

Министерство высшего образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования

«Южно-Уральский государственный университет»

(национальный исследовательский университет)

Высшая школа экономики и управления

Кафедра «Экономика и управление на предприятиях  
строительства и землеустройства»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент

\_\_\_\_\_

2018 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой, к.э.н.

доцент

\_\_\_\_\_ М.С. Овчинникова

\_\_\_\_\_ 2018 г.

Определение оптимальных вариантов составов бетонных  
смесей с целью минимизации материальных затрат на  
строительство монолитного дома

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ  
РАБОТЕ ЮУрГУ – 38.03.01.2018.203.ПЗ ВКР

Руководитель работы,  
ст. преподаватель

\_\_\_\_\_ Ф.А. Зырянов

\_\_\_\_\_ 2018 г.

Автор работы  
студент группы ЭУ-493

\_\_\_\_\_ А.А. Хаипов

\_\_\_\_\_ 2018 г.

Нормоконтролер, ст. преподаватель  
Е.А. Угрюмов

\_\_\_\_\_ 2018 г.

Челябинск 2018

## АННОТАЦИЯ

Хаипов А.А. Определение оптимальных вариантов составов бетонных смесей с целью минимизации материальных затрат при строительстве монолитного дома. – Челябинск: ЮУрГУ, ВШЭУ-493, 63 с., 27 ил., 7 табл., библиогр. список – 37 наим.

Выпускная квалификационная работа выполнена с целью Определения оптимальных вариантов составов бетонных смесей с целью минимизации материальных затрат при строительстве монолитного дома.

Основой качественного бетонирования при монолитном способе производства служит тщательное перемешивание, быстрая транспортировка бетонной смеси, укладка, качественно уплотнение и квалифицированный уход за бетоном в момент его твердения и набора прочности.

В заключении представлено комплексное применение рекомендованных шагов по экономии материальных ресурсов. На основе этого дополнительное снижение затрат на строительство монолитного 16-этажного дома становится более экономически выгодным.

Все расчетные данные для их наглядности представлены в виде таблиц, графиков, диаграмм и схем.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	2
1 МОНОЛИТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО: ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ.....	5
1.1 Монолитное строительство.....	5
1.2 Преимущества монолитного домостроения.....	14
1.3 Требования к монолиту.....	18
2 АНАЛИЗ ОПТИМАЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ СОСТАВОВ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ И ТЕХНОЛОГИИ УХОДА ЗА ТВЕРДЕЮЩИМ БЕТОНОМ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАСПАЛУБОЧНОЙ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ.....	26
2.1 Варианты составов бетонных смесей и технологии ухода за твердеющим бетоном с целью обеспечения распалубочной прочности конструкции.....	31
2.2 Технология монолитного домостроения с применением бетонных смесей с целью минимизации материальных затрат на строительство монолитного дома.....	39
3 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДЛОЖЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ МОНОЛИТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА.....	45
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	67
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	69
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	73
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Испытание свежеприготовленной бетонной смеси на расплыв конуса.....	73

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** Современная строительная отрасль России на протяжении последних двух десятилетий развивается в так называемый «посткризисный» период. Основным отличием строительства объектов социального, спортивного, культурного, промышленного назначения является увеличение доли производства работ по монолитному бетонированию конструктива объектов. Причиной смещения сборного домостроения на второй план является гибкость и мобильность монолитного домостроения. При помощи монолитных бетонных работ можно воплощать в жизнь самые смелые задумки архитекторов и дизайнеров без ущерба в безопасности объекта. Монолитное домостроение позволяет сократить расход арматурной стали и бетона при некотором увеличении энергозатрат на уход за бетоном, особенно в зимнее время.

Монолитное строительство в целом и монолитное домостроение в частности – это такой метод возведения объектов, в котором основным материалом является удобоукладываемая бетонная смесь.

Технология монолитного домостроения, которая является наиболее мобильной по сравнению с другими технологиями, позволяет возводить здания различной высоты и формы в кратчайшие сроки и, во многих случаях, с более выгодными финансовыми показателями, что подтверждает актуальность выбранного направления исследования

Монолитное домостроение вытеснило с передовых позиций и сократило объемы сборного домостроения, когда жилые дома возводились из ограниченной номенклатуры железобетонных изделий. Число монолитных объектов в общем количестве строящихся зданий увеличивается с каждым годом. Это явление заметно не только в России, но и по всему миру, в развитых странах Европы и Америки. Мировой опыт строительства говорит

о том, что разнообразные архитектурные решения современных зданий устанавливают наиболее высокие требования к конструкциям зданий.

**Цель работы.** Целью настоящей работы является установление такого рационального состава бетонной смеси, методов ее укладки и ухода за твердеющим монолитом, которые будут способствовать снижению материальных затрат на возведение дома.

**Задачи работы.** Чтобы добиться поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- исследовать современное состояние изучаемого вопроса;
- изучить современные эффективные строительные материалы, позволяющие повысить энергоэффективность производства монолитных работ и снизить уровень материальных затрат на их проведение;
- выявить достоинства и недостатки, присущие монолитному домостроению;
- на основании проведенного анализа недостатков спроектировать составы бетонных смесей основных классов по прочности по ГОСТ 26633, применяемых при монолитном домостроении – В15, В25, В30;
- оценить их экономическую эффективность по сравнению с традиционно применяемыми наборами рецептур бетонных смесей;
- предложить современные технологии ухода за твердеющим бетоном;
- предложить технологию монолитного строительства, сокращающую материальные затраты подрядчика.

Теоретическая значимость работы заключается в анализе современного технического уровня бетонных смесей для монолитного домостроения и в определении критических точек, влияющих на экономическую эффективность выбранного метода бетонирования и состава бетонной смеси.

Практическая значимость работы заключается в экономической оценке выбранного диапазона составов бетонных смесей через призму оценки их качества и качества бетонного монолита.

**Объект работы.** Объектом исследования в данной работе является бетонная смесь для производства бетонных работ при монолитном домостроении.

Предметом исследования – состав бетонных смесей с учетом экономической эффективности не только на уровне их себестоимости для изготовления  $1\text{ м}^3$  бетонной смеси, но и с учетом повышения энергоэффективности производства (например, снижение времени обогрева бетонных конструкций в зимнее время).

**Результаты работы** могут быть использованы строительными организациями при планировании работ монолитного строительства.

# 1 МОНОЛИТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО: ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

## 1.1 Монолитное строительство

Широкое распространение монолитное строительство нашло при строительстве гидротехнических сооружений: дамб, плотин, каналов в 20-30-е гг. XX века на территории СССР [1-3]. Домостроение по монолитной технологии в основном развивалось в странах Западной Европы и США при строительстве знаменитых небоскребов в Нью-Йорке и Чикаго. В послевоенное время в СССР наибольшее распространение получил метод строительства домов из сборного железобетона, поскольку большая часть западной части страны была разрушена войной. С целью скорейшего возведения жилья для ее жителей было принято решение утвердить несколько унифицированных проектов жилых домов, которые закрыли бы потребность населения в доступном жилье. Война отодвинула начало широкого применения монолитного домостроения на 50-60 лет, уступив место так называемым «хрущевкам».

Конечно же в заново строящейся стране находилось место и монолитному строительству, однако доля его в застройке жилых массивов не могла быть сопоставима со строительством жилых домов из сборного железобетона. Монолитное строительство чаще применялось при возведении уникальных объектов, например здание МГУ или некоторые станции московского метрополитена [1].

Ситуация стала меняться к началу 2000-х годов, когда потенциальные заказчики столкнулись с ограниченностью проектных решений домов из сборного железобетона. В то время все возрастающие требования к эстетической составляющей, дизайнерской задумке и сокращению сроков возведения зданий могло удовлетворить только монолитное домостроение, поскольку на строительной площадке могло быть организовано производство бетонных смесей в нужном количестве и заданного уровня качества, тем

самым сокращались затраты на закладывание базы строительства, сокращался расход арматурной стали за счет выполнения монолитных стыков конструкций. К концу 2016 началу 2017 года наметилась тенденция сокращения объемов монолитного домостроения за счет увеличения доли кладки кирпичных стен, теплоизоляционные свойства которого значительно лучше монолитного бетона, что нашло отражение в проектных решениях по выбору материала стен для строящегося жилья. По итогам анализа информации единого реестра застройщиков [4] к февралю 2018 года монолитное домостроение занимает 3 место после монолитно-кирпичного и кирпичного строительства. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Анализ проектных деклараций застройщиков Российской Федерации на начало 2018 года [4]

Материал стен	Строящихся домов		Жилых единиц		Совокупная площадь жилых единиц	
	ед.	%	ед.	%	м <sup>2</sup>	%
монолит-кирпич	3 215	23,1	766 027	33,8	37 576 170	33,6
кирпич	4 343	31,2	428 216	18,9	21 579 002	19,3
<b>монолит</b>	<b>1 840</b>	<b>13,2</b>	<b>417 176</b>	<b>18,4</b>	<b>21 448 894</b>	<b>19,2</b>
блочный	2 872	20,7	317 205	14,0	15 449 039	13,8
панель	1 524	11,0	332 674	14,7	15 341 994	13,7
бетон-кирпич	45	0,3	4 703	0,2	240 191	0,2
бетон	15	0,1	1 074	0,0	56 510	0,1
каркасные из ЛСТК	15	0,1	742	0,0	33 296	0,0
дерево	8	0,1	184	0,0	11 207	0,0
каркасно-щитовой	23	0,2	113	0,0	6 456	0,0
<b>Итого</b>	<b>13 900</b>	<b>100</b>	<b>2 268 114</b>	<b>100</b>	<b>111 742 759</b>	<b>100</b>

Как видно из таблицы 1 монолитные стены в строящихся домах уступают место более энергоэффективным материалам: кирпичу, блокам из ячеистых и легких бетонов. Однако железобетонный каркас, который является основой строящегося дома, в большинстве своем выполняется из монолитного железобетона (кроме полностью кирпичных домов). Графическое



представление результатов таблицы применительно к совокупной площади жилых единиц приведено на рисунке 1.

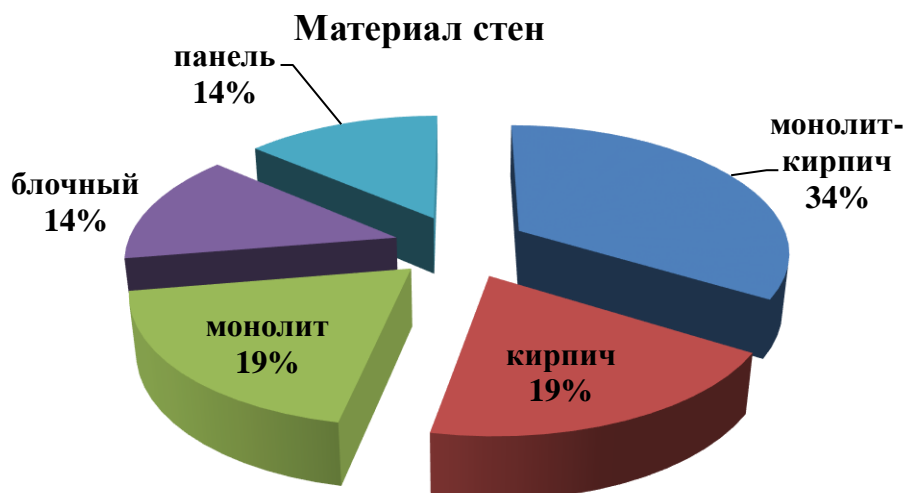


Рисунок 1 – Материал стен проектных решений совокупной площади жилых единиц в РФ в начале 2018 года

В графику рисунка 1 не включены проектные решения доля которых не превышает 1%.

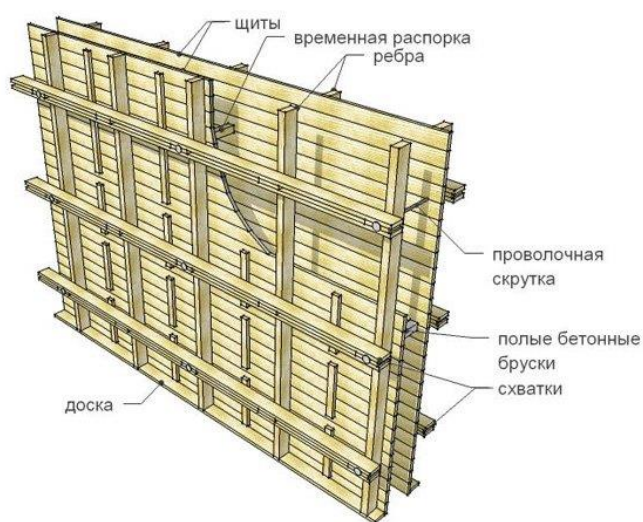
Монолитное строительство объектов<sup>1</sup> подразделяется на несколько этапов производства работ:

- *установка арматурного каркаса*. Арматура в железобетоне в целом, и в монолитном в частности, воспринимает основные растягивающие усилия. Удачный симбиоз арматуры и бетона определяется тем, что бетон воспринимает все сжимающие усилия и предохраняет своей щелочной средой коррозию арматуры, а арматура воспринимает все растягивающие усилия [5] и позволяет в гораздо большей степени использовать монолитный бетон для изготовления конструкций и изделий, работающих в различных условиях;

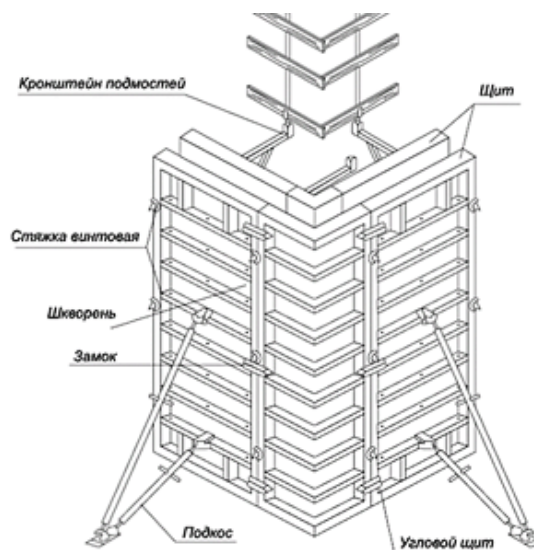
---

<sup>1</sup> Настоящая работа посвящена возведению жилых домов методом монолитного бетонирования, поэтому далее по тексту при упоминании термина «объект» необходимо понимать, что речь идет о жилых домах различной этажности.

- *монтаж опалубки.* Опалубкой принято считать вспомогательную конструкцию из дерева, пластика, металла или иного материала, применяемого для придания монолитным конструкциям из бетона, железобетона, грунтовой смеси, других строительных растворов определенных параметров – таких как форма, геометрические размеры, положение в пространстве, структура поверхности и прочее [6]. Опалубочные работы являются наиболее трудоемкими и дорогостоящими, на производство которых затрачивается 40% общих затрат труда и более 17% стоимости работ. Пример выполнения опалубки приведен на рисунке 2;



а)



б)

Рисунок 2 – Опалубка для монолитного домостроения: а – щитовая опалубка для стен; б – угловая опалубка для колонн или углов стен дома

- *формование бетонной смеси.* Фактически под этим этапом и подразумевается большинством людей понятие «монолитное строительство». По сути своей это так и есть, поскольку данный этап играет одну из определяющих ролей в качестве затвердевшего бетона-монолита. В этап формования входят такие операции, как приготовление бетонной смеси в стационарных или мобильных бетоносмесительных узлах (см. рисунок 3), транспортировка ее к месту кладки автобетоносмесителями (см. рисунок 3), доставка к месту бетонирования бетононасосом (рисунок 4а) или бадьей-«туфлей» (рисунок 4б), укладка бетонной смеси и уплотнение ее глубинными вибраторами (рисунок 5);



Рисунок 3 – Бетоносмесительная установка и загружаемый бетонной смесью автобетоносмеситель

Существует большое количество бетоносмесительных установок, которые по виду исполнения делятся на стационарные, как на рисунке 3, и на мобильные, которые позволяют производить бетонные смеси в труднодоступных местах. Из рисунка 3 можно увидеть, что фронтальный погрузчик загружает инертные компоненты бетонной смеси – щебень и

песок, из силосов на заднем плане дозируется вяжущее вещество – цемент, рядом с кабиной оператора располагается сама бетономешалка в которую вводится определенное количество воды затворения и химические добавки для улучшения свойств бетонной смеси. Далее смесь приготавливается и отгружается в автобетоносмеситель, который доставляет ее к месту бетонирования.



а)



Рисунок 4 – Подача бетонной смеси: а – бетононасосом; б) – бадьей-«туфлей»

Особенно эффективны методы адресной подачи различными насосами в стесненных условиях, а также при проведении большого объема бетонных работ. Современные бетононасосы могут перекачивать до 70 м<sup>3</sup> в час [7] бетон на расстоянии до 350 м по горизонтали и до 80 м по вертикали [8].

Оптимальной связкой с работой бетононасоса является наличие мобильного бетонного завода (установки). Следует выбирать мобильную бетоносмесительную установку, на которой возможно произвести необходимый суточный объем бетона. Необходимо отметить, что применение бетононасоса позволяет резко сократить время укладки бетонной смеси.

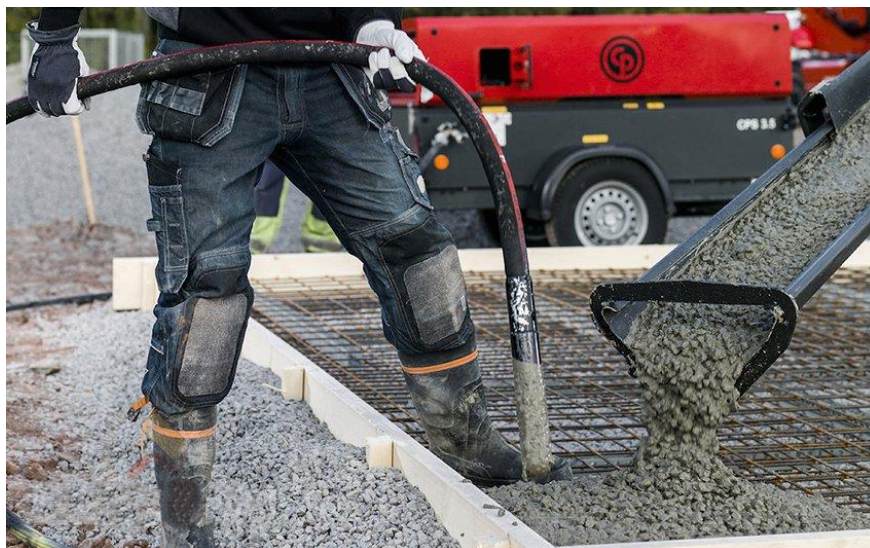


Рисунок 5 – Уплотнение бетонной смеси глубинными вибраторами

В действующих нормативных документах [9] утверждены типы применяемых глубинных вибраторов и методика их применения, в основе которой лежит соблюдение времени уплотнения бетонной смеси на одном месте и расстояние, на котором находится следующее место уплотнения. Чаще всего принимается шаг перестановки вибратора в 1,5 радиуса его действия. Схема перестановки вибратора приведена на рисунке 6. Время уплотнения на одном месте определяется визуально в зависимости от марки бетонной смеси по подвижности согласно ГОСТ 7473-2010 «Смеси

бетонные. Технические условия» по выделению цементного молока на поверхности укладываемого массива.

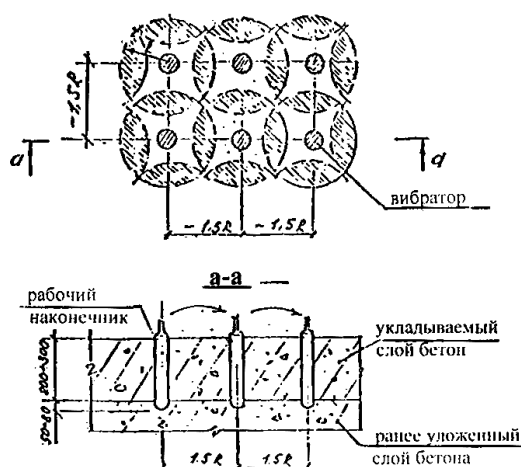


Рисунок 6 – схема перестановки глубинного вибратора при бетонировании монолитных плит перекрытия

- уход за свежеложенным бетоном. Для дальнейшего качества возводимого монолита данный этап имеет определяющее значение. Особенно это касается ухода за бетоном, который ведет к пересушиванию либо поверхности бетонных элементов, либо пересушиванию элементов по всей их толщине. Пересушенный бетон имеет сильно заниженную прочность и морозостойкость, чем затвердевший при нормальных условиях, в таком бетоне появляется много усадочных трещин. В период ухода за свежеложенным бетоном и бетонными конструкциями в раннем возрасте (до 7 суток) необходимо по возможности создать такую температурно-влажностную среду, которая обеспечила бы сохранение в бетоне воды, обеспечивающую гидратацию цемента. Если процесс твердения постоянно проходит при примерно одной температуре и влажности, то напряжения, которые возникают в бетоне вследствие изменения объема и объясняемые усадкой и температурными деформациями, будут незначительными. Обычно бетонные конструкции покрывают полиэтиленовой пленкой или другим покрытием, которые защитят бетон. Пленкообразующие материалы так же

можно применять для этих целей. В течении трех недель необходимо производить уход за бетоном, а при использовании подогрева бетона — до его окончания [10].

При производстве работ по бетонированию при недостаточных утеплении или тепловой обработки в зимних условиях возможно раннее замораживание бетона. После того, как такой бетон оттает, он не сможет набрать достаточную прочность. Конечная прочность на сжатие бетона, который подвергся раннему замораживанию, может достигать 2-3 МПа и менее [11].

- *распалубка - снятие опалубки*. Распалубочные работы необходимо начинать по достижению бетоном необходимой распалубочной прочности, чаще всего находящейся в диапазоне 50-80% от проектной прочности [9]. Если эти работы произвести рано, то может возникнуть опасность «выпучивания» бетона, не набравшего критическую прочность, также при недостаточной или некачественной смазке опалубки на поверхности бетона могут образоваться «вырывы» бетона из-за плохой смазки. Распалубочные работы следует вести в строгой последовательности и в соответствии с планом производства работ (ППР) и проектной документацией.

## 1.2 Преимущества монолитного домостроения

К достоинствам монолитного домостроения относят высокие прочностные характеристики. Безусловно, добиться высоких показателей прочности и деформативности можно только соблюдая требования к качеству компонентов бетонной смеси, технологии ее приготовления, укладки и ухода за бетоном в ранние сроки (до 7 суток).

В случае применения бетонных смесей на легких заполнителях (керамзит, вермикулит и др.) появляется возможность получения бетонных объектов с теплоизоляционными характеристиками практически схожими с кирпичной кладкой.

Правильно подобранная бетонная смесь обеспечивает снижение показателя усадки и ползучести монолитного бетона под действием длительных нагрузок, что также можно отнести к достоинствам монолитного домостроения.

Немаловажным фактором в домостроении является ресурс здания, и монолитный бетон здесь имеет конкурента только с кирпичными домами, однако их строительство занимает длительный срок и еще более подвержено сезонности строительства, вследствие низкой культуры приготовления раствора для кладки на строительных площадках.

Монолитное домостроение открывает значительные возможности реализации самых смелых дизайнерских решений. Это стало возможным благодаря разработке в конце 80-х гг. XX века японскими учеными [12-14] так называемого самоуплотняющегося бетона (СУБ). В толковом словаре [15] приводится следующее определение СУБа – бетон, способный к самоуплотнению без расслоения под действием гравитационных сил и



вытеснению вовлеченного воздуха с ограниченным содержанием крупного и увеличенным мелкого заполнителя, минеральных добавок в смеси.

Документ [16], рекомендованный и разработанный ОАО ЦНИИС, дает следующее определение самоуплотняющегося бетона – бетон, способный течь и уплотняться под действием собственного веса, полностью заполняя пространство опалубки, даже при наличии густого армирования, сохраняя при этом гомогенность и не требуя какого-либо дополнительного уплотнения. Благодаря уникальным свойствам и преимуществам СУБ получил широкое распространение. Первоначально этот бетон использовался на предприятиях, производивших готовые железобетонные изделия. Затем самоуплотняющийся бетон начинает активно использоваться в качестве так называемого "товарного бетона", т.е. бетона, который доставляется и укладывается непосредственно на строительной площадке.

Также немаловажным достоинством монолитного домостроения является удобство организации и выполнения строительно-монтажных работ. Для монолитного домостроения не нужно много места, поэтому строительство новых домов монолитным способом можно часто встретить в центре города. Основной сложностью в таком случае остается только организация поставки бетонной смеси на объект и организация движения техники на объекте. Существующие способы организации поставки бетонной смеси автобетоносмесителями и организация их движения на объекте рассматриваются в технической литературе, например [17]. Монолитное домостроение нуждается в незначительных подсобных местах, находящихся на территории, которая прилегает к строящемуся объекту. Возведение монолитного сооружения происходит прямо на строительной площадке. Таким образом, можно значительно сэкономить на расходах, связанных с транспортом.

Одним из наиболее ценных преимуществ монолитного домостроения перед иными способами возведения домов является лучшие технико-экономические показатели производства. Так, единовременные затраты на создание базы монолитного домостроения на 35% меньше, чем в кирпичном домостроении, и на 40- 50%, чем в крупнопанельном, расход стали снижается на 7-25%, причем экономия увеличивается по мере повышения этажности. В свою очередь, что немаловажно, энергетические затраты на изготовление и возведение монолитных конструкций сокращаются на 25-35% по сравнению с крупнопанельными. Поэтому все эти преимущества индустриального метода способствуют развитию монолитного домостроения как в городах, так и в сельской местности, а также там, где отсутствуют базы сборного железобетона [18].

В некоторых случаях особенно в странах с жарким климатом монолитное домостроение позволяет обеспечить еще одно преимущество перед конкурентами. Это большая полезная площадь помещений за счет уменьшения толщины стен и снижения этажности здания.

В современной технической литературе также приводятся следующие доводы в пользу монолитного домостроения:

- темпы строительства в 3-4 раза выше по сравнению с традиционными технологиями;
- снижение нагрузки на фундамент за счет уменьшения толщины и веса стен;
- более равномерное распределение нагрузки на фундамент;
- уменьшение количества используемой техники и трудозатрат;
- снижение себестоимости за счет уменьшения потребности в материалах;
- улучшение тепло- и звукоизоляции благодаря бесшовным конструкциям;
- снижение затрат на отделку благодаря идеально ровным поверхностям;
- высокая устойчивость зданий к негативным воздействиям внешней среды.

Основными недостатками являются высокие требования к кадрам и необходимость строгого контроля качества бетона. Первый недостаток устраняется путем организации у подрядчика слаженных строительных бригад, члены которых заинтересованы в повышении своей квалификации и карьерном росте. Важнейшую роль в обеспечении надежности и безопасности зданий из монолитного железобетона играет проектная группа, выполняющая расчеты и чертежи конструкций. Естественно, такую ответственную работу могут выполнять только специалисты высокого уровня.

Контроль качества осуществляется путем испытания образцов бетона из каждой поставки в соответствии с требованиями нормативной документации по организации строительных работ. Дополнительно на площадке могут применяться неразрушающие методы контроля.

### 1.3 Требования к монолиту

При упоминании термина «монолит» в контексте строительной тематики чаще всего подразумевается бетонная смесь, которая также называется «товарной», потому что многие подрядчики при строительстве монолитных домов покупают бетонную смесь.

Соответственно требования к монолиту это, в первую очередь, требования к бетонной смеси. В России бетонные смеси должны соответствовать ГОСТ 7473-2010 «Смеси бетонные. Технические условия».

При монолитном способе ведения работ особое значение приобретает обеспечение необходимых строительных характеристик бетона, как на стадии приготовления бетонной смеси, так и в готовой конструкции.

Перед изготовителем (поставщиком) бетонной смеси и подрядчиком стоит задача обеспечения требуемых физико-механических характеристик бетона монолитных конструкций, указанных проектировщиком в технической документации на возведение объекта.

При этом изготовитель бетонной смеси обеспечивает соответствие бетонных смесей требованиям ГОСТ 7473-2010, а подрядчик на месте организует уход за бетонными конструкциями и соблюдение технологической дисциплины согласно [9]. Все эти мероприятия в совокупности обеспечивают соответствие требований к бетону монолитных конструкций согласно ГОСТ 26633-2014 «Бетоны тяжелые и

мелкозернистые. Технические условия», в первую очередь проектного класса бетона по прочности на сжатие.

Чтобы обеспечить доставку качественных бетонных смесей необходимо обеспечить:

- качественные материалы для бетонных смесей;
- качественное приготовление бетонных смесей;
- их транспортировку к месту укладки;
- непосредственно саму укладку и уплотнение бетонной смеси в подготовленной опалубке;
- уход за бетоном в ранние сроки до набора необходимого значения распалубочной прочности;
- своевременное загрузку забетонированных конструкций проектными нагрузками.

При соблюдении всех указанных требований монолитные строительные конструкции могут обеспечить и подчеркнуть все преимущества, перечисленные в предыдущем пункте работы.

Таким образом, требования к монолиту можно условно разделить на несколько категорий: требования к бетонной смеси, требования к технической оснащенности подрядчика монолитных работ; требования к опалубке; требования к контролю качества монолитных работ.

*Требования к бетонной смеси.* Как уже отмечалось выше, нормируются ГОСТ 7473. Все требования к бетонной смеси должны быть указаны в проекте на строительство. Подрядчик может обладать собственным бетоносмесительным узлом и штатом для его обслуживания или же покупать бетонную смесь от поставщиков. В любом случае бетоносмесительный узел должен гарантировать выполнение следующих условий:

- обеспечить заданную подвижность бетонной смеси на месте укладки;
- определить лимит времени на доставку бетонной смеси;
- гарантировать набор заданной прочности в возрасте 1, 2 или 3 суток и проектной прочности в возрасте 28 суток;

- обеспечить проектную морозостойкость и водонепроницаемость бетона [19].

Лаборатория БСУ, проектируя состав бетона с заданными характеристиками, может использовать два пути.

Первый предназначен для БСУ, имеющих опыт производства бетонной смеси с подобными характеристиками. В этом случае, путем изучения технической документации и производственных норм выбирается состав бетона, который на основе экспертной оценки может обеспечить все вышеперечисленные показатели. Эти показатели уточняются по данным производственного контроля за предыдущие 6 мес., включая характеристики по морозостойкости и водонепроницаемости. При подтверждении необходимых характеристик возможны поставки бетонной смеси выбранного состава на объект.

Второй путь - для предприятий, никогда ранее не выпускавших бетон с характеристиками, определяемыми требованиями проекта производства работ. Он предусматривает проектирование состава бетона заново и прямой подбор составов.

Перед тем как начинать проектировать составы бетона, следует определить качество имеющихся цементов и оценить возможность их использования для производства бетона с заданными характеристиками. Это может быть выполнено по прочности производственных составов бетонов аналогичных классов за предыдущий период, если испытания цемента в бетоне проводятся систематически. Подробно методика подбора составов и оценке качества заполнителей с целью оптимизации технико-экономических показателей строительства домов будет рассмотрена в главе 2 настоящей работы.

*Требования к бетону.* Бетоном принято считать искусственный каменный материал, который образуется после затвердевания бетонной смеси [5]. Все основные требования к бетону должны быть также указаны в проекте на возводимый объект. Основным требованием непосредственно к бетону на

строительной площадке является прочность его на сжатие. Прочность бетона на сжатие определяется его классом согласно ГОСТ 26633 по образцам-кубам с различными размерами сторон (чаще всего 100×100×100мм, 150×150×150мм), которые изготавливаются из поставляемых к месту укладки бетонных смесей и хранятся в тех же условиях, что и бетонируемая конструкция. Изображение образцов-кубов приведено на рисунке 7.



Рисунок 7 – Образцы-кубы. Отобранные для контроля показателей качества бетона

Как видно из рисунка 7, каждый образец снабжен маркировкой с указанием объекта, на котором были отобраны пробы, бетонируемой конструкции, сроков изготовления и подписью лаборанта, который их изготовил. Образцы-кубы по достижении необходимого возраста испытывают в лаборатории на прессе (рисунок 8) для определения прочности на сжатие.

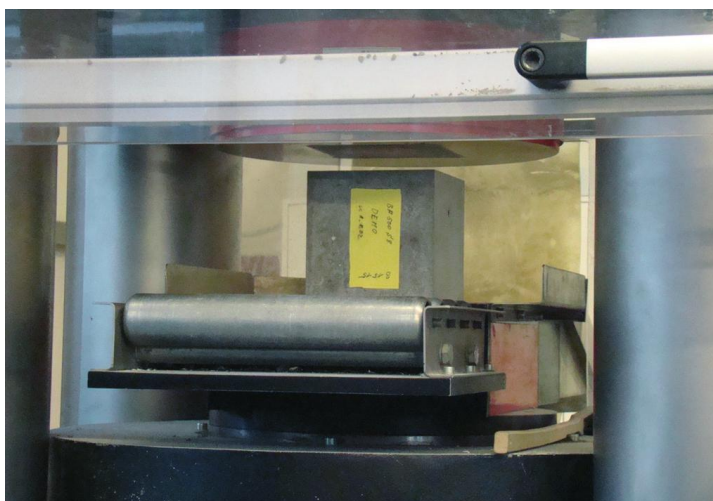


Рисунок 8 – Испытание образцов-кубов на сжатие

Испытание кубов производят по ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам», при этом необходимо убедиться, что разрушающая нагрузка направлена параллельно слоям укладки.

В случае дополнительных требований к бетону, например прочности при растяжении на изгиб, должны быть изготовлены образцы-балки для контроля заданного показателя качества.

Весьма распространены на монолитных объектах неразрушающие методы контроля прочности бетона в конструкциях согласно ГОСТ 22690-2015. Классификация методов испытаний бетона приведена на рисунке 9.



Рисунок 9 – Классификация методов испытаний бетона

При этом существует прямые методы контроля прочности: отрыв со скалыванием (рисунок 10), скалывание ребра. Сущность прямых методов



является заключается в частичном разрушении определенного места испытываемого элемента.



Рисунок 10 – Отрыв со скалыванием

Прямые методы неразрушающего контроля прочности устанавливают максимально приближенные к истинным значениям прочности в конструкции и являются основой для построения градуированных зависимостей косвенных методов неразрушающего контроля: ударного импульса, пластической деформации, упругого отскока и других. Наиболее распространенным является метод упругого отскока, в котором основным средством измерения выступает молоток Шмидта, изображенный на рисунке 11.



Рисунок 11 – Измерение прочности бетона методом упругого отскока с помощью электронного прибора Шмидта

Также существуют испытания прочности бетона с помощью ультразвука согласно ГОСТ 17624-2012 «Бетоны. ультразвуковой метод определения прочности».

Все требования, предъявляемые к бетону, должны быть проверены результатами испытаний образцов и в натуральных условиях (на месте).

*Требования к опалубке для монолитного бетонирования.* Требования к опалубке установлены в ГОСТ 23478-79 «Опалубка для возведения монолитных бетонных и железобетонных конструкций. Классификация и общие технические требования» и ГОСТ Р 52085-2003 «Опалубка. Общие технические условия».

При выборе опалубочных систем необходимо обращать внимание на ряд критериев:

- 1) Комплексность системы. Широкая номенклатура изделий, входящих в такую систему, позволяет создавать конструкции разных форм и размеров (горизонтальные и вертикальные), начиная с мелких сооружений и вплоть до комплексов электростанций.

2) Качество поверхности опалубки. На поверхности опалубки, контактирующей с бетоном необходима качественная поверхность без прилипших остатков бетона. Поверхность опалубки должна быть ровной.

3) надежность работы замков и элементов крепления. Крепежные элементы должны обеспечивать быстрое и безопасное соединение элементов опалубки в горизонтальных и вертикальных конструкциях. От них во многом зависит качество поверхности стены, перекрытия, колонн и т.п.

4) Наличие программного обеспечения, которое позволяет планировать последовательность опалубочных работ, рассчитать необходимое количество транспортных единиц, составить точные спецификации элементов опалубки и смету затрат.

5) Возможность аренды (в т.ч. лизинга). Многие ведущие фирмы сдают в аренду опалубку или какие-то ее элементы. Это позволяет испытать новые системы или их части перед приобретением.

6) Предоставление технического сопровождения; возможность обучения персонала.

*Требования к технической оснащенности подрядчика монолитных работ.* Подрядчик должен держать штат квалифицированных специалистов на всех уровнях производства работ. Иметь в наличии исправные инструменты, приспособления и оборудование. Соблюдать технологическую документацию и дисциплину при выполнении работ монолитного домостроения.

В случае соблюдения всех вышеперечисленных факторов монолитный бетон может прослужить длительный срок эксплуатации без ухудшения своего качества и безопасности.

**Вывод по главе 1:** Основой качественного бетонирования при монолитном способе производства служит тщательное перемешивание, быстрая транспортировка бетонной смеси, укладка, качественно уплотнение и квалифицированный уход за бетоном в момент его твердения и набора

прочности. Стоит отметить, что строительство по монолитной технологии требует большой внимательности и высокой квалификации строителей, чем очень часто пренебрегают производители работ, что в свою очередь вызывает появление массы повреждений недавно возведенных конструкций, поэтому к качеству выполненных монолитных работ должны применяться высокие стандарты и уделяться большое внимание.

## 2 АНАЛИЗ ОПТИМАЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ СОСТАВОВ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ И ТЕХНОЛОГИИ УХОДА ЗА ТВЕРДЕЮЩИМ БЕТОНОМ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАСПАЛУБОЧНОЙ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ

В основе получения бетонных смесей для монолитного домостроения заданного уровня качества лежит методика подбора состава бетонной смеси. Точно рассчитанные расходы компонентов бетонной смеси в оптимальном их соотношении при их смешивании позволяют получить удобоукладываемую бетонную смесь с высокими показателями качества. Бетоны, полученные из качественных бетонных смесей, прослужат весь срок эксплуатации без каких-либо нареканий со стороны жителей и служб эксплуатации многоквартирных домов.

В настоящее время существует достаточно много методик проектирования состава бетона. В их основе лежат математические зависимости оптимальных соотношений компонентов.

Подбор состава бетонной смеси рекомендуется проводить в следующем порядке:

- оценить потребность в воде, в химических и минеральных добавках и оптимизировать течение и стабильность цементного теста;
- определить количественное содержание песка и оптимальную дозировку химической добавки с соблюдением необходимой консистенции и постоянства характеристик;
- испытать чувствительность к небольшим изменениям количеств воды, химических и минеральных добавок и количества песка (устойчивость);
- добавить соответствующее количество крупного заполнителя;
- приготовить смесь в лабораторной мешалке, провести необходимые испытания;
- испытать свойства полученной смеси в затвердевшем состоянии;
- приготовить пробные замесы в заводском бетоносмесителе.

Если в ходе работы не удалось получить удовлетворительного результата, следует уделить внимание фундаментальному перепроектированию состава смеси. В зависимости от установленной проблемы можно выполнить следующие действия:

- откорректировать соотношение цемент/наполнитель и вода/порошок и испытать консистенцию цементного теста;

- откорректировать долю мелкого заполнителя и количество суперпластификатора;

- рассмотреть возможность использования модификатора вязкости для снижения чувствительности смеси:

- откорректировать долю и гранулометрический состав крупного заполнителя.

Ниже будет рассмотрена методика подбора состава бетонной смеси для устройства монолитного каркаса многоэтажного жилого дома.

В работах [20-22] были предложены критерий избытка  $I_{ЦД}^П$  абсолютного объема цементно-дисперсной матрицы над объемом песка и критерий  $I_{ЦДП}^Ш$  абсолютного объема цементно-дисперсно-песчаной реологической матрицы над абсолютным объемом щебня [23]

$$I_{ЦД}^П = \frac{V_{ЦД}^П}{V_П} = \frac{V_Ц + V_{ДН} + V_{МК} + V_В}{V_П}, \quad (1)$$

$$I_{ЦДП}^Ш = \frac{V_{ЦДП}^Ш}{V_Щ} = \frac{V_Ц + V_{ДН} + V_{МК} + V_П + V_В}{V_Щ}, \quad (2)$$

где  $V_Ц$ ,  $V_{ДН}$ ,  $V_{МК}$ ,  $V_П$ ,  $V_Щ$ ,  $V_В$  - абсолютные объемы соответственно цемента, дисперсного наполнителя, микрокремнезема, песка, щебня и воды.

Расчет состава бетона следует начинать с назначения расхода цемента и выбора одного из критериев  $I_{ЦД}^П$  или  $I_{ЦДП}^Ш$ . Также в настоящей работе не

принимается в расчет расход дисперсного наполнителя ДН и микрокремнезема МК, поскольку широкое применение этих компонентов пока не нашло своего отражения в промышленности производства бетонных смесей для монолитного строительства.

Принимаем абсолютный объем бетонной смеси равным  $V_{БС}$  и вычислим объем щебня

$$V_{Щ} = V_{БС} - (V_{Ц} + V_{П} + В) . \quad (3)$$

Подставим выражение (3) в (2) и получим

$$V_{Щ} = \frac{I_{ЦД}^П \times V_{БС} - (I_{ЦД}^П + 1)(V_{Ц} + В)}{I_{ЦД}^П} . \quad (4)$$

В связи с тем, что состав бетона задается, как правило, массовый, формулы с учетом истинных плотностей компонентов принимают вид

$$V_{Щ} = \frac{I_{ЦД}^П \times V_{БС} - (I_{ЦД}^П + 1) \left( \frac{Ц}{\rho_{Ц}} + В \right)}{I_{ЦД}^П} . \quad (5)$$

Сумма сухих компонентов  $M_C$  смеси находится в пределах 2250-2350 кг в зависимости от плотности крупного заполнителя [24]. Таким образом, оптимальное водосодержание смеси находится в пределах 150-180 л. Масса сухих компонентов составляет 2200-2270 кг в зависимости от модуля крупности применяемого заполнителя. Водотвердое отношение равно 0,09.

Принимая объем бетона 1000 л без учета объема вовлеченного воздуха, окончательно можно записать

$$V_{Щ} = \frac{1000 \times I_{ЦД}^П - (I_{ЦД}^П + 1) \left( \frac{Ц}{\rho_{Ц}} + M_C \times \frac{В}{T} \right)}{I_{ЦД}^П} . \quad (6)$$

Расход щебня определяется по формуле

$$V_{\text{Щ}} = V_{\text{БС}} - (V_{\text{Ц}} + V_{\text{П}} + V) . \quad (7)$$

Корректнее принимать объем бетонной смеси 980 л, поскольку в бетонных смесях для монолитного строительства содержание вовлеченного воздуха редко составляет менее 1,5.

**Пример расчета.** Расход ЦЕМ 32,5Н ГОСТ 31108– 350 кг при  $I_{\text{ЦД}}^{\text{П}}=0,8$ ; водотвердое отношение 0,075; масса сухих компонентов  $M_{\text{с}}= 2270$  кг. Содержание воды 170 л. Плотность компонентов представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Абсолютные плотности компонентов проектируемой бетонной смеси

Компонент	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
Цемент	3100
Песок	2650
Щебень	2640

Подставив расходы компонентов в формулу (5) получим:

$$V_{\text{Щ}} = \frac{1000 \times 0,8 - (0,8 + 1) \left( \frac{350}{3,1} + 2270 \times 0,075 \right)}{0,8} = 363,3 \text{ л} .$$

Вычисляем абсолютный объем песка

$$V_{\text{П}} = 1000 - 363,3 - 282,9 = 353,8 \text{ л} .$$

Умножая объемные доли песка и щебня на значения их истинной плотности (см. таблицу 2) расход компонентов по массе, кг: Ц=350, П=938, Щ=959, В= 170.



Следует отметить, что применение дисперсного наполнителя (ДН) и микрокремнезема (МК) требует задания на подбор состава бетонной смеси. В большинстве случаев при производстве монолитных бетонных работ применяют традиционный 5 компонентный состав бетонных смесей: цемент, песок, щебень, вода, химическая добавка.

## 2.1 Варианты составов бетонных смесей и технологии ухода за твердеющим бетоном с целью обеспечения распалубочной прочности конструкции

В основе монолитного способа производства железобетонных изделий лежит более высокие значения удобоукладываемости бетонных смесей. Марка по удобоукладываемости может задаваться значениями жесткости (Ж), осадки конуса (подвижности П), расплыва конуса (Р). Методика испытания бетонной смеси для примера, приведенного в предыдущем пункте, показана в приложении А. Марки по удобоукладываемости согласно ГОСТ 7473-2010 приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Марки по удобоукладываемости бетонных смесей и область марок для монолитного домостроения

	Марка	Значение		
Жесткость, с	Ж1	5-10		
	Ж2	11-20		
	Ж	21-30		
	Ж4	31-50		
	Ж5	Более 50		
Подвижность, см	П1	1-4		
	П2	5-9		
	П3	10-15	Монолитное домостроение	Бетонирование бадьей
	П4	16-20		
	П5	Более 20		
Расплав конуса, см	Р1	Более 35		
	Р2	35-41		
	Р3	42-48		
	Р4	49-55		
	Р5	56-62		
	Р6	Более 62		Бетонирование с помощью бетононасоса

Следует отметить, что выделенная в таблице 3 область марок по подвижности бетонных смесей для монолитного домостроения, условна, но наиболее часто встречается. Это связано с тем, что при строительстве монолитного дома могут применять и более «жесткие» марки по подвижности, однако производительность в таком случае резко снижается вследствие увеличения трудоемкости бетонных работ.

Чтобы добиться более высокой подвижности и удобоукладываемости, при проектировании состава бетонной смеси следует увеличить долю мелкого заполнителя (песка) и увеличить расход химической добавки. При этом следует придерживаться заданного расхода воды для сохранения класса бетона по прочности.

Как уже отмечалось выше, расход компонентов бетонной смеси чаще всего указывается в килограммах для приготовления 1м<sup>3</sup> бетонной смеси. При этом абсолютный объем заполнителей должен составлять 1000 л=1м<sup>3</sup>.

На рисунке 12 приведено условное соотношение по объему традиционных составов бетонных смесей для монолитного домостроения класса В30. При этом объем химической добавки далее будет учтен в объеме воды, поскольку количество химической добавки в бетоне монолитных сооружений редко превышает 1%.

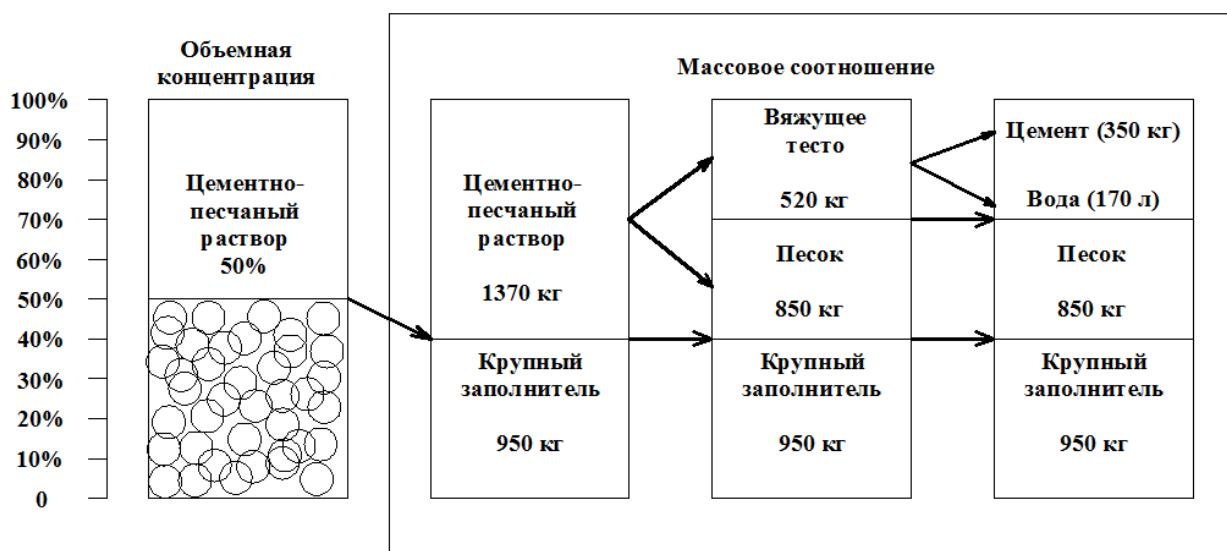


Рисунок 12 - Объемная и массовая доли компонентов состава бетонной смеси для монолитного домостроения класса В30

На рисунке 13 приведено графическое сравнение расхода компонентов для изготовления бетонной смеси как для монолитного домостроения так и для сборного (ЖБИ).

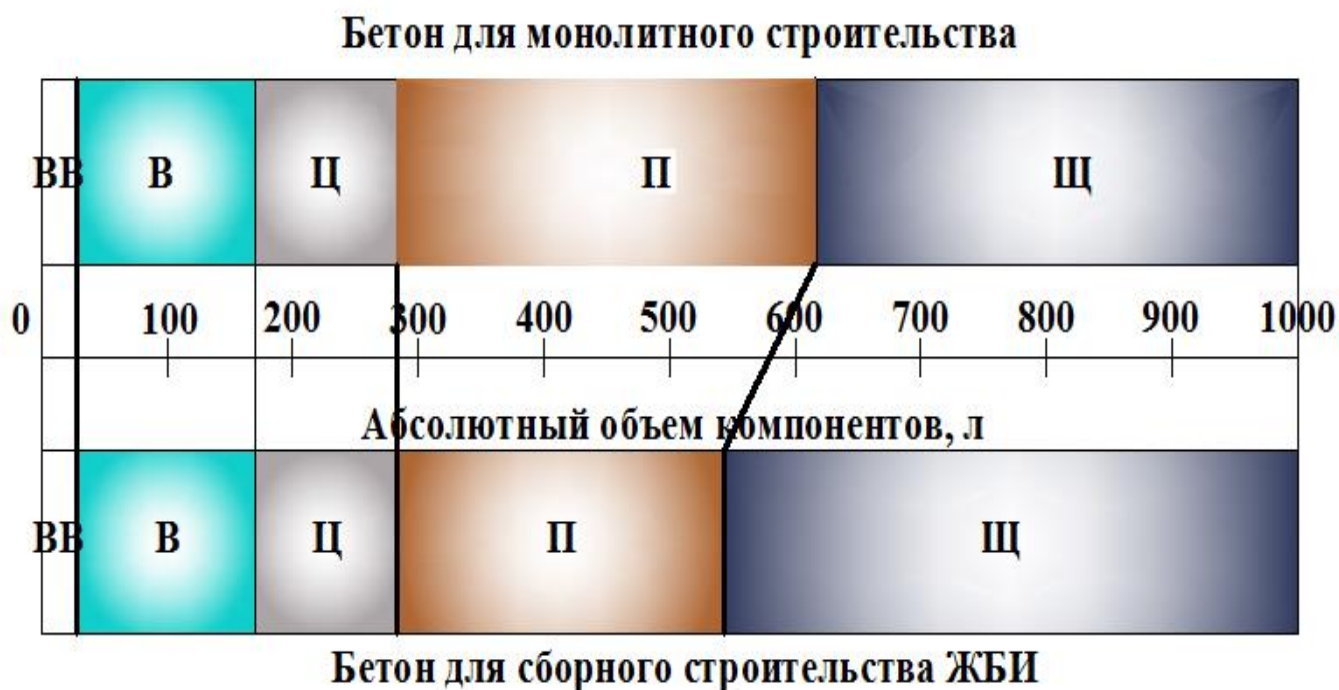


Рисунок 13 – Сравнение объемных долей компонентов для приготовления бетона для монолитного строительства и бетона для сборного строительства ЖБИ

На основании анализа рисунков 12, 13 можно сделать следующие выводы:

- для обеспечения оптимальной удобоукладываемости бетонной смеси для производства работ с помощью бетононасоса марка по подвижности бетонной смеси должна быть не менее П4;

- доля песка в смеси заполнителей должна быть увеличена на 10-20% по сравнению с бетонными смесями, применяемыми при производстве ЖБИ по заводской технологии. Доля песка должна составлять 0,45-0,55 от общего объема заполнителей для исключения отказов в работе бетононасоса вследствие забивания труб «защепенным бетоном»;

- для обеспечения заданных характеристик бетонной смеси необходимо применение химических добавок. Эффект химических добавок должен заключаться в разжижении бетонной смеси (пластифицирующий), снижении количества воды затворения для экономии цемента (водоредуцирующий) и сохранении свойств бетонной смеси на заданное время.

Бетонная смесь для монолитного строительства должна сохранять свои свойства от момента изготовления до момента ее уплотнения на строительной площадке. После того как бетонная смесь уложена необходимо произвести уход сначала за бетонной поверхностью не укрытой опалубкой, а затем после снятия опалубки с бетонной конструкцией до набора ей заданной по проекту прочности, позволяющей производить дальнейшие работы вплоть до нагружения следующим этажом.

Наиболее трудоемким и материалоемким элементом монолитного домостроительства является плита перекрытия. На ее примере предлагается отследить набор прочности бетоном в зависимости от ухода за ним в теплое и холодное время года.

После бетонирования плиты перекрытия на открытой ее поверхности могут образовываться волосяные трещины, поэтому необходимо воспрепятствовать потере воды с момента укладки бетонной смеси в конструкцию. Такая защита требуется особенно в сухую жаркую погоду, кроме того, она предохраняет уложенный бетон от воздействия атмосферных осадков.

Уход за бетоном на строительной площадке предполагает создание таких тепловлажностных условий твердения бетона, которые бы способствовали нормальному процессу гидратации цемента. Основная цель ухода за уложенным бетоном заключается в максимально возможном сохранении влаги в бетонном массиве как при положительных, так и при отрицательных температурах воздуха.

Количество воды, которую теряет бетонная смесь, а затем и бетон зависит от температуры и относительной влажности воздуха, а также от скорости ветра вблизи открытой поверхности забетонированной конструкции. Если поверхность бетона опрыскивали водой днем, то прохладной ночью большая часть этой воды испарится. Количество воды, потерянной бетоном, в значительной степени зависит от величины открытой поверхности и массивности конструкции, т.е. от модуля открытой поверхности.

Способы и материалы, применяемые для укрытия твердеющего бетона, хорошо известны. Так, практикой строительства установлено, что при температуре наружного воздуха выше плюс 25 °С в отсутствии ухода за свежеуложенным бетоном в течение одних первых суток бетон к 28-суточному возрасту набирает в среднем только около 86% прочности, при отсутствии ухода в течение двух первых суток – около 77%, в течение пяти суток – около 74%. Бетон, твердевший на солнце без ухода, к 28 суткам набирает не более 50-55% от прочности в 28-дневном возрасте [24].

Научными и производственными наблюдениями замечено, что в условиях резко континентального климата из-за циклического нагрева поверхностей бетонных изделий днем до 50 °С и охлаждения ночью до 15 °С и ниже происходит на конструкциях с открытой поверхностью происходит снижение набора прочности бетона [25]. Бетон такой конструкции даже к 28-суточному возрасту может иметь прочность только около 50% проектной.

Для того чтобы снизить риск трещинообразования и понижения качества изготовленного конструктива, предлагается рассчитывать влияние открытой поверхности на относительную прочность бетона без ухода за ним в ранние сроки по следующей эмпирической зависимости, в долях единиц

$$R_{\text{отн}} = 0,9 + 1,781Ц - R_{\text{п.пр}}, \quad (8)$$

где  $R_{\text{отн}}$  - относительная прочность бетона в процентах от прочности в возрасте 28 суток  $R_{28}$ ;

$Ц$  – расход цемента на приготовление  $1\text{ м}^3$ ;

$R_{\text{п.пр}}$  — понижение относительной прочности бетона в зависимости от модуля открытой поверхности в процентах;  $R_{\text{п.пр}}=0,1M_{\text{п}}$ ;

$M_{\text{п}}$  - модуль поверхности в  $\text{м}^{-1}$ , т.е. отношение общей площади изготавливаемого изделия к его объему.

Анализ формулы (9) показывает, что изменение  $R_{отн}$  бетона без ухода в первые 1-2 суток, т.е. его качество, прямо пропорционально расходу цемента в бетонной смеси и уменьшается пропорционально росту модуля открытой поверхности конструкции. Чем выше расход цемента в приготовленной бетонной смеси, тем выше прочность бетона, и прочность бетона понижается на величину прямо пропорциональную модулю открытой поверхности.

В теплый период после распалубки вертикальных конструкций (стены, колонны, пилоны и др.) для сохранения влажности поверхностных слоев бетона их необходимо укрывать светопрозрачными щитами с воздушным зазором между пленками и периодически увлажнять поверхность в виде распыления воды, а затем снова укрыть. Это позволит гарантированно в короткие сроки достигнуть бетону критической относительной прочности равной 60%  $R_{28}$  (особенно в жаркие дни), после чего покрытие можно снять.

В зимний период проводят прогрев бетона различными способами до достижения им критической прочности  $R_{отн} = 40-50\% R_{28}$ .

Для получения конструкций высокого качества и увеличения производительности работ по возведению монолитного конструктива домов необходимо проводить прогрев бетона, уложенного в опалубку перекрытий, в любой период года. Особенно это касается весенне-осенних периодов, таких как поздняя осень – со второй декады октября, и ранней весны до начала мая. Причем работы по прогреву следует особенно тщательно поскольку в предлагаемой технологии ухода и организации работ упор экономической эффективности делается на интенсификацию производства бетонных работ.

Наиболее экономичным и эффективным способом прогрева открытой поверхности перекрытия может стать применение тепловых генераторов инфракрасного излучения. Авторами [26] получен патент на полезную модель устройства для тепловой обработки бетонной смеси в монолитных конструкциях [27].

В теплое время года прогрев бетона, уложенного в опалубку перекрытия, производят, как правило, в ночное время после выдержки бетонной смеси в течение 1-2 часов после укладки. В зимнее время производят прогрев, так же как и в летнее — с открытой поверхности, но при этом утепляют нижнюю поверхность (со стороны опалубки).

Исходя из вышеприведенного анализа набора прочности бетоном, предлагается следующая технологическая последовательность для ухода за бетонной смесью и в последующем за бетоном.

После укладки бетонной смеси в опалубку перекрытия ее выдерживают от 1 до 2 часов, затем на открытую поверхность перекрытия укладывают светопрозрачные блоки щитов. В это же время на перекрытии устанавливают инфракрасные газовые горелки таким образом, чтобы лучи, испускаемые горелками, были направлены на бетонную смесь.

Термостойкая пленка пропускает инфракрасные лучи, которые при встрече с поверхностью бетонной смеси (бетоном) преобразуются в тепловую энергию, поглощаемую смесью (бетоном). Щиты имеют три слоя пленки, образующих две воздушные камеры. Такое укрытие предохраняет бетонную смесь (бетон) от непосредственного влияния наружной среды (ветра) на температуру уложенной смеси.

Замкнутые воздушные камеры служат теплоизоляторами, сдерживают отток теплоты из нее в атмосферу. Кроме того, это укрытие препятствует испарению влаги из смеси (бетона).

Пленки, пропуская лучи от инфракрасных газовых горелок, частично воспринимают тепловую энергию инфракрасного спектра, которая нагревает эти пленки. Однако устойчивость последней к нагреванию до технологически приемлемых температур при обогреве бетонной смеси (бетона) позволяет обеспечить работоспособность светопрозрачных щитов.

Следует отметить, что предлагаемая технология ухода за бетонной поверхностью приводит к уменьшению материальных затрат, в первую очередь затрат на электроэнергию для обогрева. Предлагаемая технология



предполагает обогрев конструкций в течение всего года. В ночную смену часто объем работ меньше чем в дневное время суток, поэтому представляется рациональным использование темного времени суток на прогрев изделий. Фактически во время прогрева изделий работа останавливается, поскольку производители работ ограничены временем набора бетоном критической прочности.

## 2.2 Технология монолитного домостроения с применением бетонных смесей с целью минимизации материальных затрат на строительство монолитного дома

За последнее десятилетие на территории России были успешно освоены новые системы опалубки [25], и приобретен положительный опыт возведения монолитных зданий. Российские строительные организации закупили за границей комплекты в основном крупнощитовой опалубки, а российские предприятия освоили выпуск нескольких таких опалубочных систем.

Однако эта технология, позволяя возводить монолитные конструкции любых конфигураций, отличается большими затратами ручного труда на установку и разборку крупнощитовой опалубки. Только достаточно крупные строительные компании могут позволить себе приобрести другие виды опалубок, например, объемно-переставную (туннельную).

Причина заключается в нежелании владельцев строительных компаний приобретать качественные системы опалубок (более дорогие и более сложные) и, как следствие, более эффективных технологий. Привлечение иностранных неквалифицированных рабочих, позволяя получать высокие прибыли, зачастую снижают качество производимых работ.

Другая причина – применение бетонных смесей с подвижностью П2 - П3 (см. таблицу 3) и класса бетона В12,5-В25, которые при правильной квалифицированной укладке в опалубку обеспечивают удовлетворительное качество. Однако практически на каждом объекте качество его укладки невысокое, особенно в жаркую или холодную (при отрицательных температурах воздуха) погоду.

Следовательно, работы по изысканию и использованию новых, эффективных составов бетона, методов прогрева смеси, приводящих к сокращению сроков набора прочности бетоном конструкций, что, в свою очередь, уменьшает общую продолжительность строительства объектов, представляются актуальными и имеющими практическую ценность.

Как показывает опыт строительных организаций, для получения высокого качества поверхности внутренних стен и перекрытий, снижения трудоемкости бетонных работ необходимо применять бетонные смеси с подвижностью марок П4-П5 (см. таблицу 3) и марок по расплыву конуса Р1-Р6.

В настоящей работе предлагается с целью интенсификации строительства многоквартирных жилых домов определенного проекта применять туннельную опалубку. Пример такой опалубки приведен на рисунке 14.



Рисунок 14 – Туннельная опалубка

Как видно из рисунка 14 туннельная опалубка устроена так, что заливка бетоном может осуществляться целыми этажами. При этом параллельно производится формирование как вертикальных конструкций, так и горизонтальных.

На сегодняшний день в ходе эксплуатации туннельной опалубки выявлено два недостатка:

1) такая опалубка не может использоваться при строительстве зданий со сложной планировкой и архитектурой. Она подходит только для типовых проектов.

2) при потребности сформировать достаточно высокие потолки необходимо дополнение конструкции специальными элементами.

Таким образом, главный минус туннельной опалубки – ее ограниченная функциональность.

При этом можно выделить ряд достоинств этой оснастки:

- сокращение сроков строительства. При формировании однотипных монолитных конструкций туннельная опалубка позволяет значительно ускорить процесс, так как стены и перекрытия возводятся одновременно [27]. Однотипность многоквартирных жилых домов, точнее, однотипность их этажей бесспорна и составляет свыше 90% от всего количества возводимых жилых домов;

- цельность монолитной конструкции. В конечном итоге между элементами здания имеется минимальное количество технологичных швов, что положительно влияет на общую прочность;

- всесезонное применение. За счет закрытой конструкции и металлических палуб туннельная опалубка может быстро прогреваться изнутри газовыми пушками в холодное время года. Также с учетом предложенного ранее обогрева монолита в любое время года туннельная опалубка является рациональным решением в обеспечении теплового обогрева забетонированного массива;

- многократность применения. При надлежащем уходе и своевременном ремонте оснастка служит от 500 до 800 циклов.

С учетом выявленных недостатков туннельной опалубки представляется, что оптимальным будет не приобретение такой опалубки строительными организациями, а ее аренда. Например, получая подряд на строительство жилого дома, строительная организация арендует необходимый набор

Применение объемно-переставной опалубки позволяет существенно сократить срок оборота опалубки, доведя его до одних суток. При этом возведение конструкций выполняют в такой последовательности:

- в первой половине рабочего дня производят распалубливание конструкций, чистку и смазку опалубки, затем монтируют ее на новой захватке с установкой необходимой арматуры;

- во второй половине дня укладывают бетон в установленную опалубку;

- уложенный бетон на перекрытии укрывают светопрозрачными щитами.

- в образовавшихся ячейках (туннелях) устанавливают газовые горелки инфракрасного излучения. После их запуска входы закрывают брезентовыми пологами.

Прогрев забетонированного объема производится в ночное время в течение 8-12 часов. При этом следует применять «мягкие» режимы прогрева с температурой прогрева до 60°C, что обеспечивает высокое качество бетона и экономит энергоресурсы, снижая нагрузку на теплотворные аппараты (паро-, электрогенераторы, установки газовых горелок и т.д.)

Дополнительным плюсом применения туннельной опалубки является возможность поэтажного прогрева бетона с различной интенсивностью. Особенно ценно это качество в зимнее время года, когда по какой-либо причине (низкое качество бетонной смеси, нарушение технологии прогрева, особо низкие температуры) время прогрева следует увеличить. Туннельная опалубка позволяет производить прогрев и при устройстве следующего этажа. Недостатком такого случая является необходимость наличия дополнительного комплекта опалубки для «отстающих» ярусом-этажей [28].

Схема поярусного прогрева с различной температурой приведена на рисунке 15.

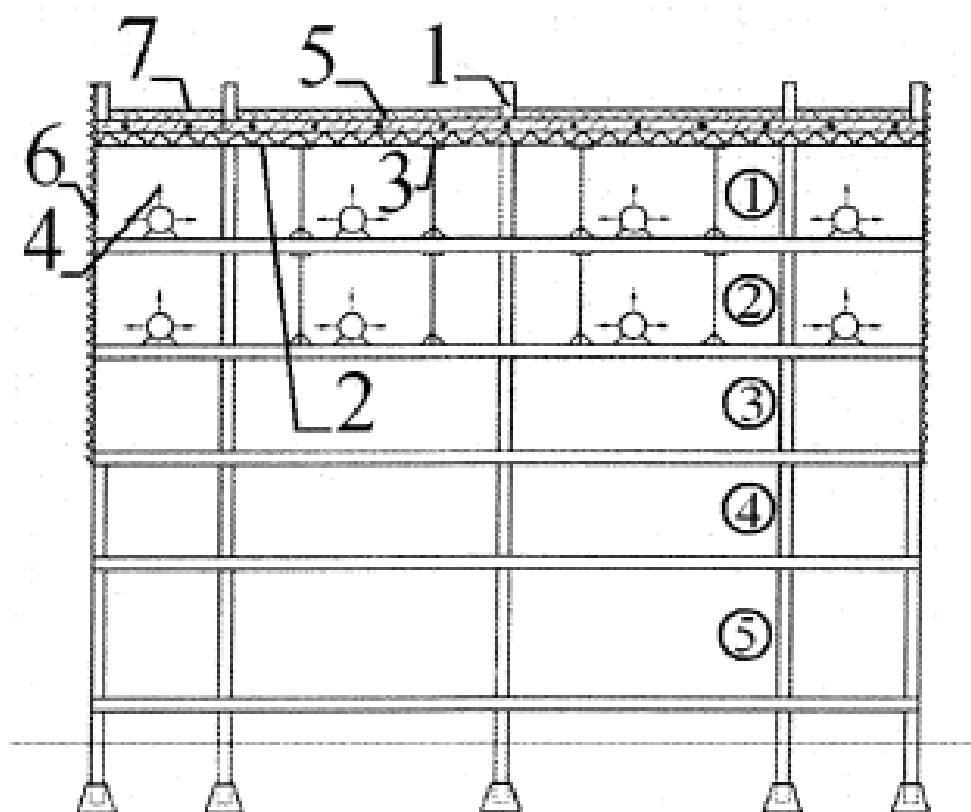


Рисунок 15 – Поярусная термообработка бетона в туннельной опалубке и выдерживание конструктива до набора критической прочности: 1 – монолитные конструкции; 2 – туннельная опалубка; 3 – стойки, поддерживающие опалубку потолка (плиты перекрытия); 4 – теплотворные установки (калориферы, парогенераторы); 5 – ячейки (туннели) опалубки; 6 – светопрозрачные щиты; 7 – утеплитель.

Обведенные в круг цифры от 1 до 5 представляют собой зоны прогрева:

1 – зона активной термообработки до 50-60°C. В этой зоне добиваются прочности бетона свыше 50%.

2 – зона выдерживания с обогревом до 30 °С. В этой зоне «доводят» прочность бетона до значений 60-70% $R_{28}$ .

3 – зона регулируемого остывания. Согласно [9] разность температур для конструкций с различным  $M_n$  должна составлять от 20 до 50°C. В этой зоне конструкции дают остывать до нужной разности температур.

4 – зона остывания в холодный период времени до 0°C. Эта зона появляется только в холодный период времени.

5 – зона готового конструктива. В этой зоне разрешено производить все запланированные проектом виды работ.

Традиционный бетон для монолитного домостроения после такого поэтапного прогрева набирает прочность равную 55-60%  $R_{28}$ , что зачастую согласно проекту производства работ оказывается достаточным для распалубки забетонированного участка и началу работ над установкой опалубки следующего участка. В ходе выполнения работ по устройству опалубки следующего этажа (конструктива) необходимо проводить каждые два часа увлажнение бетонной поверхности для исключения образования сетки трещин вследствие испарения влаги с поверхностных слоев бетонного изделия.

#### **Выводы по главе 2:**

- предложены объемные доли компонентов бетонной смеси, позволяющие производить укладку бетонных смесей бетононасосами как самого производительного варианта формирования;

- для обеспечения безотказной перекачиваемости бетонных смесей доля песка для бетонных смесей под бетононасос должна быть в пределах 0,45-0,55 от общего объема заполнителей;

- для достижения требуемой удобоукладываемости следует применять химические добавки с водоредуцирующим, пластифицирующим эффектом, которые могут обеспечить сохраняемость свойств бетонной смеси до момента укладки ее в опалубку;

- предложена технология ухода за бетоном и термообработка изделий, позволяющая начинать распалубочные работы после 8-12 часов в любое время года;

- предложено использование туннельной опалубки как максимально эффективного решение проблемы сокращения сроков строительства многоэтажных жилых домов.

### 3 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДЛОЖЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ МОНОЛИТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Преимущество домов из монолитного бетона состоит в том, что их можно строить даже в самом густонаселенном центре города, где панельное или кирпичное строительство просто невозможно. Монолитная технология предполагает возможность совмещения монолита с кирпичом, что существенно расширяет как потребительский сегмент, так и возможности строительных организаций. Кроме этого, сочетание бетонный монолит – кирпич обеспечивает монолитным домам гораздо более высокие значения по звукоизоляции и по теплоизоляции.

Современное строительное производство предполагает, что делать фундаментальный ремонт в панельных или кирпичных домах стоит только после того, как он даст усадку, а для этого должно порой пройти несколько лет. Все это неактуально для монолита: обустраивать квартиру в таком доме можно сразу, рассчитывая при этом на много лет вперед. Это же относится и к внешнему дизайну всего здания. На монолитные дома не влияют осадки, здесь нет стыков между плитами, которые традиционно считаются самым слабым местом у панельных домов. [29].

Все новое, особенно сегодня, когда все стремятся заботиться о своем здоровье, принято тщательно проверять на предмет экологичности, соответствия нормам санитарных требований. Требования возрастают, если речь идет о жилой квартире. Весь мировой опыт монолитного строительства говорит о том, что монолитное жилье не дает никакого отрицательного влияния на здоровье человека. Доказательством тому является то обстоятельство, что монолитные дома строят сегодня во всех, в том числе и в самых высокоразвитых странах мира. Не говоря уже о столицах – Москве и Санкт-Петербурге. Во многих из них живут чрезвычайно богатые люди, которые, как известно, очень трепетно относятся к своему здоровью. Стоит предположить, что выбор их не случаен.



Если в экологическом плане сравнивать монолитное домостроение и панельное, то они практически ничем не отличаются. И там, и там тот же бетон, в монолитном доме его даже меньше. Просто один льют на производстве, а другой – непосредственно на объекте. Чтобы максимально улучшить экологическую обстановку в квартире, монолитные дома обкладывают кирпичом. Это не только красиво, но и регулирует влажность внутри дома: кирпич лучше впитывает влагу, чем бетон. Однако такая комбинация материалов приводит к удорожанию стоимости таких домов до 30% по сравнению с монолитными.

И еще один немаловажный вопрос: стоимость квартир в монолитных домах. Стоимость метра жилой площади в монолитном доме давно уже сопоставима со стоимостью метра в панельном. В последнее время квартиры в панельных домах даже дороже. Самые дешевые, а значит, и самые доступные монолитные дома, где внешние стены формируются из бетонных панелей. Иногда, чтобы сэкономить и предложить покупателям более доступное жилье, для формирования внутренних стен используется гипсокартон. Но жить в помещении с практически абсолютной акустикой мало кого прельщает, поэтому покупатели вынуждены самостоятельно возводить кирпичные стены.

В главе 2 отмечалось, что для достижения поставленной цели работы, были применены шаги по оптимизации не только составов бетонной смеси для монолитного домостроительства, но и предложены решения по оптимизации ухода за монолитным бетоном и сокращению сроков возведения зданий.

Принимаемые специалистами решения могут носить как научный, так и прикладной характер, но все решения должны быть подкреплены соответствующими технико-экономическими показателями, которые приводят к сокращению материальных расходов и трудозатрат.

Первым шагом по сокращению материальных затрат стало увеличение доли песка в смеси заполнителей для увеличения перекачиваемости

бетонных смесей для монолитного домостроения бетононасосами. Примерные составы бетонных смесей (традиционной и предлагаемой) приведены в таблице 4. В качестве примера выбран состав бетонной смеси для наиболее широко применяемой марки М350 или класс бетона В25.

Таблица 4 – Ориентировочные составы бетонных смесей для монолитного строительства и сборного домостроения

Бетонная смесь для заводской технологии ЖБИ				Бетонная смесь для монолитного строительства		
Материал	Расход на 1 м <sup>3</sup> , кг	Стоимость за 1 кг, руб	Стоимость на 1 м <sup>3</sup> , руб	Расход на 1 м <sup>3</sup> , кг	Стоимость за 1 кг, руб	Стоимость на 1 м <sup>3</sup> , руб
<b>Цемент</b>	350	3,1	1085	350	3,1	1085
<b>Песок</b>	578	0,25	144,5	938	0,25	234,5
<b>Щебень</b>	1314	1,1	1445,4	959	1,1	1054
<b>Вода</b>	160	0,03	4,8	170	0,03	5,1
<b>Добавка</b>	3,0	22	66	5	22	110
<b>Итого</b>			<b>2744</b>			<b>2488</b>

Расчет составов бетонных смесей был произведен по методике, предложенной в главе 2. Предлагаемый состав бетонной смеси имеет преимущество в более высокой подвижности на месте укладки, что сокращает трудозатраты по ее укладке вдвое [30]. Цены приведены средние по району Санкт-Петербурга, поскольку регион отличается труднодоступностью качественного щебня, что подтверждается исследованиями [20-25], результатом которых стали рекомендации к широкому применению именно широко распространённых во многих регионах песков. Тогда как качественный щебень во многих российских регионах весьма дорог и по своей себестоимости на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси даже превышает совокупную себестоимость самых дорогих ее компонентов: цемента и добавки, что и подтверждает результатами в таблице 4.

Проблемы с качественным щебнем зачастую приводят к существенному удорожанию бетонных смесей, а при отсутствии входного контроля его качества или же при целенаправленном применении некачественного сырья

зачастую возникают проблемы с опасностью обрушения или трещинообразования вновь возводимых монолитных домов [31-33].

По оценке экспертов [31-33] до 15 % случаев аварий на объектах монолитного домостроения происходит по вине недобросовестного поставщика бетонных смесей, который не руководствуется требованиями нормативной документации в части соответствия ей применяемых компонентов бетонной смеси. Конечно же, в первую очередь на качество бетонных смесей влияет качество цемента, однако и заполнители также вносят свой вклад в не самую положительную статистику аварий.

На рисунке 16 представлена выборка основных причин аварий на объектах монолитного строительства по данным [33].

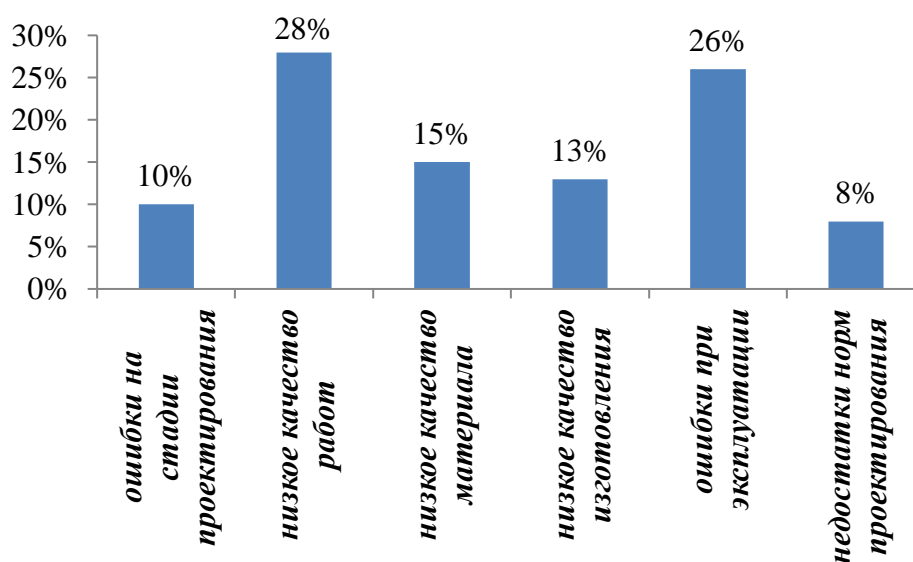
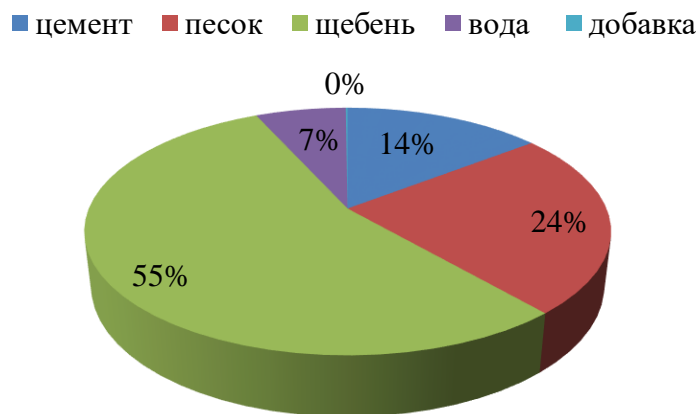


Рисунок 16 – Основные причины аварий монолитного строительства

Как уже отмечалось выше, одной из основных проблем некоторых субъектов Российской Федерации является отсутствие высококачественного крупного заполнителя. Именно по этой причине мною рекомендованы составы бетонных смесей с уменьшенным количеством содержания крупного заполнителя в бетонной матрице. При этом следует четко определить диапазон расходов крупного заполнителя, ниже которого не следует опускаться вследствие неконтролируемого увеличения усадки и ползучести

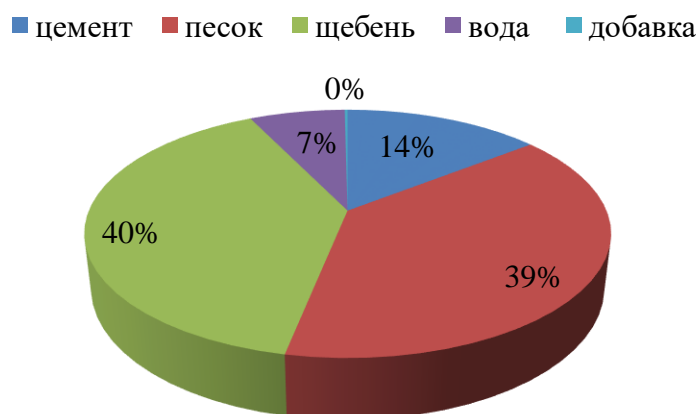
бетонов под нагрузкой, что может привести к самым трагическим последствиям, как при строительстве, так и при эксплуатации монолитных жилых домов. На рисунке 17 представлено графическое изображение соотношения компонентов для приготовления 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси.

### ЖБИ



а)

### Монолитный бетон



б)

Рисунок 17 – Соотношение компонентов бетонной смеси для заводского изготовления ЖБИ а) и для монолитного типа строительства б)

Как видно из рисунка 17 доля песка была увеличена на 15 %, соответственно доля щебня уменьшена на 15%. Такое увеличение доли песка

приводит к улучшению реологических свойств бетонных смесей, как следствие к уменьшению трудозатрат по их обработке в конструкции (формованию). При этом данное соотношение «песок:щебень» позволяет производить бетонные смеси с показателем морозостойкости до F300, что говорит о возможности возведения монолитных домов даже в условиях резко континентального климата.

Разница только в себестоимости для производства 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси по сравнению с более «жесткими» заводскими составит 256 рублей. В пересчете на весь объем бетона, необходимого для возведения 16-этажного дома монолитно-каркасного 2 подъезда, на 192 квартиры: 1-комнатных - 64 шт, 2-комнатных - 64 шт; 3-комнатных - 64 шт, это составит весьма большую сумму. Общая площадь квартир 11840 м<sup>2</sup>, количество бетона на конструктив представлено в таблице 5.

Таблица 5 – Количество бетонной смеси для постройки 16-этажного жилого дома

№ п/п	Часть конструктива	Объем бетона, м <sup>3</sup>	Стоимость 1 м <sup>3</sup> согласно таблице 4, руб		Стоимость итого по конструктиву, руб	
			ЖБИ панель	Монолит	ЖБИ панель	Монолит
1	фундамент	500	2744	2488	1 372 000	1 244 000
2	Плиты перекрытий	2000			5 488 000	4 976 000
3	Стены	1300			3 567 200	3 234 400
4	Колонны	1000			2 744 000	2 488 000
5	Лестничные пролеты	300			823 200	746 400
	<b>Итого</b>				<b>13 994 400</b>	<b>12 688 800</b>

Как видно из таблицы 5 разница в себестоимости составляет 1 305 600 рублей. При этом данный расчет затрагивает только случай, когда и ЖБИ, и конструктив монолитного бетона имеют одинаковый размер. На рисунке 18 представлена диаграмма распределения объема бетона на строительство 16-этажного дома.

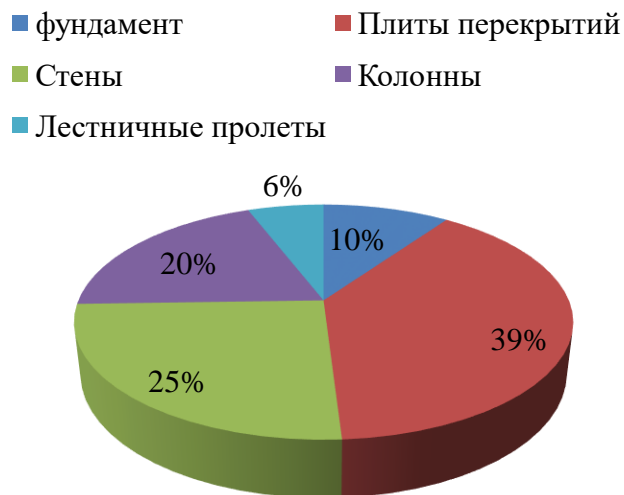


Рисунок 18 – Распределение объема бетона по конструктивным частям 16-этажного монолитного жилого дома

Если принять во внимание тот факт, что заводы ЖБИ могут выпускать трехслойные стеновые панели со слоем утеплителя (например, керамзитобетон), то разница в 1 305 600 рублей сократится до 10% в связи с тем, что затраты на единицу продукции на заводе ЖБИ на 10% меньше, чем работа по утеплению монолитных стен на объекте [34].

Таким образом, только на стадии изготовления, применяя монолитный бетон предлагаемого диапазона расхода компонентов, появляется возможность экономить на сырье до 1 175 000 рублей.

Дальнейшим шагом по экономии материальных средств видится транспортировка и монтаж конструктива (в случае с монолитом, укладка и уход).

На сегодняшний день затраты на транспортировку готовых железобетонных изделий с завода ЖБИ складываются из следующих компонентов:

- работы по погрузке изделий на транспорт поставщика. Сюда включены затраты на работу крана (мостового, козлового или автокрана);
- непосредственно транспортировка готового изделия фиксированной цены. При этом в цену готового изделия входят затраты на его производство

согласно калькуляции, включая себестоимость, заработную плату персонала завода, расходы на электроэнергию, расходы на тепловую энергию, затраченную для производства готового изделия и т.д.;

- работы по разгрузке изделий на площадке и ее складированию.

Несомненным плюсом монолитного строительства является существенно более низкая цена на стадии транспортировки бетонной смеси, поскольку сюда включены только расходы на аренду автобетоносмесителя и бетононасоса, поскольку транспортирование бетонной смеси к месту укладки уже осуществляется по трубам. Совместная работа автобетоносмесителя и бетононасоса показана на рисунке 19.

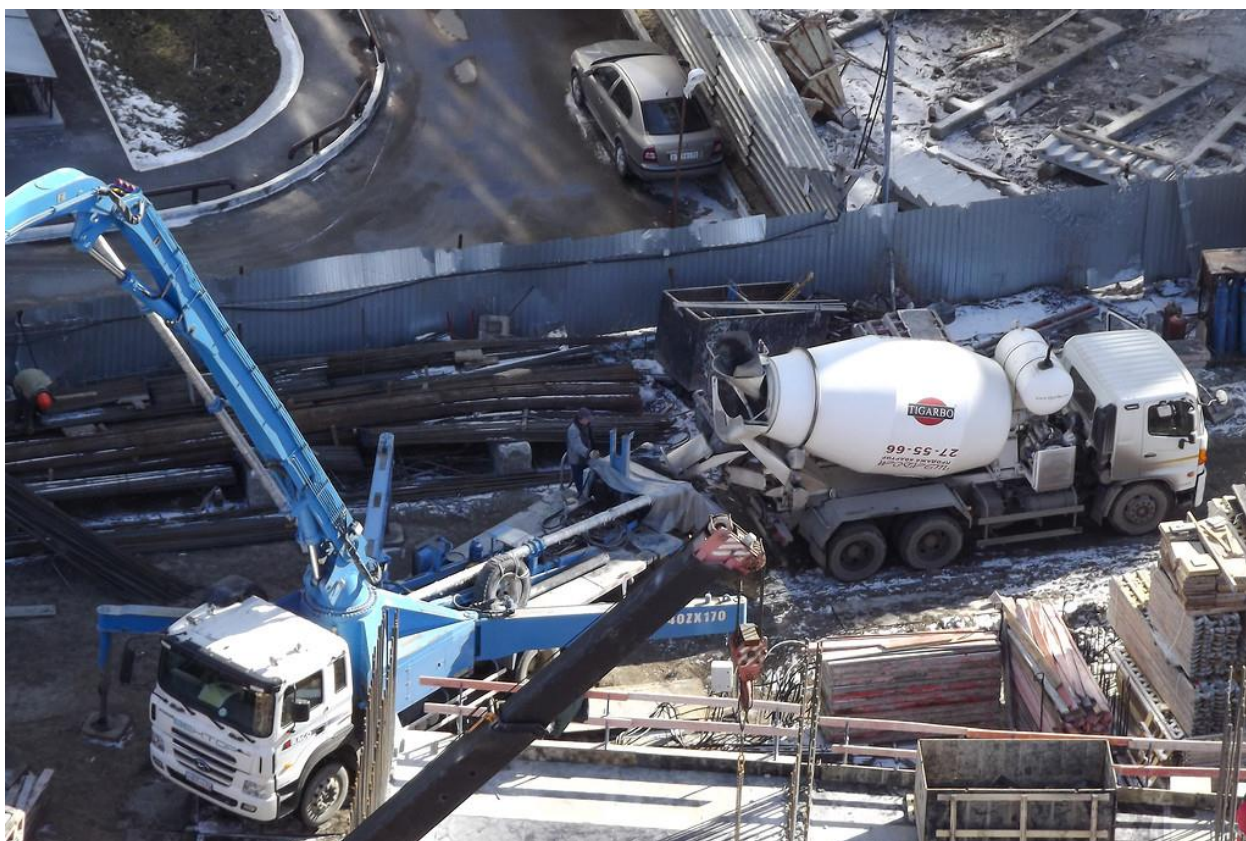


Рисунок 19 - Совместная работа автобетоносмесителя и бетононасоса

Тогда, по аналогии с доставкой бетонной смеси при монолитном строительстве к месту укладки, к расходам на транспортировку готовых железобетонных изделий следует отнести и подъем их и транспортировка к месту монтажа краном.

В расчет расходов по транспортировке дополнительно берется цифра в 5% для каждого типа бетонов, которая выражает заработную плату рабочего персонала.

При расчете величины сокращения материальных затрат на строительства монолитного дома принято решение производить сравнение с панельным строительством на уровне 100% аренды транспортных средств. Это позволит исключить неизвестные компоненты расчета, например, такие как заработная плата рабочего персонала, поскольку в различных строительных организациях она может отличаться значительно. Также принято допущение о равном расстоянии, которые проходят транспортные средства к месту укладки/монтажа бетонного конструктива. В таблице 6 приведена стоимость почасовой аренды. В качестве расчетных цен были взяты цены по г. Москва.

Цены на почасовую аренду техники для транспортировки бетонных изделий и бетонной смеси приведены в таблице 6. В таблице приведены значения времени операций суммарно для строительства уже приведенного в пример 16-этажного дома с учетом данных, представленных в [35].

Таблица 6 – Стоимость почасовой аренды спецтехники и время их работы для монтажа/изготовления по каждому типу конструкций

№ п/п	Наименование техники	Технологическая операция	Стоимость аренды в час, руб	Время работы, час [35]	Затраты на технику, руб
<b>Панельное производство</b>					
1	Автокран до 16 т	Погрузка ЖБИ на заводе-изготовителе	900	200,35	180 315
		Разгрузка ЖБИ на объекте строительства		200,35	180 315
		Работы по подъему и монтажу ЖБИ на объекте строительства		1202,1	1 081 890
2	Длинномер	Транспортировка ЖБИ с учетом времени загрузки и разгрузки	750	392	294 000



Продолжение таблицы 6

№ п/п	Наименование техники	Технологическая операция	Стоимость аренды в час, руб	Время работы, час [35]	Затраты на технику, руб
	Итого			1994,8	1 736 520
<b>Монолитное производство</b>					
3	Автобетоносмеситель	Транспортировка бетонной смеси	800	510	408 000
4	Бетононасос	Доставка бетонной смеси к месту укладки	2500	127,5	318 750
	Итого			637,5	726 750

В таблице 6 приведено только «чистое» время, затраченное на работу техники. Не учтено время простоя по чьей-либо вине (поломка техники, неправильное планирование работ и т.д.).

1) *Работа автокрана.* На один подъем крана до 16 т при погрузке и разгрузке ЖБИ уходит до 3 минут или 0,05 часа. Среднее время на подъем изделий для монтажа увеличен в три раза, поскольку монтажные работы требуют повышенного внимания и точности установки. В расчете принято допущение о том, что работает два крана одновременно.

При расчете времени работы автокрана на погрузку принято следующее количество изделий:

*Блоки фундаментные* ФБС-24-4-6т ГОСТ 24379 1111 штук. В расчет принят объем бетона на фундаменты 500 м<sup>3</sup>, объем каждого блока 0,45 м<sup>3</sup>.

Затраты на погрузку и разгрузку=1111штук×0,1 часа×900 рублей/2 автокрана=99 990 рублей.

Затраты на монтаж=1111штук×0,3 часа×900/2 автокрана=299 970 рублей.

*Плиты перекрытия* 1ПК 60.15 ГОСТ 26434 1010 плит перекрытий. В расчет принят объем бетона на перекрытия 2000 м<sup>3</sup>, объем каждого изделия 1,98 м<sup>3</sup>.

Затраты на погрузку и разгрузку= $1010 \text{ штук} \times 0,1 \text{ часа} \times 900 \text{ рублей} / 2$   
автокрана= $90\ 900$  рублей.

Затраты на монтаж= $1010 \text{ штук} \times 0,3 \text{ часа} \times 900 / 2$  автокрана = $272\ 700$   
рублей.

*Колонны.* При строительстве жилых домов применяют колонны по ГОСТ 18979-2014 «Колонны железобетонные для многоэтажных зданий. Технические условия». В качестве расчетной принята колонна с сечением  $300 \times 300$  мм, объемом  $0,3 \text{ м}^3$ . В таком случае для всего дома понадобится 1000 колонн.

Затраты на погрузку и разгрузку= $1000 \text{ штук} \times 0,1 \text{ часа} \times 900 \text{ рублей} = 90\ 000$  рублей.

Затраты на монтаж= $1000 \text{ штук} \times 0,3 \text{ часа} \times 900 = 270\ 000$  рублей.

*Лестничные марши.* Выпускаются по ГОСТ 9818-2015 «Марши и площадки лестниц железобетонные. Общие технические условия». В расчет принят объем бетона на лестничные марши  $300 \text{ м}^3$ , объем одного изделия принят  $0,6 \text{ м}^3$ . Общее количество лестничных маршей 500.

Затраты на погрузку и разгрузку= $500 \text{ штук} \times 0,1 \text{ часа} \times 900 \text{ рублей} / 2$   
автокрана= $45\ 000$  рублей.

Затраты на монтаж= $500 \text{ штук} \times 0,3 \text{ часа} \times 900 / 2$  автокрана= $135\ 000$   
рублей.

*Стеновые панели.* Стеновые панели могут как для наружных стен по ГОСТ 11024-2012 «Панели стеновые наружные бетонные и железобетонные для жилых и общественных зданий. Общие технические условия», так и для внутренних стен по ГОСТ 12504-2015 «Панели стеновые внутренние бетонные и железобетонные для жилых и общественных зданий. Общие технические условия». Стены могут несущими или не несущими. В расчете времени работы крана принято допущение о том, что все стеновые плиты несущие типа ПСВ ГОСТ 12504-2015. Объем одного изделия составляет  $3,36 \text{ м}^3$ . Согласно таблице 5 количество бетона для производства стеновых

панелей составляет 1300 м<sup>3</sup>. Общее количество стеновых плит составит 387 штук.

Затраты на погрузку и разгрузку=387штук×0,1 часа×900 рублей/2 автокрана=34 830 рублей.

Затраты на монтаж=387 штук×0,3 часа×900/2 автокрана=104 490 рублей.

Итого затрат

2) *Работа длинномера.* Один рейс длинномера занимает 1 час, как и доставка бетонной смеси. Работает 1 длиномер с учетом того, что строительство ведется поэтажно и перед его началом был заготовлен запас на складе. В расчет принят длиномер с длиной погрузочного места 12 м. В соответствии с весом изделий и загрузкой изделий принято допущение о том, что длиномер за один раз может перевезти:

- 20 лестничных маршей. Лестничные марши перевезут за 25 рейсов=25 часов×750=18750 рублей;

- 5 стеновых панелей. Плиты панелей будут перевезены за 78 рейсов=78часов×750 рублей=58 500 рублей;

- 20 колонн. Колонны будут доставлены за 50 рейсов=50часов×750 рублей=37 500 рублей;

- 10 блоков фундаментных Блоки фундаментные будут привезены за 112 рейсов=112 часов×750 рублей=84000 рублей;

- 8 плит перекрытий. Плиты перевозятся за 127 рейсов=127 часов×750=95250 рублей.

Итого затрат на доставку 294 000 рублей.

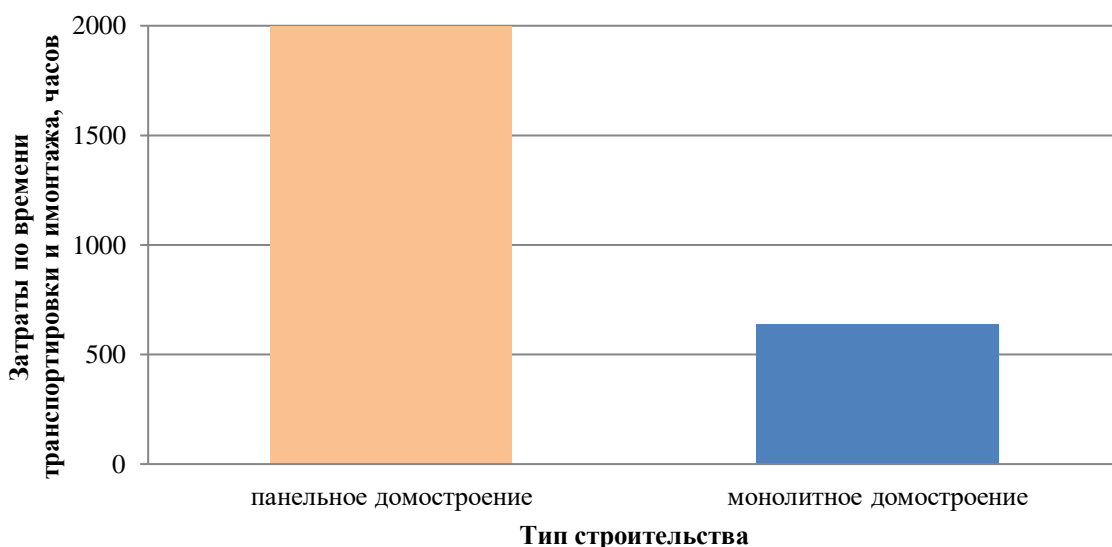
3) *Работа автобетоносмесителя.* Объем мешалки у автобетоносмесителя принят 10м<sup>3</sup>. Таким образом, для перевозки 5100 м<sup>3</sup> бетонной смеси согласно таблице 5 необходимо сделать 510 рейсов. Для организации непрерывного бетонирования перекрытия одного этажа необходимо 4 автобетоносмесителя, которые будут подъезжать непрерывно, один после другого. Каждый автобетоносмеситель сделает по 127,5 рейсов

длительностью 1 час из расчета: 0,5 часов на перемещение и 0,5 на разгрузку и промывку мешалки.

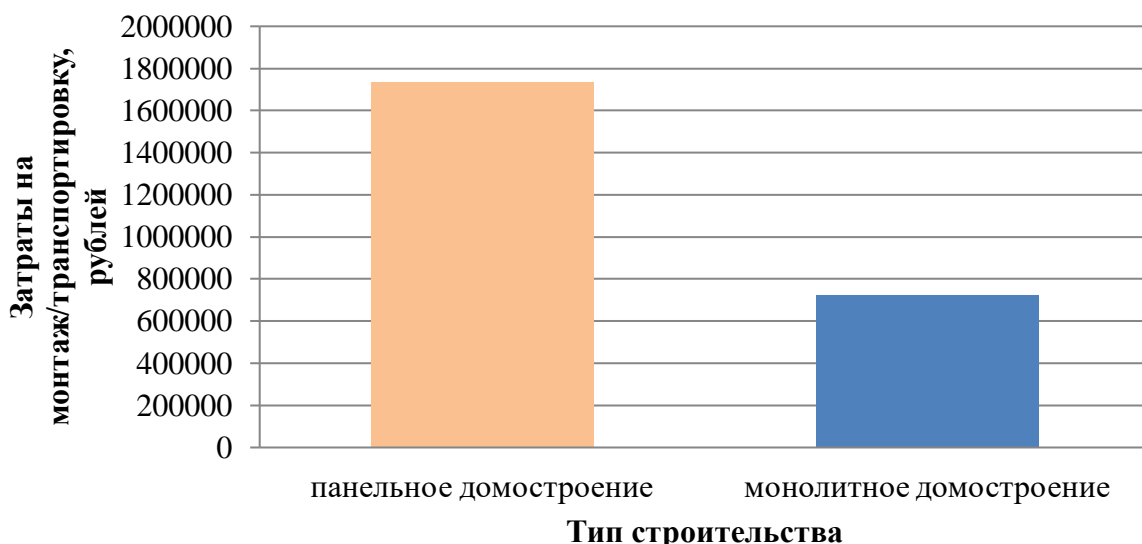
Время доставки бетонной смеси автобетоносмесителями установлено в 0,5 часа, как если бы они были непосредственно на строительной площадке. В это время входит время в пути от бетоносмесительного узла до места укладки и обратно со всеми маневрами транспортного средства.

4) *Работа бетононасоса.* Производительность бетононасоса выбрана в  $40\text{м}^3$ , что является средним показателем согласно указаниям [7-8]. Безотказность бетононасоса обеспечивается удобоукладываемой пластичной бетонной смесью. Любые простои бетононасоса ведут к увеличению времени формирования до 2 часов. Если в это время не устранена поломка и формирование элемента еще не завершено согласно [9] необходимо устраивать технологический шов, что приводит к увеличению трудозатрат.

На рисунке 20а приведено графическое сравнение результатов времени работы техники, полученных по итогам расчетов в таблице 6. На рисунке 20б – затрат на аренду этой техники.



а)



б)

Рисунок 20 – Сравнение затрат при панельном и монолитном типе строительства: а) по времени транспортировки и монтажа; в) в материальном выражении при транспортировке и монтаже

Анализ таблицы 6 и рисунка 20 показывает, что затраты на технику при панельном домостроении выше на 139%, а время работы техники больше на 213%. При монолитном домостроении уровень механизации значительно ниже, затраты на заработную плату рабочих не смогут быть выше затрат на технику, по крайней мере в условиях большинства регионов нашей страны.

На рисунке 21 представлено процентное содержание материальных затрат при панельном домостроении. Для сравнения на рисунке 21 приведено значение общих материальных затрат на доставку бетонной смеси на объект строительства и к месту укладки при монолитном домостроении. Обращает на себя внимание факт более чем 25% увеличения стоимости работ по транспортировке бетонных изделий только на объекте строительства, тогда как полные затраты на работу техники по доставке бетонной смеси не только непосредственно к объекту строительства, но и к самому месту укладки, поскольку, как уже отмечалось выше, транспортировка бетонной смеси не прекращается после ее поставки на объект строительства.

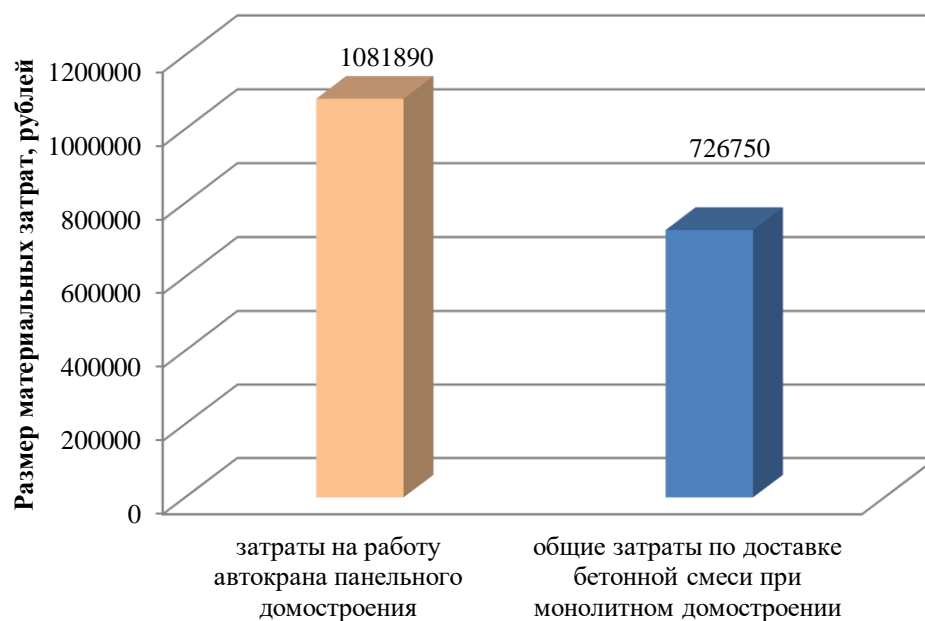


Рисунок 21 – Материальные затраты на работу крана при монтаже панельных конструкций на объекте строительства

Как видно из рисунка 21 работа автокрана при панельном домостроении будет занимать значительную часть, поэтому для подрядной организации следует иметь свою собственную грузоподъемную технику. Это же касается и монолитного домостроения, с той лишь разницей, что при монолитном типе строительства таким затратным с материальной точки зрения вариантом становится приобретение опалубки.

Таким образом, совокупная экономия материальных средств в случае применения предлагаемых бетонных смесей и монолитном способе производства на стадии транспортировки и доставки к месту укладки составляет  $1\,305\,600 + 1\,009\,770 = 2\,315\,370$  рублей.

В настоящей работе дальнейшие затраты при панельном домостроении более не учитываются, поскольку за бетоном панельного дома нет необходимости следить. Однако следует учитывать, что энергетические затраты завод ЖБИ гораздо выше по сравнению с энергозатратами подрядчиков монолитного строительства, поскольку на заводах средняя температура выдержки бетона в камерах составляет  $80^{\circ}\text{C}$ , а по предлагаемой

технологии (см. главу 2, раздел 2.2) не более 40°C. Время тепловой обработки при этом одинаково 8-12 часов. Соответственно затраты на уход за бетоном, под которым подразумевается набор необходимого значения прочности, увеличится вдвое. Причем для панельного домостроения эта величина будет больше, а для монолитного меньше.

Предлагаемая технология ухода позволяет экономить такие материальные ресурсы как:

- греющая опалубка, поскольку в сочетании с арендуемой туннельной опалубкой, уход за бетоном позволяет получать высокие значения распалубочной прочности при этом затрачивается в половину меньше электроэнергии на прогрев.

- термоматы или теплоизоляционный материал. В случае с бетонированием пола (перекрытия). На рисунке 22 представлена традиционная технология бетона в зимнее время с укрытием его теплоизоляционным материалом.

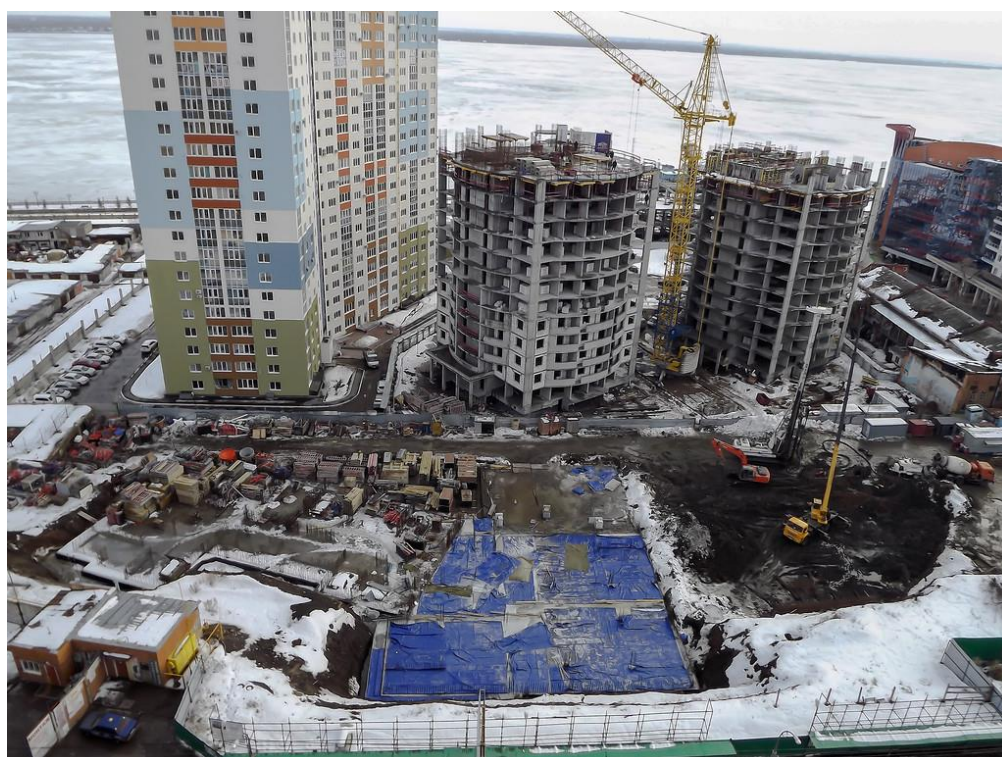


Рисунок 22 – Укрыв плиты перекрытия теплоизоляционным материалом

На рисунке 22 теплоизоляционный материал синего цвета уложен на бетон и сокращает тепло- и влагопотери с поверхности бетона как в летний период времени, так и в зимний.

Немаловажным фактором в экономии материальных ресурсов в предлагаемой технологии ухода является снижение энергозатрат. На рисунке 23 представлено сравнение расхода электроэнергии на прогрев 1 м<sup>3</sup> бетона как при производстве ЖБИ, так и прогреве монолитного бетона на объекте строительства.

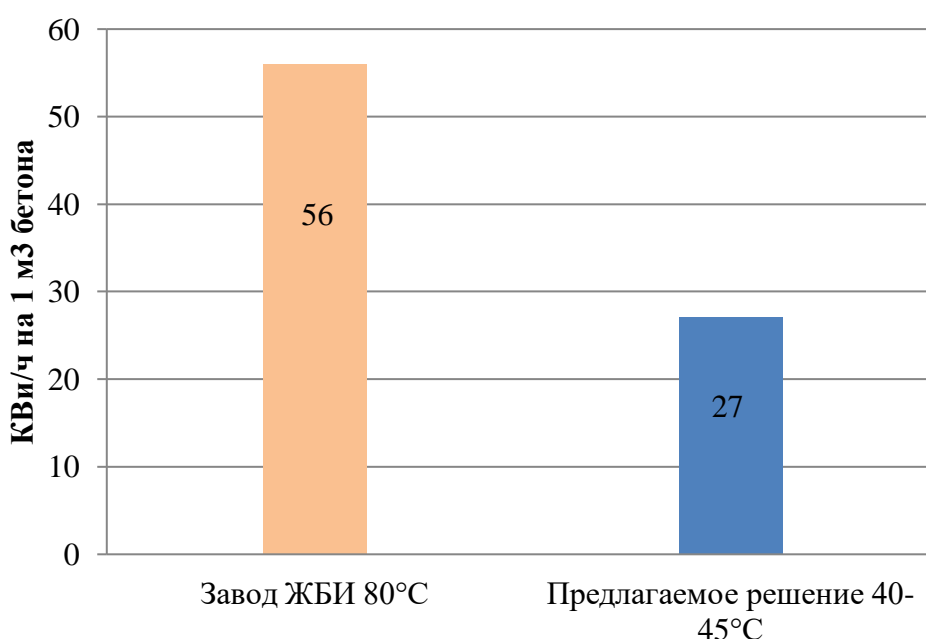


Рисунок 23 – Сравнение расхода электроэнергии на прогрев до распалубочной прочности бетона на заводе ЖБИ и при монолитном способе строительства [36]

Как видно из рисунка 23 снижение температуры прогрева приводит к сокращению энергозатрат. Наиболее ценным в данном случае является тот факт, что время выдержки бетона на монолитном объекте не увеличивается за счет комбинации «туннельная опалубка+ предлагаемый уход за бетоном». Фактически эффект более низкотемпературного прогрева при равной



прочности достигается за счет качества работ по уходу и выбору правильных материалов.

На рисунке 24 приведено сравнение стоимостных затрат на прогрев 5100 м<sup>3</sup> бетона, необходимого для строительства 16-этажного дома.

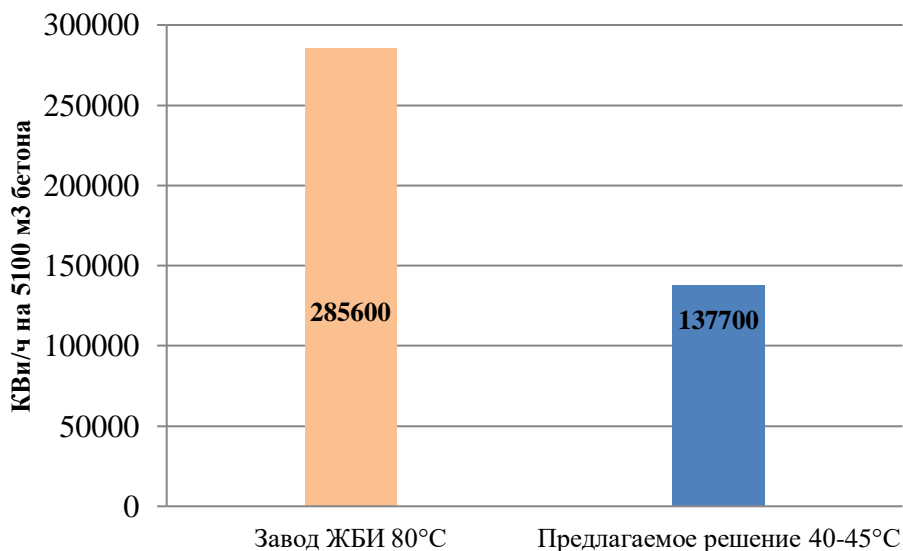


Рисунок 24 – Энергетические затраты на прогрев бетона для строительства 16-этажного дома

Если взять средний тариф по г. Санкт-Петербург в 4 руб [37], то стоимость денежных затрат составит значения, приведенные на рисунке 25.

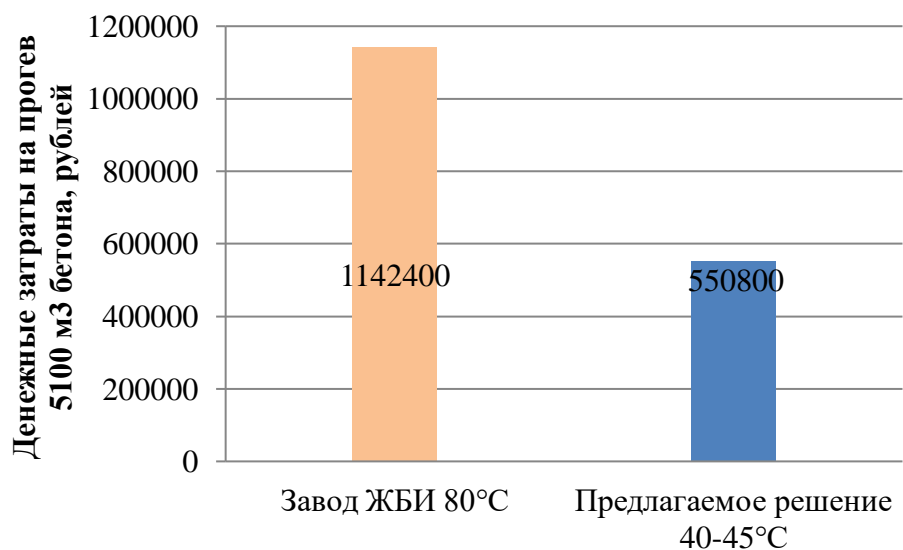


Рисунок 25 – Денежные затраты на прогрев 5100 м<sup>3</sup> бетона, рублей

Разница в сумме составит 591 600 рублей.

Как уже отмечалось выше последним шагом в оптимизации материальных затрат при монолитном способе строительства является внедрение технологии строительства с применением туннельной опалубки. Не секрет, что опалубочные работы составляют до 30-40% стоимости работ по возведению зданий монолитным способом.

Следующим шагом в определении уровня оптимизации является оценка эффективности внедрения технологии туннельной опалубки.

Монтажные работы в целом имеют одинаковые значения, как для панельного домостроения, так и для монолитного типа строительства, хотя в последнее время затраты на монтажные работы монолитного строительства следует увеличивать на 10%. Это связано с тем, что российские подрядчики в основном пользуются крупно щитовой опалубкой, монтаж которой осуществляется с помощью кранов. Как уже отмечалось выше, работы автокрана на строительстве объекта приводят к удорожанию строительства. Сложность монтажных работ заключается в трудоемкости процесса установки. На рисунке 26а представлено изображение монтажа обычной опалубки, на рисунке 26б – туннельной опалубки.



а)



б)

Рисунок 26 – Монтаж опалубки на объекте: а) крупно щитовой опалубки; б) туннельной опалубки

Как видно из рисунка 26б туннельная опалубка может устанавливаться на колесах и просто «подкатываться» в нужное место. Другим достоинством туннельной опалубки является комплексность установки. Это значит, что применение туннельной опалубки предоставляет возможность одновременной заливки пола, стен и плиты перекрытия, что в 4 раза сокращает опалубочные работы по сравнению с традиционной крупнощитовой опалубкой. К этому следует добавить, что в настоящей работе предлагается арендовать туннельную опалубку. Согласно исследованиям [35] аренда строительной опалубки снижает расходы подрядчика до 40%. Пример установки туннельной опалубки для всего этажа приведен на рисунке 27.



Рисунок 27 – Устройство туннельной опалубки

В таблице 7 приведены статьи расходов, по которым применение монолитного типа строительства с рекомендуемыми решениями приводит к уменьшению материальных затрат, выраженное в стоимостном отношении в рублях. Исключение составляет статья расходов «применение туннельной опалубки» выражено в процентах, поскольку стоимость работ по установке опалубки определяется для каждого объекта отдельно.

Таблица 7 – Статьи расходов, по которым применение монолитного типа строительства с рекомендуемыми решениями приводит к уменьшению материальных затрат

№ п/п	Наименование статьи расходов	Стоимость экономии, рублей
1	Рекомендованные составы бетонов	1 305 600
2	Транспортировка бетонной смеси автобетоносмесителями и доставка к месту заливки бетононасосом	1 009 770
3	Технология ухода (экономия на прогреве)	591 600
4	Применение туннельной опалубки	В 4 раза меньше по сравнению с традиционным способом установки опалубки
	Итого	2 906 970

**Выводы по главе 3:** комплексное применение рекомендованных шагов по экономии материальных ресурсов приводит к экономии минимум 2,9 млн. рублей. Дополнительное снижение затрат на строительство монолитного 16-этажного дома средней марки бетона М350 (класс В25) видится в применении туннельной опалубки, при которой экономия средств может достигать более 4 раз.

Дополнительной возможностью экономии денежных средств видится аренда опалубки, которая согласно исследованиям [35] снижает расходы подрядчика до 40%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Монолитное домостроение вытеснило с передовых позиций и сократило объемы сборного домостроения, когда жилые дома возводились из ограниченной номенклатуры железобетонных изделий. Число монолитных объектов в общем количестве строящихся зданий увеличивается с каждым годом. Это явление заметно не только в России, но и по всему миру, в развитых странах Европы и Америки. Мировой опыт строительства говорит о том, что разнообразные архитектурные решения современных зданий устанавливают наиболее высокие требования к конструкциям зданий.

Основой качественного бетонирования при монолитном способе производства служит тщательное перемешивание, быстрая транспортировка бетонной смеси, укладка, качественно уплотнение и квалифицированный уход за бетоном в момент его твердения и набора прочности. В работе акцентировано внимание на то, что строительство по монолитной технологии требует большой внимательности и высокой квалификации строителей, чем очень часто пренебрегают производители работ, что в свою очередь вызывает появление массы повреждений недавно возведенных конструкций, поэтому к качеству выполненных монолитных работ должны применяться высокие стандарты и уделяться большое внимание.

В ходе работы над исследуемым в работе вопросом для оптимизации материальных затрат монолитного строительства жилых многоквартирных домов:

- предложены объемные доли компонентов бетонной смеси, позволяющие производить укладку бетонных смесей бетононасосами как самого производительного варианта формирования;

- для обеспечения безотказной перекачиваемости бетонных смесей доля песка для бетонных смесей под бетононасос должна быть в пределах 0,45-0,55 от общего объема заполнителей;

- для достижения требуемой удобоукладываемости следует применять химические добавки с водоредуцирующим, пластифицирующим эффектом, которые могут обеспечить сохраняемость свойств бетонной смеси до момента укладки ее в опалубку;

- предложена технология ухода за бетоном и термообработка изделий, позволяющая начинать распалубочные работы после 8-12 часов в любое время года;

- предложено использование туннельной опалубки как максимально эффективного решения проблемы сокращения сроков строительства многоэтажных жилых домов.

Затраты на технику при панельном домостроении выше на 139%, а время работы техники больше на 213%. При монолитном домостроении уровень механизации значительно ниже, затраты на заработную плату рабочих не смогут быть выше затрат на технику.

Комплексное применение рекомендованных шагов по экономии материальных ресурсов приводит к экономии минимум 2,9 млн. рублей. Дополнительное снижение затрат на строительство монолитного 16-этажного дома средней марки бетона М350 (класс В25) видится в применении туннельной опалубки, при которой экономия средств может достигать более 4 раз.

Дополнительной возможностью экономии денежных средств видится аренда опалубки, которая согласно исследованиям [35] снижает расходы подрядчика до 40%.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Казусь И.А. Из истории монолитного домостроения// Жилищное строительство. 1978. №4. С.30-31.
- 2 Казусь И.А. Советская архитектура 1920-х годов: организация проектирования. – М.: Прогресс-Традиция, 2009. – 464 с., ил.
- 3 Монолитное строительство: история и перспективы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.nb.by/publikacii-prochee/\\*2350/](https://www.nb.by/publikacii-prochee/*2350/)
- 4 Монолитное домостроение потеряло второе место. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://erzrf.ru/news/monolitnoye-domostroyeniye-poteryalo-vtoroye-mesto-grafiki>
- 5 Баженов Ю.М. Технология бетона. Учебник. – М.: Изд-во АСВ, 2011. – 500 с. ил.
- 6 Войтович М.С., Лагута И.В. Обзор съемной опалубки для монолитного строительства // Региональное развитие: электронный научно-практический журнал. 2018. № 1(25). URL: <https://regrazvitie.ru/obzor-semnoj-opalubki-dlyamonolitnogo-stroitelstva/>.
- 7 CIFA S.p.A. Portable Pumps PC 607. Каталог. [Электронный ресурс] // Описание характеристик стационарного бетононасоса CIFA PC 607/411 серия 7. Каталог. 2015. 2с. Режим доступа: <http://www.cifa.com/portable-pumps/-/13/102>
- 8 Антонец В.Н. Особенности производства строительного-монтажных работ в условиях реконструкции зданий и сооружений : учеб. пособие / В. Н. Антонец. – 2-е изд., стер. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2012. – 91 с.
- 9 СНиП 3.03.01-87 Несущие и ограждающие конструкции
- 10 Корсун В.И., Калмыков Ю.Ю., Корсун А.В. Дмитренко Е.А. Особенности повреждений и опыт ремонта железобетонных оболочек градирен высотой Н=150 м // Вестник ДонНАСА: Башенные сооружения:



материалы, конструкции, технологии. Макеевка: ДонНАСА. 2005. Вып. 2005-8(56). С. 200-203.

11 Ключев К.А., Кузнецов А.А. Влияние дефектов конструкций и ошибок проектирования на этапах возведения монолитного каркасного здания // Строймного, 2017. №1 (6). URL: <http://stroymnogo.com/science/tech/vliyanie-defektov-konstruktsiy-i-osh/>

12 Ozawa K., Maekawa K., Kunishima M., Okamura H. Development of high performance concrete based on the durability design of concrete structures, Proceedings of the Second East-Asia and Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-2), 1, 445-450.

13 Okamura H., Ozawa K., Maekawa K. (1993). High performance concrete. Ghiodo Publishing.

14 Okamura H., Ozawa K. (1995). Mix design of self-compacting concrete. Concrete Library of JSCE, 25, 107-120.

15 Ушерев-Маршак О.В., Латорець К.В. Бетони та сухі будиульні суміші. Тлумачний словник: Навчальний посібник. – Х.: Колорит, 2010. 104 с.

16 СТО 70386662-306-2012 «Применение добавок на основе эфиров поликарбонатов производства концерна BASF при изготовлении вибрационных и самоуплотняющихся бетонов».

17 Серков А.И. Сравнительный анализ способов обеспечения строительной площадки бетоном при возведении монолитного каркаса здания // Региональное развитие: электронный научно-практический журнал. 2017. № 3(21). URL: <https://regrazvitie.ru/sravnitelnyj-analiz-sposobov-obespecheniya-stroitelnoj-ploshhadki-betonom-privozvedenii-monolitnogo-karkasa-zdaniya/>.

18 Николенко Ю.В., Манаева М.М., Сташевская Н.А. О технологии бетонных работ в монолитном домостроении // Вестник РУДН, серия Инженерные исследования, 2014, № 4. С. 84-89.

19 Подмазова С.А. Обеспечение качества бетона монолитных конструкций по прочности, морозостойкости и водонепроницаемости

[Электронный ресурс]. Режим доступа:

[https://www.allbeton.ru/local/tools/show\\_file.php?fid=69759&action=download](https://www.allbeton.ru/local/tools/show_file.php?fid=69759&action=download).

20 Калашников В.И. Через рациональную реологию – в будущее бетонов  
1. Тонкодисперсные реологические матрицы и порошковые бетоны нового поколения // Технология бетонов, № 5, 2007. С. 8-10.

21 Калашников В.И. Через рациональную реологию – в будущее бетонов  
2. Виды реологических матриц в бетонной смеси, стратегия повышения прочности бетона нового поколения // Технология бетонов, № 6, 2007. С. 8-11.

22 Калашников В.И. Через рациональную реологию – в будущее бетонов  
3. От высокопрочных и особовысокопрочных бетонов будущего к суперпластифицированным бетонам общего назначения // Технология бетонов, № 1, 2008. С. 22-26.

23 Калашников В.И. От практики к теории, а от теории к практике, или Ответ на полемические заметки (№2 – 2009г.)// Строительные материалы, март, 2010. С. 54-58

24 Калашников В.И. Расчет составов высокопрочных самоуплотняющихся бетонов// Строительные материалы, октябрь, 2008. С. 4-6.

25 Подгорнов Н.И. Термообработка бетона с использованием солнечной энергии: Научное издание. - М.: АСВ, 2010. - 328 с.

26 Николенко Ю.В., Манаева М.М., Сташевская Н.А. О технологии бетонных работ в монолитном домостроении // Вестник РУДН, серия *Инженерные исследования*, № 4, 2014. С. 84-89.

27 Патент РФ 113287. Устройство для тепловой обработки бетонной смеси в монолитных конструкциях / Свинцов А.П., Свинцова Н.К., Николенко Ю.В., Гладченко Л.К.; Заявл. 20.10.2011. Опубл. 10.02.2012. Бюл. № 4.

28 Головнев С.Г., Байбурин А.Х., Беркович Л.А. Новый способ возведения монолитных зданий в зимнее время // Вестник ЮУрГУ, №15, 2010. С. 56-58.

29 Как строят монолитный дом. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://miha-top.livejournal.com/87431.html>

30 Технология возведения зданий и сооружений: Учеб. для строит. вузов / В.И. Теличенко, О.М. Терентьев, А.А. Лапидус. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Высш. шк., 2004. – 446 с.; ил.

31 В.В. Леденев, В.Г. Однолько Анализ причин аварий зданий и сооружений и пути повышения их надежности // Вестник ТГТУ. Том 18. № 2. 2012. С. 449-457.

32 Джамбулатов Р.Г. Анализ причин обрушения покрытий общественных зданий // Молодой ученый. – 2015. – №10. – С. 197-200.

33 Леденёв, В. В. Аварии, разрушения и повреждения. Причины, последствия и предупреждения: монография / В. В. Леденёв, В. И. Скрылёв. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – 440 с. – 500 экз.

34 <https://mppc.livejournal.com/2370.html>.

35 Экономика строительства : учебник / под общей ред. И.С. Степанова. – 3-е изд., доп. и перераб. – М. : Юрайт-Издат, 2007. – 620 с.

36 Коваленко В.В., Заяц Ю.Л., Пшинько П.О., Коваленко С.В. // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. № 2 (62). 2016 С. 174-189.

37 Тарифы на электроэнергию для населения с 1 января 2018 года. Сколько платить за свет в Москве, Санкт-Петербурге и других крупнейших городах России. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://energovopros.ru/issledovania/2322/2323/34883/>.