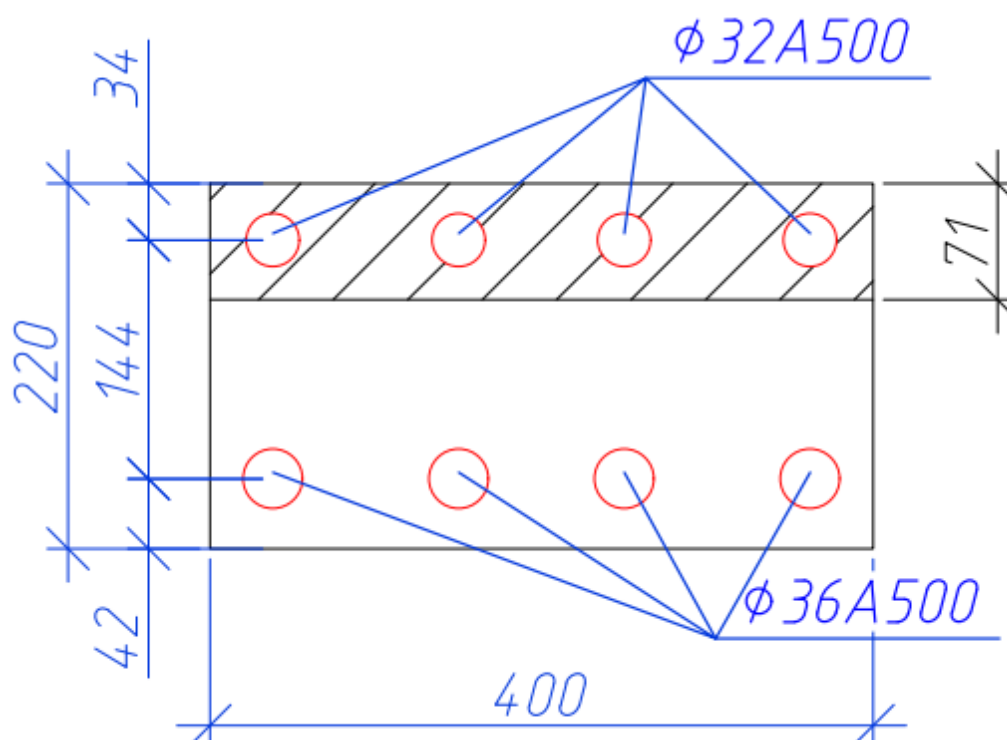


Рисунок 13 – Расчетное сечения балки для бетона В30

Найдем относительно сжатую зону бетона:

$$x = \frac{4350 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 40,72 \text{ см}^2 - 4000 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 32,17 \text{ см}^2}{170 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 40 \text{ см}} = 7,12 \text{ см}.$$

Проверим соблюдается ли условие:

$$\xi = \frac{7,12 \text{ см}}{17,8 \text{ см}} = 0,40 < 0,531.$$

Условие соблюдается.

Вычислим M_{ult} :

$$M < M_{ult} = 170 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 40 \text{ см} \cdot 7,12 \text{ см} \cdot (17,8 \text{ см} - 0,5 \cdot 7,12 \text{ см}) + 4000 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 32,17 \text{ см}^2 \cdot (17,8 \text{ см} - 3,6 \text{ см}) = 251,7 \text{ кН} \cdot \text{м} > 198 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Условие прочности выполняется. Балка способна выдержать приложенную к ней нагрузку.

Расчет для балки с классом бетона В90.

Для данных материалов соответствуют следующие характеристики:

- а) $R_b - 440 \text{ кН/см}^2$;
- б) $R_s - 4350 \text{ кН/см}^2$;
- в) $R_{sc} - 4000 \text{ кН/см}^2$;
- г) $A_s - 32,17 \text{ см}^2$, $A_s' - 4,52 \text{ см}^2$;
- д) $a - 4,2 \text{ см}$;
- е) $a' - 2,6 \text{ см}$;
- ж) $h_0 - 17,8 \text{ см}$.

На основании данных, запроектируем балку (см. рисунок 14).

«Найдем относительно сжатую зону бетона:»

$$x = \frac{4350 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 32,17 \text{ см}^2 - 4000 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 4,52 \text{ см}^2}{440 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 40 \text{ см}} = 7,0 \text{ см}.$$

«Проверим соблюдается ли условие:»

$$\xi = \frac{7,0 \text{ см}}{17,8 \text{ см}} = 0,39 < 0,531.$$

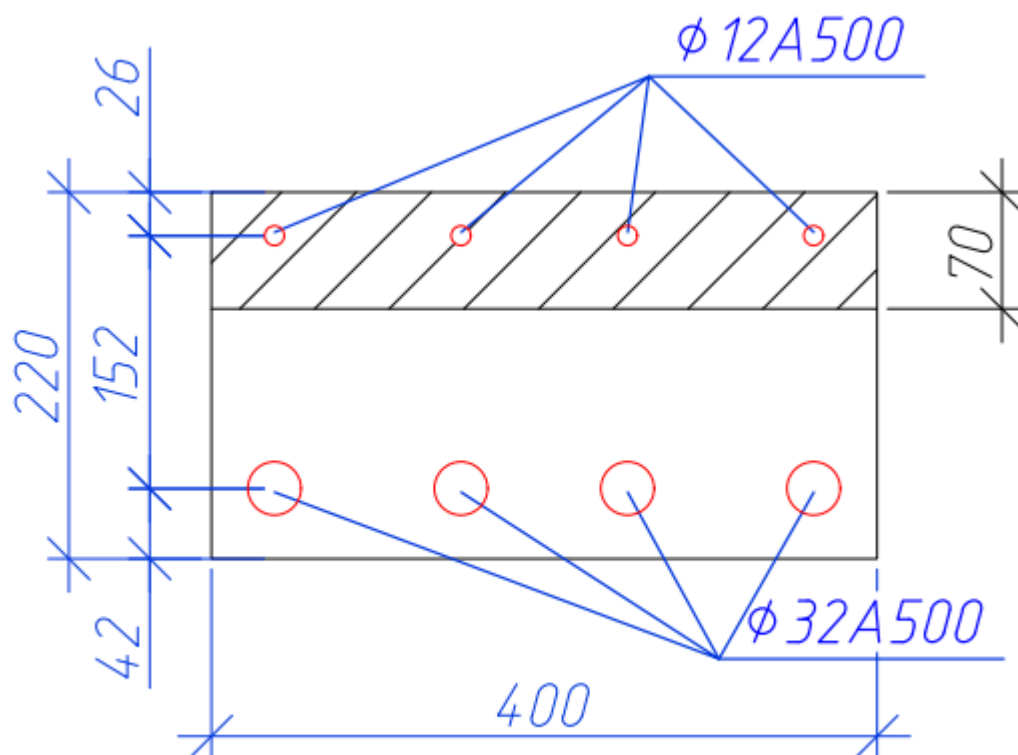


Рисунок 14 – Расчетное сечение балки для бетона В90

«Условие соблюдается.»

«Вычислим M_{ult} :»

$$M < M_{ult} = 440 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 40 \text{ см} \cdot 7,0 \text{ см} \cdot (17,8 \text{ см} - 0,5 \cdot 7,0 \text{ см}) + 4000 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 4,52 \text{ см}^2 \cdot (17,8 \text{ см} - 2,6 \text{ см}) = 203,66 \text{ кН} \cdot \text{м} > 198 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

«Условие прочности выполняется. Балка способна выдержать приложенную к ней нагрузку.»

Выполним сравнительный анализ двух балок, исходя из расчета по предельным усилиям. Данные сведем в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты расчетов балок сечением 400×220(h) с разными классами бетона.

Класс бетона	B30	B90
Диаметр арматуры	36; 32	32; 12
Высота сжатой зоны	7,1 см	7,0 см
Относительная высота сжатой зоны	0,400	0,390
M_{ult} , кН · м	251,70	203,66

Исходя из результатов в обоих случаях высота и относительная высота сжатой зоны практически одинаковая, однако за счет увеличения класса бетона до B90 можно обеспечить необходимую несущую способность ($M_{ult} > M = 198 \text{ кН} \cdot \text{м}$) и намного уменьшить диаметр арматуры, тем самым понизить материалоемкость.

3.5 Проверка несущей способности балки расчетом с использованием деформационной модели.

Расчет по деформационной модели является проверочным и уточняющим. За счет деления балки на участки, можно уточнить рабочую зону бетона и деформации, возникающие в бетоне и арматуре. А также проверить, проходит ли балка по несущей способности уже с скорректированными характеристиками. На рисунке 15 представлено расчетное сечение железобетонной балки.

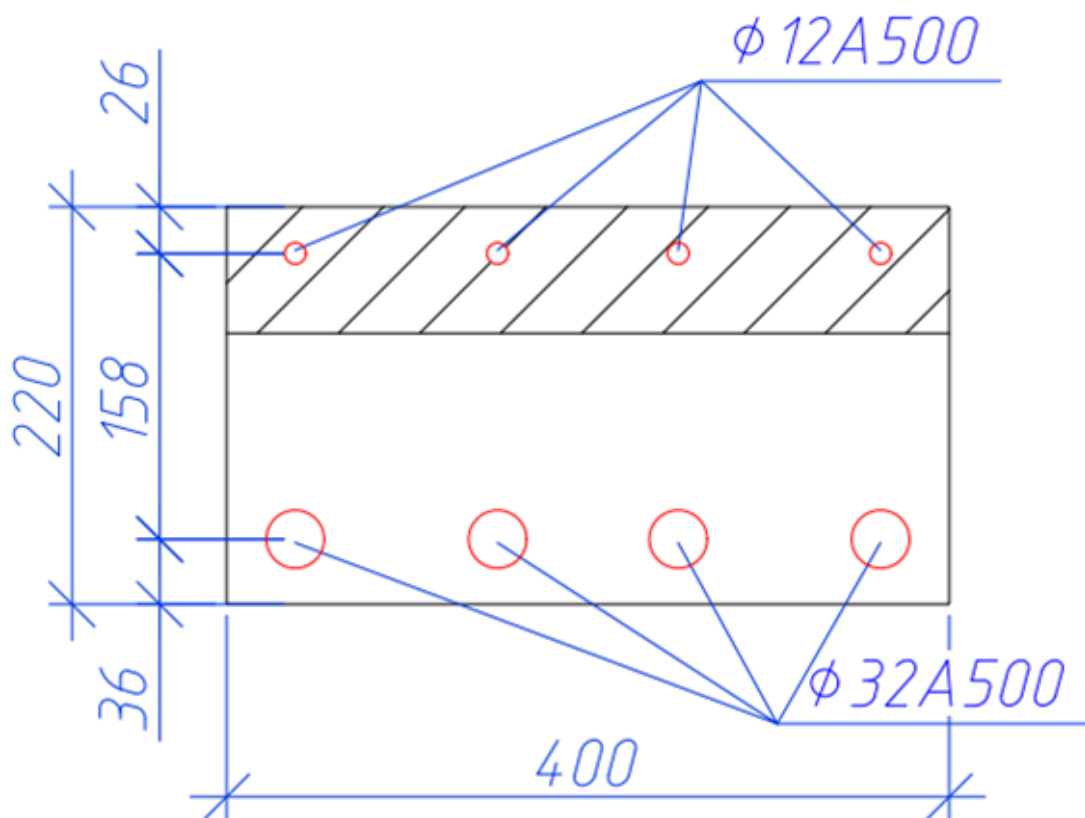


Рисунок 15 – Расчетное сечение балки для деформационной модели

«Для расчета примем следующие характеристики:»

- а) Класс бетона В90;
- б) Арматура в растянутой зоне 32А500;
- в) Арматура в сжатой зоне 12А500.

Исходные данные для расчета:

- а) $R_s - 435$ МПа;
- б) $E_s - 2 \cdot 10^5$ МПа;
- в) $\varepsilon_{s0} - 0,002175$; $\varepsilon_{s2} - 0,0025$;
- г) $R_b = 44$ МПа;
- д) для В90 $E_b - 42500$ МПа, $E_{b,red} - 29333$ МПа;
- е) $\varepsilon_{b1,red} - 0,0015$;
- ж) $\varepsilon_{b2} - 0,0035$;

и) Армирование в растянутой зоне – 4 стержня 32, $A_s = 3217,2 \text{ мм}^2$;

к) Армирование в сжатой зоне – 4 стержня 12, $A_s = 452,4 \text{ мм}^2$.

Разбиваем сечение балки на 10 равных участков по 22 мм каждый. Определяем координаты центра тяжести z_{bi} (последующая координата увеличивается на 22 мм) и площадь каждого участка бетона нормального сечения A_{bi} . Площадь каждого участка составила 8800 мм^2 .

Определяем те же характеристики и для арматуры в растянутой и сжатой зоне:

а) $z_{s1} - 36 \text{ мм}$;

б) $A_{s1} - 3217, 2 \text{ мм}^2$;

в) $z_{s2} - 194 \text{ мм}$;

г) $A_{s2} - 452, 4 \text{ мм}^2$.

Расчет по циклу номер 1.

Принимаем для всех полосок бетона $\nu_{bi} - 1$, и арматуры $\nu_{sj} - 1$.

Определяем жесткостные характеристики D_{11} , D_{12} , D_{22} по формулам 15-17 и заносим в таблицы 6-7.

$$D_{11} = \sum A_{bi} z_{bi}^2 E_b \nu_{bi} + \sum A_{sj} z_{sj}^2 E_s \nu_{sj}, \quad (15)$$

$$D_{12} = \sum A_{bi} z_{bi} E_b \nu_{bi} + \sum A_{sj} z_{sj} E_s \nu_{sj}, \quad (16)$$

$$D_{22} = \sum A_{bi} E_b \nu_{bi} + \sum A_{sj} E_s \nu_{sj}, \quad (17)$$

где z_{bi} , z_{sj} – координата i-го участка бетона и арматуры, мм;

A_{bi} , A_{sj} – площадь i-го участка бетона и арматуры, мм^2 ;

E_b , E_s – начальный модуль упругости бетона и модуль упругости арматуры, МПа;

ν_{bi} , ν_{sj} – коэффициенты упругости бетона i-го участка и арматуры j-го стержня, у.ед.

Таблица 6 – Подсчет жесткостных характеристик бетона

	$A_{bi}z_{bi}^2E_bv_{bi}$, мм ⁴ ·МПа	$A_{bi}z_{bi}E_bv_{bi}$, мм ³ ·МПа	$A_{bi}E_bv_{bi}$, мм ² ·МПа
1	45254000000	-4114000000	374000000
2	407286000000	-12342000000	374000000
3	1131350000000	-20570000000	374000000
4	2217446000000	-28798000000	374000000
5	3665574000000	-37026000000	374000000
6	5475734000000	-45254000000	374000000
7	7647926000000	-53482000000	374000000
8	10182150000000	-61710000000	374000000
9	13078406000000	-69938000000	374000000
Σ	16336694000000	-78166000000	374000000

Таблица 7 – Подсчет жесткостных характеристик арматуры

	$A_s z_{sj}^2 E_s v_{sj}$, мм ⁴ ·МПа	$A_{sj} z_{sj} E_s v_{sj}$, мм ³ ·МПа	$A_{sj} E_s v_{sj}$, мм ² ·МПа
1	833898240000	-23163840000	643440000
2	3405305280000	-17553120000	90480000
Σ	4239203520000	-40716960000	733920000

$$D_{11} = 16336694000000 + 4239203520000 = 64427023520000 \text{ мм}^4 \cdot \text{МПа};$$

$$D_{12} = -78166000000 - 40716960000 = -452116960000 \text{ мм}^3 \cdot \text{МПа};$$

$$D_{22} = 374000000 + 733920000 = 4473920000 \text{ мм}^2 \cdot \text{МПа}.$$

После этого определяем кривизну $1/r$ (формула 19) и относительную деформацию ε_0 (формула 20), путем решения системы уравнений (формула 18).

$$\begin{cases} M_x = D_{11} \frac{1}{r} + D_{12} \varepsilon_0 \\ 0 = D_{12} \frac{1}{r} + D_{22} \varepsilon_0 \end{cases}, \quad (18)$$

$$\frac{1}{r} = - \frac{D_{22} \varepsilon_0}{D_{12}}, \quad (19)$$

$$\varepsilon_0 = \frac{M_x}{\left(-\frac{D_{11} D_{22}}{D_{12}} + D_{12} \right)}, \quad (20)$$

где $\frac{1}{r}$ – кривизна продольной оси в поперечном сечении элемента, у.ед;

ε_0 – относительная деформация волокна, у.ед.

$$\varepsilon_0 = \frac{0,198 \text{ МПа}}{\left(\frac{64,42702352 \text{ МПа} \cdot \text{м}^4 \cdot 4473,92 \text{ МПа} \cdot \text{м}^2}{452,11696 \text{ МПа} \cdot \text{м}^3} + 452,11696 \text{ МПа} \cdot \text{мм}^3 \right)} = 0,001067,$$

$$\frac{1}{r_1} = - \frac{4473,92 \text{ МПа} \cdot \text{м}^2 \cdot 0,001067}{452,11696 \text{ МПа} \cdot \text{м}^3} = 0,0000106 \frac{1}{\text{м}}.$$

Для каждой i -ой бетонной полоски и j -ого арматурного стержня определяем относительные деформации по формулам 21-22.

$$\varepsilon_{bi} = \varepsilon_0 + \frac{1}{r} z_{bi}, \quad (21)$$

$$\varepsilon_{sj} = \varepsilon_0 + \frac{1}{r} z_{sj}, \quad (22)$$

$$\varepsilon_{b1} = 0,001067 - 0,0000106 \frac{1}{\text{м}} \cdot 0,011 \text{ м} = +0,00095,$$

$$\varepsilon_{b2} = 0,001067 - 0,0000106 \frac{1}{\text{м}} \cdot 0,033 \text{ м} = +0,00072,$$

$$\varepsilon_{b3} = 0,001067 - 0,0000106 \frac{1}{\text{м}} \cdot 0,055 \text{ м} = +0,00049,$$

$$\varepsilon_{b4} = 0,001067 - 0,0000106 \frac{1}{\text{м}} \cdot 0,077 \text{ м} = +0,00025,$$

$$\varepsilon_{b5} = 0,001067 - 0,0000106 \frac{1}{\text{м}} \cdot 0,099 \text{ м} = +0,000021,$$

$$\varepsilon_{b6} = 0,001067 - 0,0000106 \frac{1}{\text{м}} \cdot 0,121 \text{ м} = -0,00021,$$

$$\varepsilon_{b7} = 0,001067 - 0,0000106 \frac{1}{\text{м}} \cdot 0,143 \text{ м} = -0,00044,$$

$$\varepsilon_{b8} = 0,001067 - 0,0000106 \frac{1}{\text{м}} \cdot 0,165 \text{ м} = -0,00068,$$

$$\varepsilon_{b9} = 0,001067 - 0,0000106 \frac{1}{\text{м}} \cdot 0,187 \text{ м} = -0,00090,$$

$$\varepsilon_{b10} = 0,001067 - 0,0000106 \frac{1}{\text{м}} \cdot 0,209 \text{ м} = -0,00090,$$

$$\varepsilon_{s1} = 0,001067 - 0,0000106 \frac{1}{\text{м}} \cdot 0,036 \text{ м} = 0,00068,$$

$$\varepsilon_{s2} = 0,001067 - 0,0000106 \frac{1}{\text{м}} \cdot 0,194 \text{ м} = -0,00098.$$

Определяем напряжения σ_{bi} и σ_{sj} в первом цикле

При проверке значения попадают в промежуток 0 меньше или равно ε_{bi} меньше или равно ε_{b1} , где ε_{b1} равно 0,0015, следовательно напряжение вычисляем по формуле 23:

$$\sigma_b = E_{b,red} \cdot \varepsilon_b, \quad (23)$$

$$\sigma_{b1} = 29333 \text{ МПа} \cdot 0,00095 = 27,91 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{b2} = 29333 \text{ МПа} \cdot 0,00072 = 21,09 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{b3} = 29333 \text{ МПа} \cdot 0,00049 = 14,28 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{b4} = 29333 \text{ МПа} \cdot 0,00025 = 7,46 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{b5} = 29333 \text{ МПа} \cdot 0,000021 = 0,64 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{b6} = -29333 \text{ МПа} \cdot 0,00021 = -6,18 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{b7} = -29333 \text{ МПа} \cdot 0,00044 = -13,00 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{b8} = -29333 \text{ МПа} \cdot 0,00068 = -19,82 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{b9} = -29333 \text{ МПа} \cdot 0,00090 = -26,64 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{b10} = -29333 \text{ МПа} \cdot 0,00095 = -33,46 \text{ МПа}.$$

В первом цикле выполняется условие, когда ε_{si} находится в промежутке между 0 и ε_{s1} , где ε_{s1} равно 0,002175. Далее продолжаем расчет, следовательно, напряжение вычисляем по формуле 24:

$$\sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_s, \quad (24)$$

$$\sigma_{s1} = 200000 \text{ МПа} \cdot 0,00068 = +137,49 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{s2} = -200000 \text{ МПа} \cdot 0,00098 = -196,42 \text{ МПа}.$$

Определяем коэффициенты упругопластических деформаций i -го участка бетона (v_{bi}) и j -го участка арматуры (v_{sj}), по формулам 25-26.

$$v_{bi} = \frac{\sigma_{bi}}{E_{b,red} \varepsilon_{bi}}, \quad (25)$$

$$v_{sj} = \frac{\sigma_{sj}}{E_s \varepsilon_{sj}}, \quad (26)$$

$$v_{b6-9} = 1,$$

$$v_{s1-2} = 1.$$

Расчет по циклу номер 2. После проведенных вычислений, аналогично первому пункту расчета определяем кривизну $1/r$ и относительную деформацию ε_0 :

$$\varepsilon_0 = \frac{0,198 \text{ МПа}}{\left(\frac{56,96011352 \text{ МПа} \cdot \text{м}^4 \cdot 2603,92 \text{ МПа} \cdot \text{м}^2}{-349,26696 \text{ МПа} \cdot \text{м}^3} - 349,26696 \text{ МПа} \cdot \text{мм}^3 \right)} = 0,002626,$$

$$\frac{1}{r_1} = - \frac{2603,92 \text{ МПа} \cdot \text{м}^2 \cdot 0,002626}{349,26696 \text{ МПа} \cdot \text{м}^3} = 0,0000196 \frac{1}{\text{м}}.$$

Расчёт ведется пока кривизна в итерации не будет отличаться от предыдущей меньше чем на 7 процентов (формула 27).

$$\frac{\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}}{\frac{1}{r_2}} \cdot 100\% = \frac{0,0000196 - 0,0000106}{0,0000196} \cdot 100\% = 46\%. \quad (27)$$

Продолжаем расчёт дальше аналогично 1 циклу.

Расчет по циклу номер 3.

Определяем кривизну $1/r$ и относительную деформацию ε_0 :

$$\varepsilon_0 = \frac{0,198 \text{ МПа}}{\left(\frac{51,48437952 \text{ МПа} \cdot \text{м}^4 \cdot 2229,92 \text{ МПа} \cdot \text{м}^2}{-304,01296 \text{ МПа} \cdot \text{м}^3} - 304,0196 \text{ МПа} \cdot \text{мм}^3 \right)} = 0,00268,$$

$$\frac{1}{r_1} = - \frac{2229,92 \text{ МПа} \cdot \text{м}^2 \cdot 0,00268}{304,01296 \text{ МПа} \cdot \text{м}^3} = 0,0000197 \frac{1}{\text{м}}.$$

Расчёт ведется пока кривизна в итерации не будет отличаться от предыдущей меньше чем на 7 процентов (формула 27).

$$\frac{\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}}{\frac{1}{r_2}} \cdot 100\% = \frac{0,0000197 - 0,0000196}{0,0000197} \cdot 100\% = 1\%.$$

Стабилизация достигнута, 3 цикл является последним.

Для каждой i -ой бетонной полосы и j -ого арматурного стержня определяем относительные деформации по формулам 14-15.

$$\varepsilon_{b7} = 0,00268 - 0,0000197 \frac{1}{\text{м}} \cdot 0,143 \text{ м} = -0,000132,$$

$$\varepsilon_{b8} = 0,00268 - 0,0000197 \frac{1}{\text{м}} \cdot 0,165 \text{ м} = -0,00057,$$

$$\varepsilon_{b9} = 0,00268 - 0,0000197 \frac{1}{\text{м}} \cdot 0,187 \text{ м} = -0,00099,$$

$$\varepsilon_{b10} = 0,00268 - 0,0000197 \frac{1}{\text{м}} \cdot 0,209 \text{ м} = -0,00143,$$

$$\varepsilon_{s1} = 0,00268 - 0,0000197 \frac{1}{\text{м}} \cdot 0,036 \text{ м} = +0,00198,$$

$$\varepsilon_{s2} = 0,00268 - 0,0000197 \frac{1}{\text{м}} \cdot 0,194 \text{ м} = -0,00114.$$

Определяем напряжения σ_{bi} и σ_{sj} в третьем цикле (рисунок 16, 17)

$$\sigma_{b7} = -29333 \text{ МПа} \cdot 0,000132 = -3,86 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{b8} = -29333 \text{ МПа} \cdot 0,00057 = -16,59 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{b9} = -29333 \text{ МПа} \cdot 0,00099 = -29,32 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{b10} = -29333 \text{ МПа} \cdot 0,00143 = -42,05 \text{ МПа}.$$

В третьем цикле выполняется условие, когда ε_{si} находится в промежутке между 0 и ε_{s1} , где ε_{s1} равно 0,002175. Далее продолжаем расчет, следовательно, напряжение вычисляем по формуле:

$$\sigma_{s1} = 200000 \text{ МПа} \cdot 0,00198 = +395,85 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{s2} = -200000 \text{ МПа} \cdot 0,00114 = -227,51 \text{ МПа}.$$

Определяем коэффициенты упругопластических деформаций i -го участка бетона (v_{bi}) и j -го участка арматуры (v_{sj}), по формулам 18-19.

$$v_{b7-10} = 1,$$

$$v_{s1-2} = 1.$$

Вывод: Прочность данного элемента обеспечивается. Двухлинейная диаграмма бетона и арматуры представлена на рисунках 16 и 17.

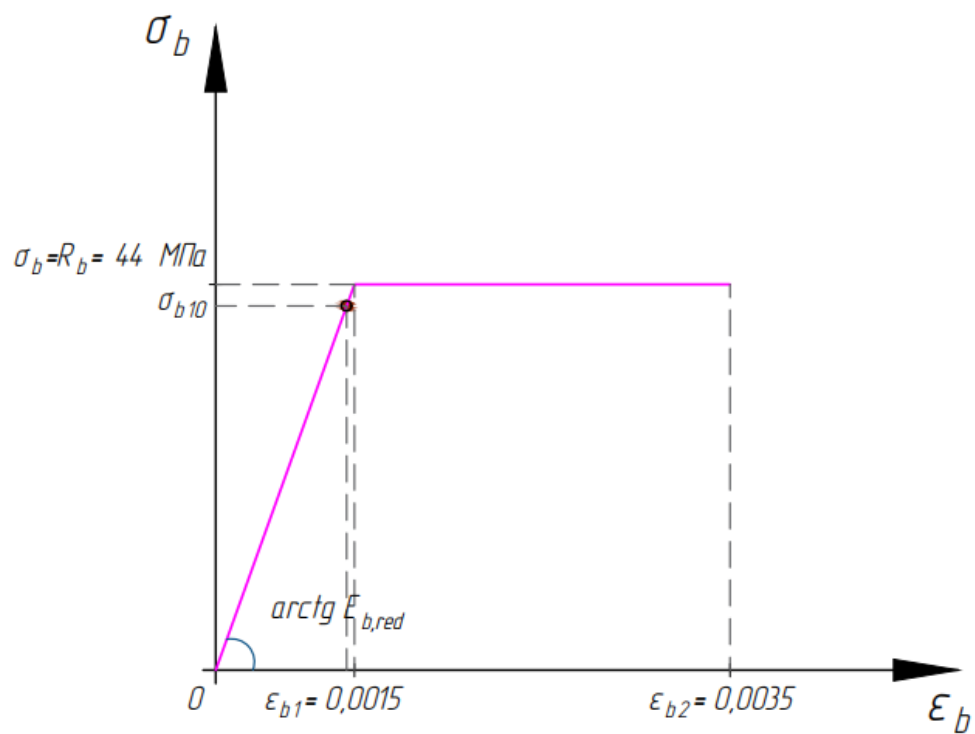


Рисунок 16 – Двух линейная диаграмма состояния сжатого бетона

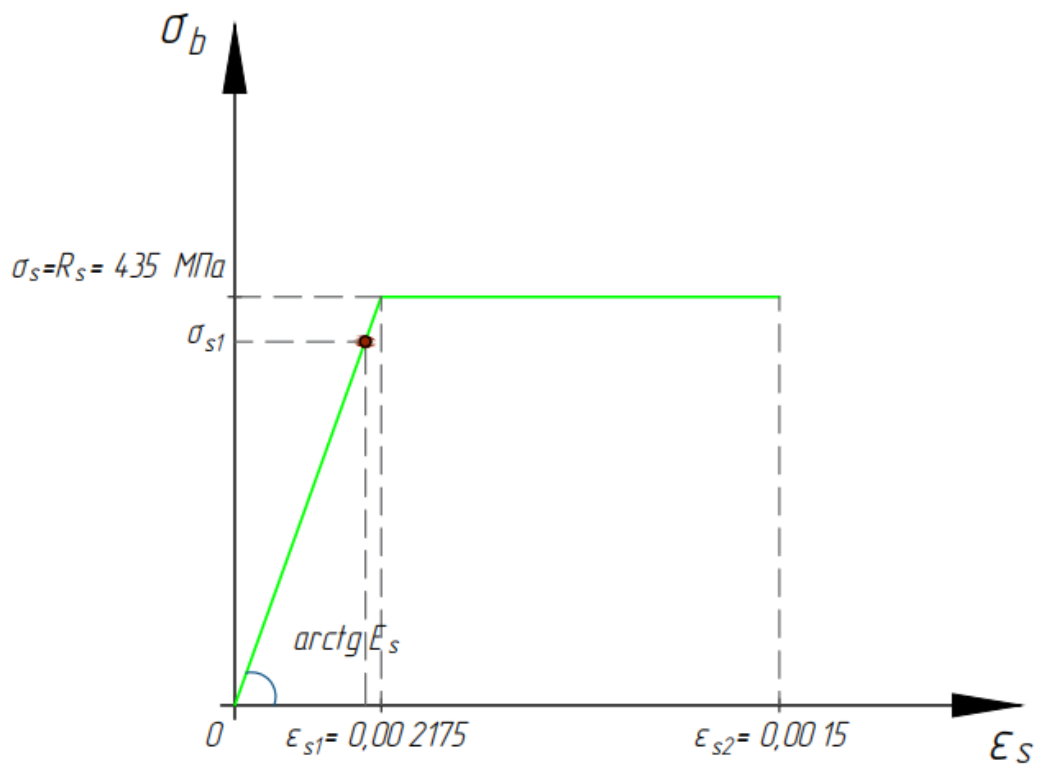


Рисунок 17 – Двух линейная диаграмма состояния растянутой арматуры

Отношение деформаций крайней сжатой полосы бетона ε_{b10} к $\varepsilon_{b1} - 0,0015$ равно:

$$\frac{\varepsilon_{b10}}{\varepsilon_{b1}} = \frac{0,00143}{0,00150} \cdot 100\% = 96\%.$$

А отношение деформаций арматуры в сжатой зоне ε_{s2} к $\varepsilon_{s0} - 0,002175$ равно:

$$\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_{s2}} = \frac{0,00198}{0,002175} \cdot 100\% = 91 \ %.$$

Отсюда мы видим, что в элементе деформации в растянутой арматуре и бетоне практически равны предельным, что показывает полное включение бетона и арматуры в работу балки.

Деформационная модель позволила нам скорректировать относительную высоту сжатой зоны балки. Однако, по мере прохождения циклов бетон растянутой зоны, как и в расчете по предельным усилиям постепенно выключался из работы. Поэтому последний расчет будет направлен на совместную работу двух классов бетона в балке.

3.6 Проверка несущей способности балки с двумя классами бетона.

В магистерской работе основной задачей является увеличить несущую способность балки за счет минимальных вложений, поэтому можно постараться сэкономить еще и на бетоне в растянутой зоне.

В основу диссертации закладывается теория о совместной работе двух классов бетона [29]. Теория заключается в том, что бетон в растянутой зоне балки можно заменить минимально требуемым, так как он не участвует в дальнейшей работе. Для дальнейшего исследования возьмем характеристики

балки сечением 400×220(h) и классом бетона В90, а в растянутую часть балки поместим бетон класса В30.

Для расчетного сопротивления бетона скорректируем $R_{b,red}$ по формуле 28:

$$R_{b,red} = \frac{R_{b1} \cdot A_1 + R_{b2} \cdot A_2}{A_1 + A_2}. \quad (28)$$

Дальнейшим развитием теории является внедрение высокопрочного вкладыша в сжатую зону, а остальное пространство заполняется бетоном класса В30. Для обеспечения совместной работы двух классов бетона необходимо минимум 20 мм с каждой грани балки. Так как бетон работает только в сжатой зоне, согласно выше представленным расчетам отсечем бетон растянутой зоны и посчитаем площадь бетона В30 и В90 в сжатой зоне.

Относительную высоту сжатой зоны примем – 80 мм. Сечение элемента представлено на рисунке 18.

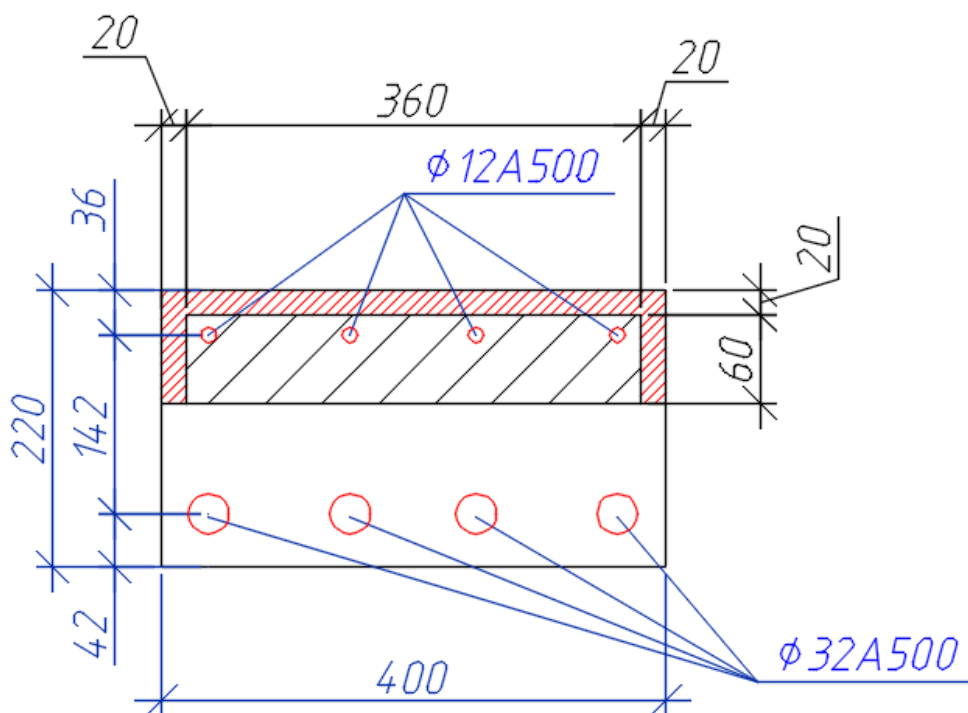


Рисунок 18 – Сечение балки с двумя классами бетона.

На основании полученных данных и конструктивных изменений площадь бетона классом В30 равно 104,0 см², бетона В90 равно 216,0 см² в сжатой зоне и подставим в формулу 7.

$$R_{b,red} = \frac{440 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 216,0 \text{ см}^2 + 170 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 104,0 \text{ см}^2}{(216,0 + 104,0) \text{ см}^2} = 352 \text{ кН/см}^2.$$

«Найдем относительно сжатую зону бетона:»

$$x = \frac{4350 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 32,17 \text{ см}^2 - 4000 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 4,52 \text{ см}^2}{352 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 40 \text{ см}} = 9,2 \text{ см}.$$

Скорректируем значения площадей бетона В30 и В90. Пересчитаем $R_{b,red}$:

$$R_{b,red} = \frac{440 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 252,0 \text{ см}^2 + 170 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 108,0 \text{ см}^2}{(252,0 + 108,0) \text{ см}^2} = 360 \text{ кН/см}^2.$$

«Найдем относительно сжатую зону бетона:»

$$x = \frac{4350 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 32,17 \text{ см}^2 - 4000 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 4,52 \text{ см}^2}{360 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 40 \text{ см}} = 9,0 \text{ см}.$$

Скорректируем значения площадей бетона В30 и В90. Пересчитаем $R_{b,red}$:

$$R_{b,red} = \frac{440 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 250,0 \text{ см}^2 + 170 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 107,0 \text{ см}^2}{(250,0 + 107,0) \text{ см}^2} = 360 \text{ кН/см}^2.$$

«Найдем относительно сжатую зону бетона:»

$$x = \frac{4350 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 32,17 \text{ см}^2 - 4000 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 4,52 \text{ см}^2}{360 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 40 \text{ см}} = 9,0 \text{ см}.$$

«Проверим соблюдается ли условие:»

$$\xi = \frac{9,0 \text{ см}}{17,8 \text{ см}} = 0,506 < 0,531.$$

Условие соблюдается.

Пересчитаем M_{ult} , исходя из скорректированного $R_{b,red}$:

$$M < M_{ult} = 360 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 40 \text{ см} \cdot 9,0 \text{ см} \cdot (17,8 \text{ см} - 0,5 \cdot 9,0 \text{ см}) + 4000 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 4,52 \text{ см}^2 \cdot (17,8 \text{ см} - 3,6 \text{ см}) = 198,04 \text{ кН} \cdot \text{м} > 198 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Условие прочности выполняется. Исходя из этого можно сказать, что балка запроектирована верно и способна выдержать приложенную к ней нагрузку. Однако несущая способность является граничной, поэтому необходимо подтверждение расчетной части. Для этого в будущем необходимо провести лабораторные испытания.

Выводы по третьей главе.

Во третьей главе было проведено несколько расчетов. Первый был направлен на то, чтобы просчитать балку с одинаковым сечением $400 \times 220(h)$ для разных классов бетона. Остальные были направлены на корректировку балки с бетоном В90, а также проверочный расчет на совместную работу двух бетонов в одной конструкции.

Мы также подтвердили гипотезу из 2 главы о том, что наибольший эффект от применения высокопрочного бетона достигается при отношении b к h равным 1,5 и более, и ξ приблизительно равным ξ_R .

Глава 4 Конструирование гибридной балки и проведение технико-экономического сравнительного анализа.

После проведения необходимых расчетов необходимо спроектировать гибридную балку и дать рекомендации по ее изготовлению. А также провести сравнительный анализ и показать преимущества новой конструкции.

4.1 Конструирование новой балки.

Данные для конструирования новой балки примем из расчетов по третьей главе.

Исходные данные для проектирования:

- класс бетона в сжатой зоне В90, в растянутой В30;
- арматуру в растянутой зоне приняли диаметр 32 А500, в сжатой зоне диаметр 12 А500;
- из расчета получили относительную высоту сжатой зоны бетона 90 мм.

Прежде всего, необходимо подумать, какой формы и размеров будет бетонный вкладыш, технологию установки вкладыша и крепления арматуры.

Поскольку в системе АРКОС бетонная балка не имеет опалубку, по бокам ее ограничивают пустотные плиты, а снизу устанавливают подпорные столики, все эти факторы ограничивают зону работы с арматурой. Поэтому никак нельзя устанавливать рабочую арматуру, а после устанавливать вкладыш, так как не будет возможности связать арматурный каркас. Исходя из этого, на строительную площадку будет привозиться уже полностью связанный арматурный каркас с бетонным вкладышем, и перевязываться с другими балками системы.

Далее нужно определиться с параметрами арматурного каркаса. Сам бетонный вкладыш будет размером 70×360 мм. Сверху принимаем величину защитного слоя 20 мм, по бокам от вкладыша конструктивный зазор 20 мм. Однако такое маленькое расстояние не позволит качественно произвести

бетонирование, да и прямоугольное сечение не обеспечивает сцепление двух бетонов между собой. На основании этого примем решение сделать бетонный вкладыш периодического профиля, как в арматуре. Каждые 200 мм будет происходить сужение и расширение вкладыша на 15 мм с каждой грани, тем самым образуя периодичность профиля.

Рабочая арматура располагается в растянутой зоне, имеется защитный слой так же 20 мм снизу балки.

Арматуру для обвязки каркаса выбираем диаметром 8A240.

Для того чтобы установить каркас и перевязать балки между собой необходимо расстояние. Поэтому с каждой стороны от колонны необходимо отступить 20 мм, чтобы осталось 440 мм для перевязки балок драг с другом. Это расстояние позволит закрепить верхнюю и нижнюю арматуры, которые и будут соединять между собой соседние ригели.

После необходимых усовершенствований модели балки, запроектируем ее. На рисунке 19 показан вид балки сверху, на рисунке 20 и 21 показан вид сбоку в разрезе и поперечный разрез балки соответственно.

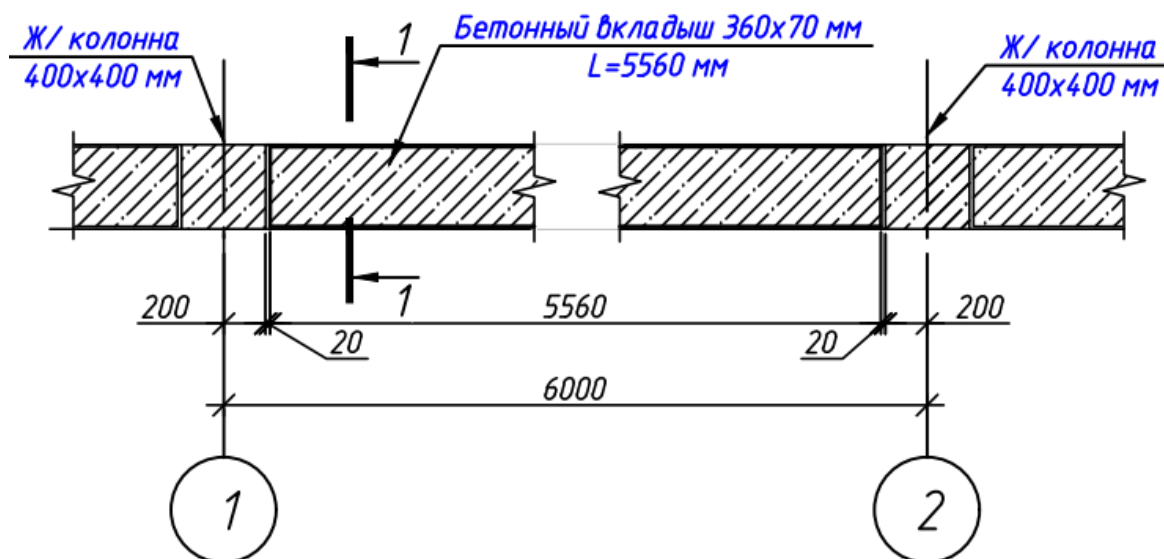


Рисунок 19 – Железобетонная балка на плане сверху

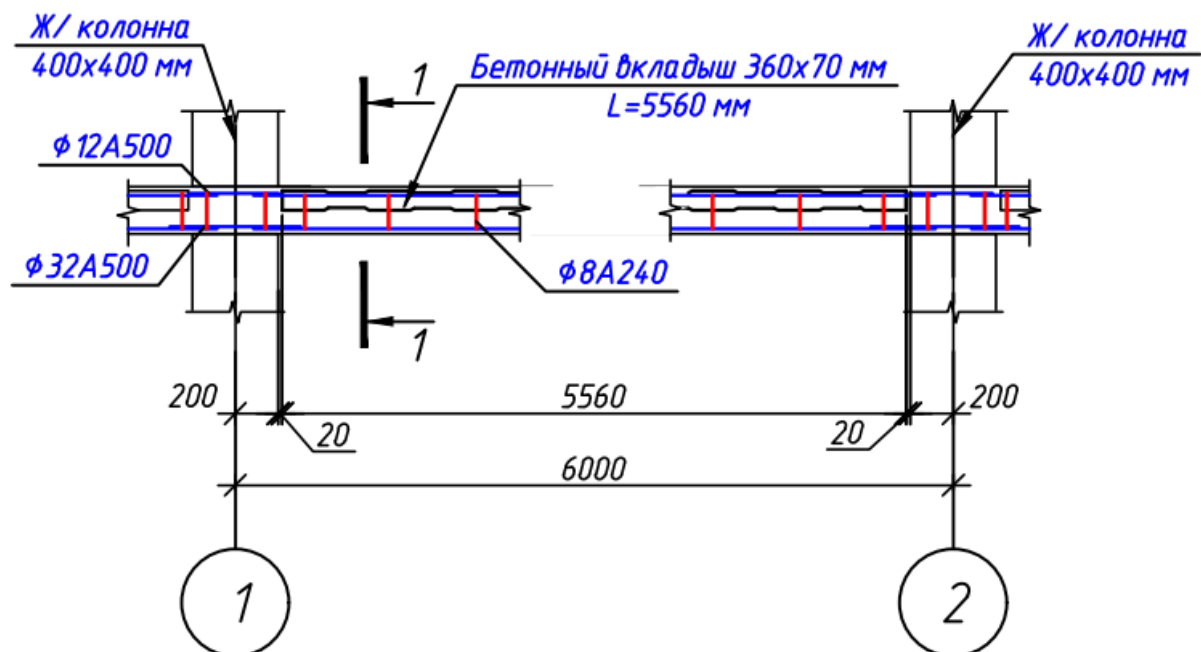


Рисунок 20 – Вид ж/б балки сбоку в разрезе

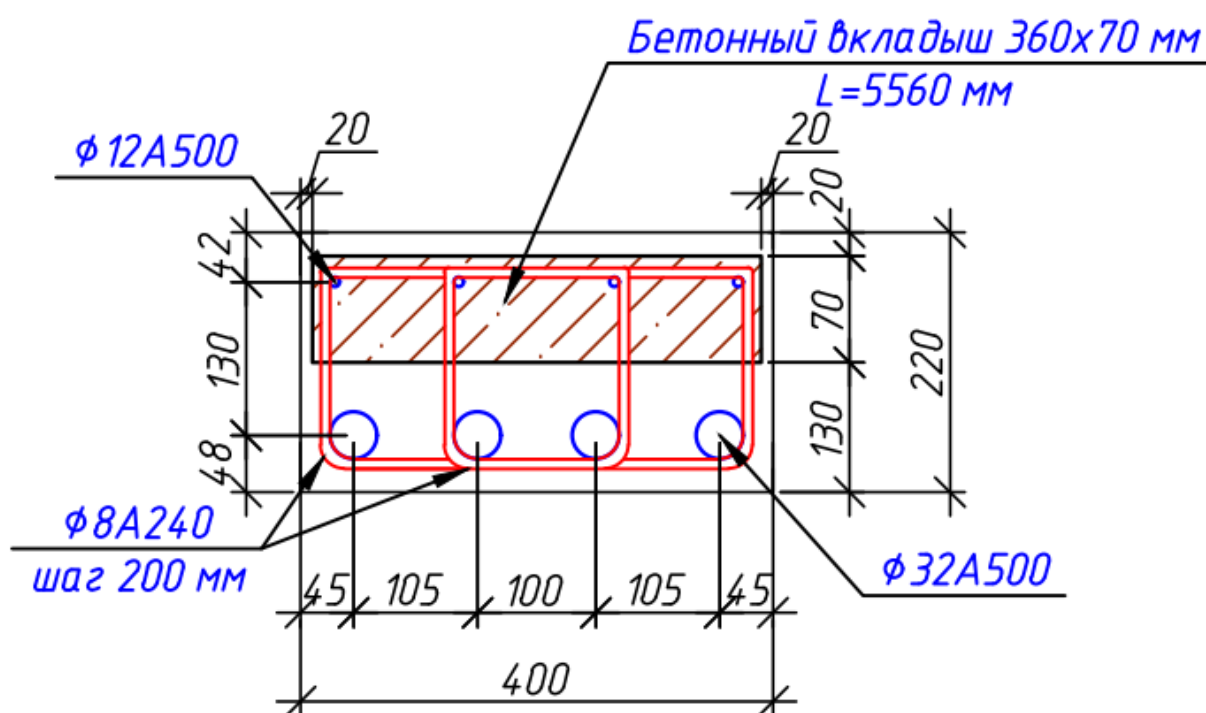


Рисунок 21 – Разрез 1-1

Для более наглядного представления на рисунке 22 представлена балка в 3Д виде в Российской программе Renga.

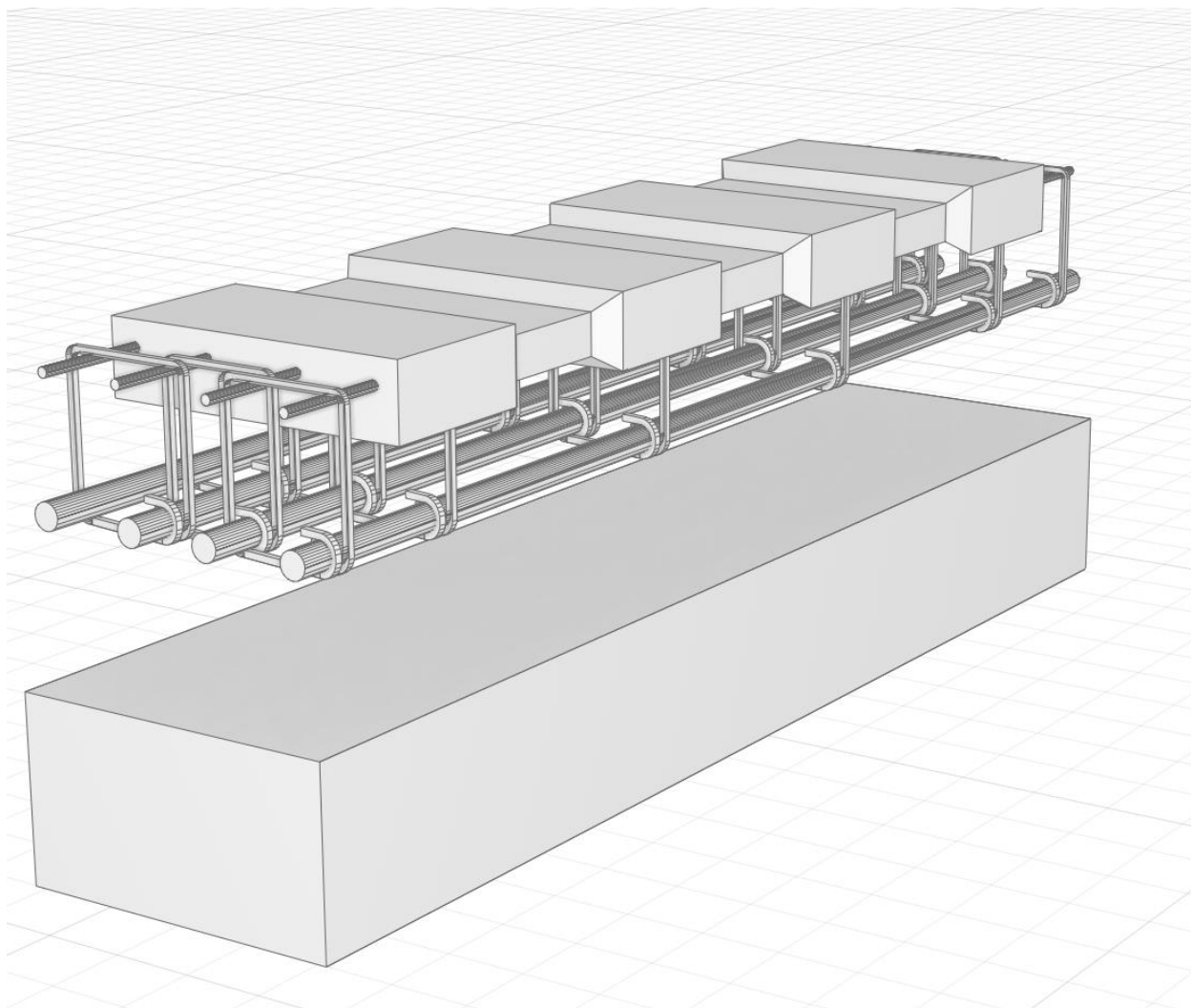


Рисунок 22 – 3Д модель новой балки

Посоветовавшись с технологами, было принято решение высокопрочный вкладыш с арматурным каркасом изготавливать на заводе, а уже после монтировать на строительной площадке и заливать бетоном конструкцию. Также бетон классом В30 будет применяться с добавлением пластификатора, для повышения пластичности раствора.

4.2 Экономическая целесообразность применения новой модели.

Для сравнения экономических показателей возьмем параметры двух балок из третьей главы диссертации. Составим две сметы на изготовление стандартной балки и гибридной конструкции, сметы представлены в таблицах А.1; А.2 приложения А. Отличительной чертой в изготовлении является то, что высокопрочный вкладыш и арматурный каркас изготавливается на заводе для гибридной балки.

Стоимость бетона и арматуры взята из справочников по Самарской области. А также производился мониторинг цен поставщиков на Тольяттинском заводе ООО «Строй-Бетон» по прайс-листу и на Тольяттинском сайте «МЕТАЛЛОПРОКАТ.РУ». Объем бетона В30 в стандартной балке составил 0,528 м³, в гибридной балке В30 – 0,401 м³, В90 – 0,127 м³.

Стоимость одной стандартной балки составила 44430 рублей, гибридной 30315 рублей. Разница в стоимости составляет 14115 рублей.

Для наглядного примера подсчитаем экономию с девятиэтажного шести подъездного жилого дома и сведем результаты в таблицу 8.

Таблица 8 – Сравнительный экономический анализ 3.

Ж/б конструкции	Стоимость ж/б балки, руб.		Выгода, руб.
	Ж/б балка без вкладыша, руб.	Ж/б балка с вкладышем, руб.	
1 балка	44430	30315	14115
1 этаж (1 подъезд) – 15 балок	666450	454725	211725
9 этажей (1 подъезд)	5998050	4092525	1905525
Здание (6 подъездов)	35988300	24555200	11433100

Выгода с одного дома от применение высокопрочного вкладыша в балке составила 1143300 рублей.

Выводы по четвертой главе.

В третьей главе была спроектирована гибридная балка с бетонами В30 и В90 с учетом всех конструктивных требований и смоделирована в 3D программе. Также оставлены рекомендации по технологии возведения новой конструкции.

После этого произведен анализ технико-экономических показателей. Наглядно показана материалоемкость данной конструкции, а также экономическая выгода.

Выгода от применяемого высокопрочного вкладыша для девятиэтажного шести подъездного здания, выполненного по системе АРКОС – 1 составляет 11433100 рублей.

Заключение

В магистерской диссертации была достигнута цель исследования и подтверждена поставленная гипотеза. В научной работе удалось решить все поставленные задачи, а именно:

- а) Разработано конструктивное решение железобетонной балки с применением бетонов двух классов по прочности на сжатие. Балка обладает необходимой несущей способностью с минимальной материалоемкостью в сравнении со стандартной балкой;
- б) Наибольшая эффективность применения высокопрочного бетона в изгибаемом элементе достигается при значениях ξ , стремящихся к ξ_R ;
- в) В конкретных условиях проведенного исследования достигнуто уменьшение требуемой площади арматуры гибридной железобетонной балки (В30/В90) в целом на 40 процентов (в растянутой зоне на 4,5 процента, в сжатой на 84 процента). К тому же экономия высокопрочного бетона составила 75 процентов в бибетонной балке, за счет использования бетона средней прочности в растянутой зоне;
- г) Формы и размеры сечения вкладыша должны назначаться из соображения возможности бетонирования конструкции и совместной работы двух бетонов. А также располагать вкладыш необходимо с максимальным смещением к сжатой грани;
- д) В работе была доказана экономическая целесообразность разработанной модели. Прикладное применение гибридной бибетонной балки в системе АРКОС-1 показало экономический эффект с 1 балки 14115 рублей, с девятиэтажного шести подъездного дома 11433100 рублей.

Для подтверждения результатов расчетов в будущем необходимо провести лабораторные испытания и при положительном заключении экспертов, можно будет внедрить данную конструкцию в строительные проекты.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Абрамян С. Г., Гнатюк Д. В. Сборные и сборно-монолитные каркасные системы высотных зданий с плоскими плитами перекрытия // Наукоедение. 2017. №1. С. 83.
2. Авторское свидетельство № 1749413 А1 СССР, МПК E04C 3/28. Сборно-монолитная конструкция: №4808739: заявл. 04.04.1990: опубл. 23.07.1992 / А. В. Думитрюк, В. В. Гузовский – 4 с.
3. Авторское свидетельство № 681163 А1 СССР, МПК E04B 1/38. Сборный элемент сборно-монолитных железобетонных конструкций: № 2589608: заявл. 09.03.1978: опубл. 25.08.1979 / С. Ф. Канаев – 3 с.
4. Богачева С. В., Никулин А. И. Техничко-экономическая эффективность каркасных систем с плоскими сборно-монолитными перекрытиями // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы III Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 06–10 апреля 2020 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2020. С. 58-61.
5. Войцешук М. В., Бурманова А. В. Достоинства и недостатки, предопределяющие целесообразность применения современных сборно-монолитных домостроительных систем // Инновационное развитие строительства и архитектуры: взгляд в будущее: Сборник тезисов участников Международного студенческого строительного форума – 2019. – Симферополь: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал». 2019. С. 112-116.
6. Гиль А. И., Лазовский Е. Д. Методика экспериментальных исследований сопротивления изгибу статически неопределимых железобетонных балок с гибридным армированием // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации: сборник статей международной научной конференции, посвященной 50-летию Полоцкого

государственного университета, Новополюцк, 05–06 апреля 2018 года. – Новополюцк: Учреждение образования «Полуцкий государственный университет». 2018. С. 61-66.

7. Грисякина Д. В. Факторы перспективного развития сборно-монолитного каркасного строительства // Образование, наука, производство: VIII Международнй молодежный форум, Белгород, 15–16 октября 2016 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2016. С. 975-979.

8. Дорофеев В. С., Дорофеев А. В., Пушкарь Н. В. Рекомендации по проектированию сборно-монолитных железобетонных балочных конструкций // Актуальные научные исследования в современном мире. 2019. № 12-1(56). С. 44-50.

9. Зотеева Е. Э. Сборно-монолитные системы гражданских зданий: обобщение опыта строительства на примере г. Екатеринбурга // Современное строительство и архитектура. 2017. № 32(166). С. 15-17.

10. Косарев В. Н. Особенности технологии сборно-монолитного многоэтажного домостроения // Современное строительство и архитектура. 2023. № 4(35). С. 8-17.

11. Латышев М. А. Необходимость углубления исследований работы сборно-монолитных конструкций в каркасах сборно-монолитного каркасного домостроения // Молодой ученый. 2023. №20(467). С. 93-97.

12. Немировский Ю. В. Допредельное деформирование гибридных армированных бетонных конструкций // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. 2018. № 3(37). С. 26-37.

13. Немировский Ю. В. Оптимальное проектирование гибридных тавровых конструкций по предельно допустимым деформациям // Современные технологии в кораблестроительном и авиационном образовании, науке и производстве: Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Р.Е.

Алексеева, Нижний Новгород, 23–24 ноября 2016 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева. 2016. С. 551-557.

14. Патент на полезную модель № 89560 U1 Российская Федерация, МПК E04C 2/38. Ребристая сборно-монолитная панель: № 2009134862/22: заявл. 18.09.2009: опубл. 10.12.2009 / Н. Н. Лукачев. – 12 с.

15. Патент № 2604539 C1 Российская Федерация, МПК E01D 2/00. Гибридное пролетное строение с предварительно напряженными балками из полимерного композиционного материала и железобетонной плитой поверху: № 2015130755/03: заявл. 26.07.2015: опубл. 10.12.2016 / Б. В. Пыринов, А. А. Щелконогов, Ю. К. Шушакова, Е. А. Шелепова – 9 с.

16. Патент № 2677188 C1 Российская Федерация, МПК E04C 3/294. Предварительно напряженная сталебетонная балка: № 2018107163: заявл. 26.02.2018: опубл. 15.01.2019 / В. В. Веселов, Т. Д. Абатурова, М. В. Копачева – 7 с.

17. Патент № 2745287 C1 Российская Федерация, МПК E04C 3/293. Сталежелезобетонная балка: № 2020129505: заявл. 07.09.2020: опубл. 23.03.2021 / В. В. Веселов, В. В. Егоров – 8 с.

18. Патент № 2789683 C1 Российская Федерация, МПК E04C 3/29. гибридная балка: № 2022119301: заявл. 13.07.2022: опубл. 07.02.2023 / К. В. Талантова, В. В. Веселов, Д. В. Балаев, Е. Д. Фролова – 7 с.

19. Пичкурова Н. С., Шаланкова А. Г. Эффективные конструктивные системы каркасных зданий // Актуальные вопросы архитектуры и строительства: Материалы XIII Международной научно-технической конференции, Новосибирск, 22–24 сентября 2020 года. – Новосибирск: Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин). 2020. С. 23-28.

20. Рубанов А. В., Бояринцев А. П., Рубанов А. А., Петров П. А. Особенность технологии возведения зданий из сборно-монолитных конструкций // Инвестиции, градостроительство, недвижимость как драйверы

социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения: Материалы XIII Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Томск, 28 февраля – 02 2023 года. – Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет. 2023. С. 452-459.

21. Сафронова Е. К. Проектирование рамно-связевой системы с безбалочными перекрытиями // Избранные доклады 64-й университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых: Сборник докладов, Томск, 24 апреля 2018 года. – Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет. 2018. С. 103-105.

22. Скачков Ю. П., Снежкина О. В., Ладин Р. А. Зависимость прочности железобетонных балок от их геометрических характеристик в зоне действия поперечных сил // Региональная архитектура и строительство. 2019. № 1(38). С. 56-61.

23. СП 63.133330.2018// Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения/ Москва, 2019 г.

24. Талантова К. В., Веселов В. В. Современные гибридные строительные конструкции // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: Материалы Международных академических чтений, Курск, 18 ноября 2020 года – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга". 2020. С. 46-55.

25. Фомин Н. И., Исаев А. П., Зотеева Е. Э. Инновационный потенциал сборно-монолитных систем гражданских зданий // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2016. № 4(31). С. 66-71.

26. B. P, D. Kk Study on the Shear Capacity of Concrete Beam Reinforced with Glass Fiber Reinforced Polymers Grid Reinforcement // International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. 2022. № 7. С. 899-901.

27. Dem'yanov A., Kolchunov V., Iakovenko I., Kozarez A. Load Bearing Capacity Calculation of the System "reinforced Concrete Beam - Deformable Base"

under Torsion with Bending // Web of Conferences: 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment. 2019. № 97. C.945-951.

28. Nekora O., Slovynsky V., Pozdieiev S. The research of bearing capacity of reinforced concrete beam with use combined experimental-computational method // MATEC Web of Conferences. 2017. № 116. C.146-165.

29. Nikkhah S., Allahham A., Royapoor M. Optimising Building-to-Building and Building-for-Grid Services under Uncertainty: A Robust Rolling Horizon Approach // IEEE Transactions on Smart Grid. 2022. № 13. C.1453-1467.

30. Nwadike A. N., Wilkinson S. Building code amendment and building resilience: perspective of building code users in New Zealand // Built Environment Project and Asset Management. 2021. № 11. C. 643-659.

Приложение А

Таблица А.1 – Локальная смета на изготовление стандартной балки.

																Утверждено приказом Минстроя РФ № 421/пр от 4 августа 2020 г. в редакции приказа № 557/пр от 7 июля 2022 г.
СОГЛАСОВАНО:													УТВЕРЖДАЮ:			
													Научный руководитель			
													Д.С. Тошин			
"___" _____ 2025 года													"___" _____ 2025 года			
Наименование программного продукта						ГРАНД-Смета, версия 2025.2										
Наименование редакции сметных нормативов						Приказ Минстроя России от 30.12.2021 № 1046/пр; Приказ Минстроя России от 04.08.2020 № 421/пр; Приказ Минстроя России от 21.12.2020 № 812/пр; Приказ Минстроя России от 11.12.2020 № 774/пр; Приказ Минстроя России от 02.08.2023 № 551/пр; Приказ Минстроя России от 14.11.2023 № 817/пр; Приказ Минстроя России от 16.02.2024 № 102/пр; Приказ Минстроя России от 13.05.2024 № 323/пр; Приказ Минстроя России от 09.08.2024 № 524/пр; Приказ Минстроя России от 07.11.2024 № 747/пр; Приказ Минстроя России от 07.02.2025 № 69/пр										
Реквизиты приказа Минстроя России об утверждении дополнений и изменений к сметным нормативам						Приказ Минстроя России от 18 мая 2022 г. № 378/пр; Приказ Минстроя России от 26 августа 2022 г. № 703/пр; Приказ Минстроя России от 26 октября 2022 г. № 905/пр; Приказ Минстроя России от 27 декабря 2022 г. № 1133/пр; Приказ Минстроя России от 10 февраля 2023 г. № 84/пр; Приказ Минстроя России от 11.05.2023 № 335/пр; Приказ Минстроя России от 07.07.2022 № 557/пр; Приказ Минстроя России от 02.09.2021 № 636/пр; Приказ Минстроя России от 26.07.2022 № 611/пр; Приказ Минстроя России от 22.04.2022 № 317/пр; Приказ Минстроя России от 02.08.2023 № 551/пр; Приказ Минстроя России от 14.11.2023 № 817/пр; Приказ Минстроя России от 30.01.2024 № 55/пр; Приказ Минстроя России от 16.02.2024 № 102/пр; Приказ Минстроя России от 13.05.2024 № 323/пр; Приказ Минстроя России от 09.08.2024 № 524/пр; Приказ Минстроя России от 07.11.2024 № 747/пр; Приказ Минстроя России от 07.02.2025 № 69/пр										

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

Реквизиты письма Минстроя России об индексах изменения сметной стоимости строительства, включаемые в федеральный реестр сметных нормативов и размещаемые в федеральной государственной информационной системе ценообразования в строительстве, подготовленного в соответствии пунктом 85 Методики расчета индексов изменения сметной стоимости строительства, утвержденной приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 5 июня 2019 г. № 326/пр¹	Письмо Минстроя России от 25.02.2025 № 10314-ИФ/09										
Реквизиты нормативного правового акта об утверждении оплаты труда, утверждаемый в соответствии с пунктом 22(1) Правилами мониторинга цен, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2016 г. № 1452	Постановление Правительства Самарской области от 27.03.2024 № 209										
Обоснование принятых текущих цен на строительные ресурсы											
Наименование субъекта Российской Федерации	63. Самарская область										
Наименование зоны субъекта Российской Федерации	Самарская область										
г.Тольятти, Самарская обл.											
(наименование стройки)											
Многokвартирный 9-ти этажный жилой дом											
(наименование объекта капитального строительства)											
ЛОКАЛЬНЫЙ СМЕТНЫЙ РАСЧЕТ (СМЕТА) № 02-01-01											
Устройств монолитной железобетонной балки №1											
(наименование работ и затрат)											
Составлен ресурсно-индексным методом											
Основание Проект, спецификация											
Составлен(а) в текущем уровне цен	I квартал 2025 года										

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

Сметная стоимость			44,43	тыс.руб.								
	в том числе:											
	строительных работ		37,03	тыс.руб.				Средства на оплату труда рабочих			2,02	тыс.руб.
	монтажных работ		0,00	тыс.руб.				Средства на оплату труда машинистов			0,20	тыс.руб.
	оборудования		0,00	тыс.руб.				Нормативные затраты труда рабочих			6,34	чел.-ч.
	прочих затрат		0,00	тыс.руб.				Нормативные затраты труда машинистов			0,41	чел.-ч.
№ п/п	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость, руб.					
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Раздел 1. Новый раздел												
1	ГЭСН06-07-001-03	Устройство балок для перекрытий, подкрановых и обвязочных на высоте от опорной площадки: до 6 м при высоте балок до 800 мм	100 м3	0,00528	1	0,00528						
		Объем=0,528 / 100										
	1	ОТ(ЗТ)	чел.-ч			6,336						2 016,24
	1-100-31	Средний разряд работы 3,1	чел.-ч	1200		6,336			318,22			2 016,24
	2	ЭМ										418,71
		ОТм(ЗТм)	чел.-ч			0,4146912						195,80
	91.05.01-017	Краны башенные, грузоподъемность 8 т	маш.-ч	75,09		0,3964752	622,62	1,44	896,57			355,47
	4-100-060	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 6	чел.-ч	75,09		0,3964752			475,34			188,46

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	91.05.05-015	Краны на автомобильном ходу, грузоподъемность 16 т	маш.-ч	1,28		0,0067584			1 639,31		11,08
	4-100-060	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 6	чел.-ч	1,28		0,0067584			475,34		3,21
	91.06.05-011	Погрузчики одноковшовые универсальные фронтальные пневмоколесные, номинальная вместимость основного ковша 2,6 м3, грузоподъемность 5 т	маш.-ч	0,25		0,00132			1 669,29		2,20
	4-100-050	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 5	чел.-ч	0,25		0,00132			406,68		0,54
	91.07.04-001	Вибраторы глубинные	маш.-ч	60		0,3168	10,37	1,33	13,79		4,37
	91.14.02-001	Автомобили бортовые, грузоподъемность до 5 т	маш.-ч	1,92		0,0101376	477,92	1,3	621,30		6,30
	4-100-040	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 4	чел.-ч	1,92		0,0101376			353,87		3,59
	91.17.04-233	Аппараты сварочные для ручной дуговой сварки, сварочный ток до 350 А	маш.-ч	217		1,14576			34,29		39,29
	4	М									1 059,12
	01.7.03.01-0001	Вода	м3	0,171		0,0009029	35,71	1,05	37,50		0,03
	01.7.11.07-0227	Электроды сварочные для сварки низколегированных и углеродистых сталей УОНИ 13/45, Э42А, диаметр 4-5 мм	кг	310		1,6368	155,63	0,97	150,96		247,09
	01.7.15.06-0111	Гвозди строительные	т	0,045		0,0002376	70 296,20	1,28	89 979,14		21,38
	03.1.02.03-0011	Известь строительная негашеная комовая, сорт I	т	0,057		0,000301	5 275,05	1,3	6 857,57		2,06
	08.3.03.06-0002	Проволока горячекатаная в мотках, диаметр 6,3-6,5 мм	т	0,012		0,0000634	60 258,20	1,04	62 668,53		3,97
	11.1.02.04-0031	Лесоматериалы круглые хвойных пород неокоренные, длина 3-6,5 м, диаметр 14-24 см, сорт II-III	м3	0,13		0,0006864	6 442,06	1,18	7 601,63		5,22

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	11.1.03.01-0063	Бруски обрезные хвойных пород (ель, сосна), естественной влажности, длина 2-6,5 м, ширина 20-90 мм, толщина 20-90 мм, сорт III	м3	6,46		0,0341088	16 496,03	1,01	16 660,99		568,29
	11.1.03.01-0066	Брус обрезной хвойных пород (ель, сосна), естественной влажности, длина 2-6,5 м, ширина 100 и более мм, толщина 100 и более мм, сорт II	м3	1,02		0,0053856	16 655,00	1,01	16 821,55		90,59
	11.1.03.06-0071	Доска обрезная хвойных пород, естественной влажности, длина 2-6,5 м, ширина 100-250 мм, толщина 25 мм, сорт III	м3	0,14		0,0007392	5 764,42	1,85	10 664,18		7,88
	11.1.03.06-0079	Доска обрезная хвойных пород, естественной влажности, длина 2-6,5 м, ширина 100-250 мм, толщина 44-50 мм, сорт III	м3	2		0,01056	5 764,42	1,85	10 664,18		112,61
		Итого прямые затраты									3 689,87
		ФОТ									2 212,04
	Пр/812-006.0-1	НР Бетонные и железобетонные монолитные конструкции и работы в строительстве	%	102		102					2 256,28
	Пр/774-006.0	СП Бетонные и железобетонные монолитные конструкции и работы в строительстве	%	58		58					1 282,98
		Всего по позиции							1 369 153,41		7 229,13
2	ФСБЦ-01.7.16.03-0021	Щит опалубки линейный, мелкощитовой, комбинированный, разборно-переставной, инвентарный, для опалубки стен, из стальных опалубочных профилей толщиной 2 мм, профилей перемычек толщиной 1,5 мм, с палубой	м2	0,74448	1	0,74448	9 969,16	1,27	12 660,83		9 425,73

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		из ламинированной влагостойкой фанеры толщиной 18 мм, размеры 1200х400 мм									
		Всего по позиции									9 425,73
3	ФСБЦ-08.4.03.03-0011	Прокат арматурный для железобетонных конструкций, класс А500С, диаметр 32 мм	т	0,151	1	0,151	56 256,50	0,84	47 255,46		7 135,57
		Всего по позиции									7 135,57
4	ФСБЦ-08.4.03.03-0012	Прокат арматурный для железобетонных конструкций, класс А500С, диаметр 36 мм	т	0,192	1	0,192	56 256,50	0,84	47 255,46		9 073,05
		Всего по позиции									9 073,05
5	ФСБЦ-04.1.02.05-0011	Смеси бетонные тяжелого бетона (БСТ), класс В30 (М400)	м3	0,53592	1	0,53592			7 766,03		4 161,97
		Всего по позиции									4 161,97
		Итоги по разделу 1 Новый раздел :									
		Всего прямые затраты (справочно)									33 486,19
		в том числе:									
		Оплата труда рабочих									2 016,24
		Эксплуатация машин									418,71
		Оплата труда машинистов (Отм)									195,80
		Материалы									30 855,44
		Строительные работы									37 025,45

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

		в том числе:	
		оплата труда	2 016,24
		эксплуатация машин и механизмов	418,71
		оплата труда машинистов (Отм)	195,80
		материалы	30 855,44
		накладные расходы	2 256,28
		сметная прибыль	1 282,98
		Всего ФОТ (справочно)	2 212,04
		Всего накладные расходы (справочно)	2 256,28
		Всего сметная прибыль (справочно)	1 282,98
		Всего по разделу 1 Новый раздел	37 025,45
		справочно:	
		Затраты труда рабочих	6,336
		Затраты труда машинистов	0,4146912
		Итоги по смете:	
		Всего прямые затраты (справочно)	33 486,19
		в том числе:	
		Оплата труда рабочих	2 016,24
		Эксплуатация машин	418,71
		Оплата труда машинистов (Отм)	195,80
		Материалы	30 855,44
		Строительные работы	37 025,45
		в том числе:	
		оплата труда	2 016,24
		эксплуатация машин и механизмов	418,71

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

		оплата труда машинистов (Отм)																195,80
		материалы																30 855,44
		накладные расходы																2 256,28
		сметная прибыль																1 282,98
		Всего ФОТ (справочно)																2 212,04
		Всего накладные расходы (справочно)																2 256,28
		Всего сметная прибыль (справочно)																1 282,98
		НДС 20%																7 405,09
		ВСЕГО по смете																44 430,54
		справочно:																
		Затраты труда рабочих							6,336									
		Затраты труда машинистов							0,4146912									
	Составил:	Студент															(Н.В. Бражник)	
	Проверил:	Научный руководитель															(Д.С. Тошин)	
1. Зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 10 сентября 2019 г., регистрационный № 55869), с изменениями, внесенными приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 20 февраля 2021 г. № 79/пр (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 9 августа 2021 г., регистрационный № 64577)																		
2. Под прочими затратами понимаются затраты, учитываемые в соответствии с пунктом 184 Методики.																		
3. Под прочими работами понимаются затраты, учитываемые в соответствии с пунктами 122-128 Методики.																		

Продолжение Приложения А

Таблица А.2 – Локальная смета на изготовление гибридной балки.

															Утвержден о приказом Минстроя РФ № 421/пр от 4 августа 2020 г. в редакции приказа № 557/пр от 7 июля 2022 г.
СОГЛАСОВАНО:												УТВЕРЖДАЮ:			
												Научный руководитель			
												Д.С. Тошин			
" ____ " _____ 2025 года												" ____ " _____ 2025 года			
Наименование программного продукта							ГРАНД-Смета, версия 2025.2								
Наименование редакции сметных нормативов							Приказ Минстроя России от 30.12.2021 № 1046/пр; Приказ Минстроя России от 04.08.2020 № 421/пр; Приказ Минстроя России от 21.12.2020 № 812/пр; Приказ Минстроя России от 11.12.2020 № 774/пр; Приказ Минстроя России от 02.08.2023 № 551/пр; Приказ Минстроя России от 14.11.2023 № 817/пр; Приказ Минстроя России от 16.02.2024 № 102/пр; Приказ Минстроя России от 13.05.2024 № 323/пр; Приказ Минстроя России от 09.08.2024 № 524/пр; Приказ Минстроя России от 07.11.2024 № 747/пр; Приказ Минстроя России от 07.02.2025 № 69/пр								
Реквизиты приказа Минстроя России об утверждении дополнений и изменений к сметным нормативам							Приказ Минстроя России от 18 мая 2022 г. № 378/пр, Приказ Минстроя России от 26 августа 2022 г. № 703/пр, Приказ Минстроя России от 26 октября 2022 г. № 905/пр, Приказ Минстроя России от 27 декабря 2022 г. № 1133/пр, Приказ Минстроя России от 10 февраля 2023 г. № 84/пр, Приказ Минстроя России от 11.05.2023 № 335/пр; Приказ Минстроя России от 07.07.2022 № 557/пр; Приказ Минстроя России от 02.09.2021 № 636/пр, Приказ Минстроя России от 26.07.2022 № 611/пр; Приказ Минстроя России от 22.04.2022 № 317/пр; Приказ Минстроя России от 02.08.2023 № 551/пр; Приказ Минстроя России от 14.11.2023 № 817/пр; Приказ Минстроя России от 30.01.2024 № 55/пр; Приказ Минстроя России от 16.02.2024 № 102/пр; Приказ Минстроя России от 13.05.2024 № 323/пр; Приказ Минстроя России от 09.08.2024 № 524/пр; Приказ Минстроя России от 07.11.2024 № 747/пр; Приказ Минстроя России от 07.02.2025 № 69/пр								

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.2

Реквизиты письма Минстроя России об индексах изменения сметной стоимости строительства, включаемые в федеральный реестр сметных нормативов и размещаемые в федеральной государственной информационной системе ценообразования в строительстве, подготовленного в соответствии пунктом 85 Методики расчета индексов изменения сметной стоимости строительства, утвержденной приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 5 июня 2019 г. № 326/пр ¹	Письмо Минстроя России от 25.02.2025 № 10314-ИФ/09
Реквизиты нормативного правового акта об утверждении оплаты труда, утверждаемый в соответствии с пунктом 22(1) Правилами мониторинга цен, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2016 г. № 1452	Постановление Правительства Самарской области от 27.03.2024 № 209
Обоснование принятых текущих цен на строительные ресурсы	
Наименование субъекта Российской Федерации	63. Самарская область
Наименование зоны субъекта Российской Федерации	Самарская область
г.Тольятти, Самарская обл.	
<i>(наименование стройки)</i>	
Многоквартирный 9-ти этажный жилой дом	
<i>(наименование объекта капитального строительства)</i>	
ЛОКАЛЬНЫЙ СМЕТНЫЙ РАСЧЕТ (СМЕТА) № 02-01-02	
Устройств монолитной железобетонной балки №2	
<i>(наименование работ и затрат)</i>	
Составлен ресурсно-индексным методом	
Основание Проект, спецификация	

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.2

Составлен(а) в текущем уровне цен		I квартал 2025 года										
Сметная стоимость			30,31	тыс.руб.								
	в том числе:											
	строительных работ		25,26	тыс.руб.				Средства на оплату труда рабочих			3,07	тыс.руб.
	монтажных работ		0,00	тыс.руб.				Средства на оплату труда машинистов			0,09	тыс.руб.
	оборудования		0,00	тыс.руб.				Нормативные затраты труда рабочих			9,97	чел.-ч.
	прочих затрат		0,00	тыс.руб.				Нормативные затраты труда машинистов			0,22	чел.-ч.
№ п/п	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость, руб.					
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициц иенты	всего в текущем уровне цен	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Раздел 1. Производство на заводе												
1	ГЭСН06-07-001-03	Устройство балок для перекрытий, подкрановых и обвязочных на высоте от опорной площадки: до 6 м при высоте балок до 800 мм	100 м3	0,00127	1	0,00127						
		Объем=0,127 / 100										
	1	ОТ(ЗТ)	чел.-ч			1,524					484,97	
	1-100-31	Средний разряд работы 3,1	чел.-ч	1200		1,524			318,22		484,97	
	2	ЭМ									100,70	
		ОТм(ЗТм)	чел.-ч			0,0997458					47,09	

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	91.05.01-017	Краны башенные, грузоподъемность 8 т	маш.-ч	75,09		0,0953643	622,62	1,44	896,57		85,50
	4-100-060	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 6	чел.-ч	75,09		0,0953643			475,34		45,33
	91.05.05-015	Краны на автомобильном ходу, грузоподъемность 16 т	маш.-ч	1,28		0,0016256			1 639,31		2,66
	4-100-060	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 6	чел.-ч	1,28		0,0016256			475,34		0,77
	91.06.05-011	Погрузчики одноковшовые универсальные фронтальные пневмоколесные, номинальная вместимость основного ковша 2,6 м3, грузоподъемность 5 т	маш.-ч	0,25		0,0003175			1 669,29		0,53
	4-100-050	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 5	чел.-ч	0,25		0,0003175			406,68		0,13
	91.07.04-001	Вибраторы глубинные	маш.-ч	60		0,0762	10,37	1,33	13,79		1,05
	91.14.02-001	Автомобили бортовые, грузоподъемность до 5 т	маш.-ч	1,92		0,0024384	477,92	1,3	621,30		1,51
	4-100-040	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 4	чел.-ч	1,92		0,0024384			353,87		0,86
	91.17.04-233	Аппараты сварочные для ручной дуговой сварки, сварочный ток до 350 А	маш.-ч	217		0,27559			34,29		9,45
	4	М									254,77
	01.7.03.01-0001	Вода	м3	0,171		0,0002172	35,71	1,05	37,50		0,01
	01.7.11.07-0227	Электроды сварочные для сварки низколегированных и углеродистых сталей УОНИ 13/45, Э42А, диаметр 4-5 мм	кг	310		0,3937	155,63	0,97	150,96		59,43
	01.7.15.06-0111	Гвозди строительные	т	0,045		0,0000572	70 296,20	1,28	89 979,14		5,15
	03.1.02.03-0011	Известь строительная негашеная комовая, сорт I	т	0,057		0,0000724	5 275,05	1,3	6 857,57		0,50
	08.3.03.06-0002	Проволока горячекатаная в мотках, диаметр 6,3-6,5 мм	т	0,012		0,0000152	60 258,20	1,04	62 668,53		0,95

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.2

	11.1.02.04-0031	Лесоматериалы круглые хвойных пород неокоренные, длина 3-6,5 м, диаметр 14-24 см, сорт II-III	м3	0,13		0,0001651	6 442,06	1,18	7 601,63		1,26
	11.1.03.01-0063	Бруски обрезные хвойных пород (ель, сосна), естественной влажности, длина 2-6,5 м, ширина 20-90 мм, толщина 20-90 мм, сорт III	м3	6,46		0,0082042	16 496,03	1,01	16 660,99		136,69
	11.1.03.01-0066	Брус обрезной хвойных пород (ель, сосна), естественной влажности, длина 2-6,5 м, ширина 100 и более мм, толщина 100 и более мм, сорт II	м3	1,02		0,0012954	16 655,00	1,01	16 821,55		21,79
	11.1.03.06-0071	Доска обрезная хвойных пород, естественной влажности, длина 2-6,5 м, ширина 100-250 мм, толщина 25 мм, сорт III	м3	0,14		0,0001778	5 764,42	1,85	10 664,18		1,90
	11.1.03.06-0079	Доска обрезная хвойных пород, естественной влажности, длина 2-6,5 м, ширина 100-250 мм, толщина 44-50 мм, сорт III	м3	2		0,00254	5 764,42	1,85	10 664,18		27,09
		Итого прямые затраты									887,53
		ФОТ									532,06
	Пр/812-006.0-1	НР Бетонные и железобетонные монолитные конструкции и работы в строительстве	%	102		102					542,70
	Пр/774-006.0	СП Бетонные и железобетонные монолитные конструкции и работы в строительстве	%	58		58					308,59
		Всего по позиции							1 369 149,61		1 738,82

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	ФСБЦ-01.7.16.03-0021	Щит опалубки линейный, мелкощитовой, комбинированный, разборно-переставной, инвентарный, для опалубки стен, из стальных опалубочных профилей толщиной 2 мм, профилей перемычек толщиной 1,5 мм, с палубой из ламинированной влагостойкой фанеры толщиной 18 мм, размеры 1200x400 мм	м2	0,17907	1	0,17907	9 969,16	1,27	12 660,83		2 267,17
		Всего по позиции									2 267,17
3	ФСБЦ-08.4.03.03-0011	Прокат арматурный для железобетонных конструкций, класс А500С, диаметр 32 мм	т	0,151	1	0,151	56 256,50	0,84	47 255,46		7 135,57
		Всего по позиции									7 135,57
4	ФСБЦ-08.4.03.03-0004	Прокат арматурный для железобетонных конструкций, класс А500С, диаметр 12 мм	т	0,021	1	0,021			49 638,88		1 042,42
		Всего по позиции									1 042,42
5	ФСБЦ-04.1.02.05-0017	Смеси бетонные тяжелого бетона (БСТ), класс В90 (М800)	м3	0,128905	1	0,128905	6 691,69	1,46	9 769,87		1 259,39
		Всего по позиции									1 259,39

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.2

		Итоги по разделу 1 Производство на заводе :												
		Всего прямые затраты (справочно)												12 592,08
		в том числе:												
		Оплата труда рабочих												484,97
		Эксплуатация машин												100,70
		Оплата труда машинистов (Отм)												47,09
		Материалы												11 959,32
		Строительные работы												13 443,37
		в том числе:												
		оплата труда												484,97
		эксплуатация машин и механизмов												100,70
		оплата труда машинистов (Отм)												47,09
		материалы												11 959,32
		накладные расходы												542,70
		сметная прибыль												308,59
		Всего ФОТ (справочно)												532,06
		Всего накладные расходы (справочно)												542,70
		Всего сметная прибыль (справочно)												308,59
		Всего по разделу 1 Производство на заводе												13 443,37
		справочно:												
		Затраты труда рабочих						1,524						
		Затраты труда машинистов						0,0997458						
Раздел 2. Производство на строительной площадке														
6	ГЭСН46-01-008-02	Обетонирование: балок и прогонов		м3	0,401	1	0,401							

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	1	ОТ(ЗТ)	чел.-ч			8,44105					2 585,75
	1-100-27	Средний разряд работы 2,7	чел.-ч	21,05		8,44105			306,33		2 585,75
	2	ЭМ									122,32
		ОТм(ЗТм)	чел.-ч			0,11629					46,99
	91.05.05-015	Краны на автомобильном ходу, грузоподъемность 16 т	маш.-ч	0,12		0,04812			1 639,31		78,88
	4-100-060	ОТм(ЗТм) Средний разряд машинистов 6	чел.-ч	0,12		0,04812			475,34		22,87
	91.07.04-002	Вибраторы поверхностные	маш.-ч	0,21		0,08421	8,54	1,51	12,90		1,09
	91.14.02-001	Автомобили бортовые, грузоподъемность до 5 т	маш.-ч	0,17		0,06817	477,92	1,3	621,30		42,35
	4-100-040	ОТм(ЗТм) Средний разряд машинистов 4	чел.-ч	0,17		0,06817			353,87		24,12
	4	М									1 622,13
	01.7.03.01-0001	Вода	м3	0,007		0,002807	35,71	1,05	37,50		0,11
	01.7.03.04-0001	Электроэнергия	кВт-ч	1,728		0,692928			7,26		5,03
	01.7.15.06-0111	Гвозди строительные	т	0,0028		0,0011228	70 296,20	1,28	89 979,14		101,03
	03.1.02.03-0011	Известь строительная негашеная комовая, сорт I	т	0,0024		0,0009624	5 275,05	1,3	6 857,57		6,60
	04.3.01.12-0002	Раствор кладочный, цементно-известковый, М25	м3	0,08		0,03208	3 702,12	0,99	3 665,10		117,58
	08.3.03.06-0002	Проволока горячекатаная в мотках, диаметр 6,3-6,5 мм	т	0,003		0,001203	60 258,20	1,04	62 668,53		75,39
	11.1.02.04-0031	Лесоматериалы круглые хвойных пород неокоренные, длина 3-6,5 м, диаметр 14-24 см, сорт II-III	м3	0,1		0,0401	6 442,06	1,18	7 601,63		304,83
	11.1.03.06-0078	Доска обрезная хвойных пород, естественной влажности, длина 2-6,5 м, ширина 100-250 мм, толщина 44-50 мм, сорт II	м3	0,07		0,02807	10 082,68	1,51	15 224,85		427,36

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	11.2.13.06-0012	Щиты настила, толщина 25 мм	м2	3		1,203	317,40	1,53	485,62		584,20
		Итого прямые затраты									4 377,19
		ФОТ									2 632,74
	Пр/812-040.1-1	НР Работы по реконструкции зданий и сооружений: усиление и замена существующих конструкций, возведение отдельных конструктивных элементов	%	103		103					2 711,72
	Пр/774-040.1	СП Работы по реконструкции зданий и сооружений: усиление и замена существующих конструкций, возведение отдельных конструктивных элементов	%	59		59					1 553,32
		Всего по позиции							21 551,70		8 642,23
7	ФСБЦ-04.1.02.05-0011	Смеси бетонные тяжелого бетона (БСТ), класс В30 (М400)	м3	0,40902	1	0,40902			7 766,03		3 176,46
		Всего по позиции									3 176,46
		Итого по разделу 2 Производство на строительной площадке:									
		Всего прямые затраты (справочно)									7 553,65
		в том числе:									
		Оплата труда рабочих									2 585,75
		Эксплуатация машин									122,32
		Оплата труда машинистов (Отм)									46,99
		Материалы									4 798,59

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.2

		Строительные работы											11 818,69
		в том числе:											
		оплата труда											2 585,75
		эксплуатация машин и механизмов											122,32
		оплата труда машинистов (Отм)											46,99
		материалы											4 798,59
		накладные расходы											2 711,72
		сметная прибыль											1 553,32
		Всего ФОТ (справочно)											2 632,74
		Всего накладные расходы (справочно)											2 711,72
		Всего сметная прибыль (справочно)											1 553,32
		Всего по разделу 2 Производство на строительной площадке											11 818,69
		справочно:											
		Затраты труда рабочих						8,44105					
		Затраты труда машинистов						0,11629					
		Итого по смете:											
		Всего прямые затраты (справочно)											20 145,73
		в том числе:											
		Оплата труда рабочих											3 070,72
		Эксплуатация машин											223,02
		Оплата труда машинистов (Отм)											94,08
		Материалы											16 757,91
		Строительные работы											25 262,06
		в том числе:											
		оплата труда											3 070,72

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.2

		эксплуатация машин и механизмов															223,02
		оплата труда машинистов (Отм)															94,08
		материалы															16 757,91
		накладные расходы															3 254,42
		сметная прибыль															1 861,91
		Всего ФОТ (справочно)															3 164,80
		Всего накладные расходы (справочно)															3 254,42
		Всего сметная прибыль (справочно)															1 861,91
		НДС 20%															5 052,41
		ВСЕГО по смете															30 314,47
		справочно:															
		Затраты труда рабочих							9,96505								
		Затраты труда машинистов							0,2160358								
	Составил:	Студент														(Н.В. Бражник)	
	Проверил:	Научный руководитель														(Д.С. Тошин)	
1. Зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 10 сентября 2019 г., регистрационный № 55869), с изменениями, внесенными приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 20 февраля 2021 г. № 79/пр (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 9 августа 2021 г., регистрационный № 64577)																	
² Под прочими затратами понимаются затраты, учитываемые в соответствии с пунктом 184 Методики.																	
³ Под прочими работами понимаются затраты, учитываемые в соответствии с пунктами 122-128 Методики.																	