

05.23.08  
Н 645

Контрольный  
экземпляр

На правах рукописи

Никоноров Станислав Валерьевич

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА  
ВОЗВЕДЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ**

Специальность 05.23.08 – «Технология и организация строительства»

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Челябинск  
2004

Работа выполнена на кафедре «Технология строительного производства»  
Южно-Уральского государственного университета.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор,  
член-корреспондент РААСН Головнев С.Г.

Научный консультант – кандидат технических наук,  
доцент Байбурин А.Х.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,  
профессор Красновский Б.М.;  
доктор технических наук,  
профессор Одинцов Д.Г.


Ведущая организация – ЗАО «Монолит», г. Челябинск.

Защита состоится 8 апреля 2004 г., в 16 часов, на заседании диссертационного совета ДМ 212.298.08 Южно-Уральского государственного университета по адресу: г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, ауд. 507.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан 5 марта 2004 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор технических наук, профессор

 Трофимов Б.Я.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность работы**

В последние годы в России наметилась тенденция увеличения объемов монолитного бетона в гражданском строительстве, в том числе в зимних условиях. При этом значительное количество монолитных конструкций гражданских зданий возводятся с дефектами, причинами которых по данным Госархстройнадзора в 60–70% случаев является низкий уровень качества бетонных работ. Наиболее частым нарушением является замораживание бетона конструкций, при прочности ниже установленной нормативными документами. Во многом это обуславливается недостатками технологии и отсутствием эффективной методики оценки качества бетонных работ и возведенных монолитных конструкций.

Для контроля и оценки качества строительных работ используют различные методы, в том числе статистические. Эффективность статистических методов подтверждается международным опытом управления качеством (международные стандарты ИСО серии 9000). В настоящее время статистические методы применяются в основном для определения физико-механических характеристик бетона конструкций, а оценка других параметров конструкций сводится к проверке соответствия требованиям норм. Статистическая оценка геометрических параметров может быть выполнена при знании характеристик вероятностных моделей распределения их значений, что является малоизученным вопросом.

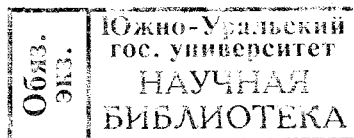
Качество монолитных конструкций определяет конструктивную надежность зданий, и обеспечивает их безопасную эксплуатацию, что отражено в федеральном законе РФ от 27.12.2002 г. «О техническом регулировании». Поэтому методика оценки качества возведенных монолитных конструкций должна включать показатели надежности.

В условиях рыночной экономики качество возведенных конструкций необходимо также оценивать по экономическим показателям.

**Объект исследования** – параметры бетонных работ и возведенных монолитных конструкций гражданских зданий из тяжелого бетона (геометрические параметры, прочность бетона, величина армирования).

**Предмет исследования** – качество возведения монолитных конструкций гражданских зданий.

**Цель диссертационной работы** – разработка интегральной методики оценки качества возведения монолитных конструкций гражданских зданий, обеспечивающей повышение качества и эффективности производства работ.



### **Задачи диссертационной работы:**

- выполнить анализ дефектов бетонных работ, в том числе выполняемых в зимних условиях, и обосновать номенклатуру параметров качества бетонных работ и возведенных монолитных конструкций;
- установить характеристики вероятностных распределений значений прочности бетона и геометрических параметров монолитных конструкций;
- проанализировать допуски на отклонения размеров поперечного сечения монолитных конструкций с учетом достигаемой точности и определить влияние этих допусков на надежность конструкций;
- оценить влияние раннего нагружения бетона, замороженного при прочности ниже критической, на его проектную прочность;
- разработать интегральную методику оценки качества возведения монолитных конструкций гражданских зданий, включающую: статистическую оценку качества бетонных работ и оценку качества конструкций по экономическому показателю с учетом достигаемого уровня их надежности.

Для решения поставленных задач в работе была реализована схема исследований представленная на рис. 1.

### **Научная новизна работы:**

- ✓ определены характеристики вероятностных моделей распределения значений прочности бетона и геометрических параметров возведенных монолитных конструкций гражданских зданий;
- ✓ получены зависимости влияния раннего нагружения бетона, замороженного при прочности ниже критической, на его проектную прочность;
- ✓ предложены формулы для статистической оценки параметров, ограниченных с одной стороны;
- ✓ определено влияние отклонений параметров монолитных конструкций на их показатели надежности;
- ✓ предложен показатель оценки качества возведенной конструкции, позволяющий определить эффективность вложенных средств на ее возведение, с учетом срока ее безопасной эксплуатации.

### **Практическая ценность работы:**

- ◆ «Технологический регламент оценки качества возведения монолитных конструкций гражданских зданий», включающий: номенклатуру контролируемых параметров, методики оценки качества по статистическим показателям, по показателям надежности, по экономическому показателю и методику интегральной оценки качества. Регламент может использоваться в рамках системы качества строительных организаций (по ГОСТ Р ИСО серии 9000) и в целях технического регулирования для обеспечения безопасной эксплуатации зданий и сооружений (ФЗ РФ «О техническом регулировании»);
- ◆ элементы программного обеспечения для реализации в системах автоматизированного мониторинга качества возводимых монолитных конструкций.

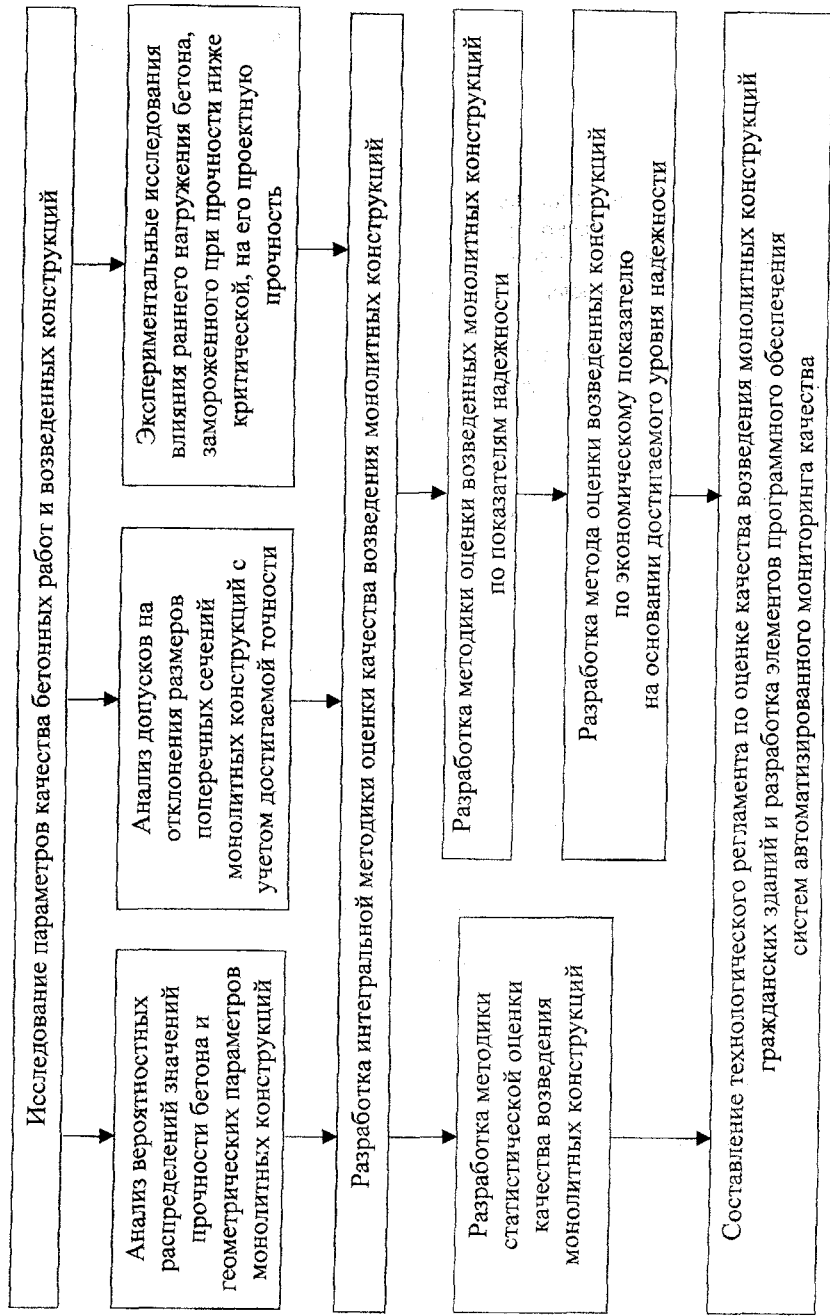


Рис. 1. Общая схема исследований

## **Внедрение результатов**

«Технологический регламент оценки качества возведения монолитных конструкций гражданских зданий» применяется в строительной фирме ЗАО «Монолит» и будет реализован в ряде других строительных организаций.

## **Апробация работы**

Материалы диссертации докладывались на ежегодных научно-технических конференциях в Южно-Уральском государственном университете в 2000 – 2003 гг., на научно-практической конференции «Проблемы повышения надежности и качества строительства» 3 апреля 2003 г. в г. Челябинске.

**Достоверность результатов работы** подтверждается значительным объемом измерений параметров качества возведения монолитных конструкций; использованием современных методов математической обработки результатов контроля качества с применением теории вероятности и математической статистики; сходимостью результатов оценки надежности возведенных монолитных конструкций по различным методикам; выбором адекватных математических моделей зависимостей, полученных при реализации планов эксперимента; достаточным количеством образцов.

## **Публикации**

По теме диссертационной работы опубликованы 9 работ.

## **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка литературы и приложения. Работа содержит 205 страниц текста, в том числе 64 таблицы, 52 рисунка, 138 наименований литературы и 6 приложений.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**В первой главе** дан обзор литературных источников по теме диссертационной работы.

Монолитный бетон имеет многовековую историю и широкую область применения в строительстве. При этом в настоящее время нет эффективной методики оценки качества бетонных работ и возведенных монолитных конструкций, отвечающей современному уровню развития нормативно-правовой и производственной базы строительства.

Анализ методов оценки качества технологических процессов и изготовленной продукции, представленных в работах Авиромы Л.С., Азгальдова Г.Г., Байбурина А.Х., Головнева С.Г., Кожина В.А., Мельчакова А.П., Монфреда Ю.Б., Одинцова Д.Г., Столбова Ю.В., Сытника В.С., Х. Кумэ и др. показал, что существуют следующие методы оценки качества: измерительные, расчетные, регистра-

ционные, органолептические, экспертные, социологические, дифференциальные, комплексные и смешанные.

Оценка качества строительных работ производится: по коэффициенту соответствия параметров нормам и проекту; по экспертным оценкам; по затратам на исправление допущенных дефектов и увеличению эксплуатационных затрат; по показателям надежности; по статистическим показателям и по другим критериям.

Анализируя методы оценки качества строительных работ, можно выделить методику статистической оценки, как удовлетворяющую идеологии международных стандартов ИСО серии 9000. При статистической оценке применяется выборочный контроль, что существенно сокращает затраты по обеспечению качества. Указанный метод предоставляет достоверную информацию, необходимую для регулирования технологических процессов: уровень бездефектности, точность процесса, точность контроля, стабильность по случайным и систематическим погрешностям.

Качество возведенных зданий должно обеспечивать их безопасную эксплуатацию, поэтому несущие конструкции должны соответствовать определенному уровню надежности. Методы расчета надежности строительных конструкций освещены в работах Аугусти Г., Барата А., Болотина В.В., Лужина О.В., Кудзиса А.П., Райзера В.Д., Ржаницына А.Р., Шпете Г. и др. Основными показателями надежности строительной конструкции является вероятность безотказной работы и срок безопасной эксплуатации конструкции. Существующие методики оценки возведенных конструкций по показателям надежности довольно сложны в практическом применении.

Анализ литературных данных о продолжительности эксплуатации железобетонных конструкций показал, что срок эксплуатации конструкции до капитального ремонта равен в среднем 50 годам, а интенсивность износа равна 0,0053.

Для обоснования номенклатуры параметров качества возведения монолитных конструкций были проанализированы работы Альбрехта Р., Бессера Я.Р., Головнева С.Г., Гранану Э.Б., Красновского Б.М., Миронова С.А., Митцела А., Рибички Р., Ройтмана А.Г., Руферта Г., Физделя И.А., Хаютина Ю.Г., Шишкина А.А. и др., в которых рассмотрены дефекты бетонных работ и монолитных конструкций. В диссертации дана характеристика дефектов монолитных конструкций, рассмотрены нарушения технологии бетонных работ и их влияние на качество монолитных конструкций.

Из рассмотренных дефектов одним из самых частых является превышение допускаемых отклонений проектных размеров поперечного сечения монолитных конструкций. Обследования монолитных конструкций показали, что действительные отклонения, как правило, превышают нормативные ( $-3 \dots +6$  мм) в 2–10 раз. В американских нормах этот допуск для колонн, балок, стен и перекрытий равен ( $-6 \dots +12$  мм), а для фундаментов ( $-12 \dots +15$  мм), и даже в эти допуски реальные отклонения, по данным американских специалистов, не укладываются. Ю.Г. Хаютин указывает на то, что существующий допуск на отклонения размеров попереч-

ного сечения является сверхжестким, метрологически необоснованным, и предлагает его расширить.

Значительная доля дефектов монолитных конструкций связана с зимним производством работ, и наиболее частым нарушением является замораживание бетона в раннем возрасте, что приводит к снижению физико-механических характеристик бетона. Кроме этого, в условиях скоростного строительства, часто происходит загрузка монолитных конструкций при прочности бетона ниже установленной в нормативных документах. Вместе с тем в выполненных исследованиях раннего нагружения тяжелого бетона в условиях отрицательных температур, проведенных на кафедре «Технология строительного производства» Южно-Уральского государственного университета, было обнаружено упрочнение бетона, но образцы загружались перед замораживанием.

**Вторая глава** посвящена исследованиям параметров качества бетонных работ и возведенных монолитных конструкций гражданских зданий.

Исследования проводились на девяти объектах (здания от 4-х до 16-ти этажей), возводимых в городе Челябинске: монолитные здания с каркасной несущей системой (1, 2 и 4); монолитные здания со стеновой несущей системой (5 и 6); сборно-монолитные здания с каркасной несущей схемой (7 и 9); здание в металлическом каркасе с монолитными перекрытиями (3); сборное здание с монолитными фундаментами (8).

В первую очередь были определены характеристики вероятностных моделей распределения значений параметров возведения монолитных конструкций (колонны, стены, диафрагмы и перекрытия). В табл. 1 и на рис. 2 и 3 представлены результаты статистического анализа некоторых параметров, контролируемых при возведении монолитных конструкций.

Значения прочности бетона на сжатие и геометрических параметров, ограниченных с двух сторон, имеют нормальные распределения, а значения геометрических параметров при ограничении сверху имеют логарифмически-нормальные распределения.

Исследованиями установлено, что величины отклонений на размер поперечного сечения рассмотренных конструкций не укладываются в установленный СНиП 3.03.01-87 допуск (-3...+6) мм. Исходя из этого, предлагаются новые допуски на отклонения размеров поперечного сечения монолитных конструкций (табл. 2), которые делают требование на отклонения поперечного сечения конструкции выполнимым при существующем уровне технологии бетонных работ.

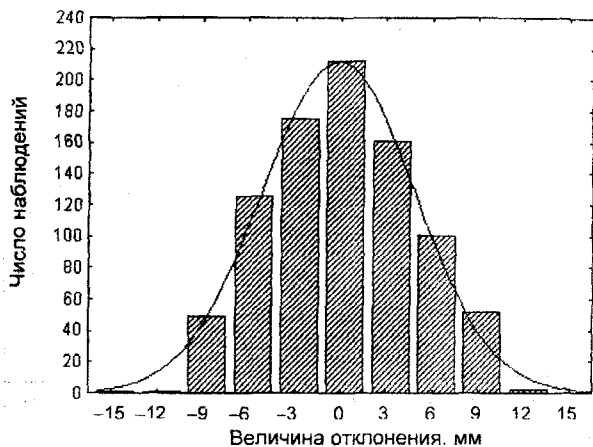


## Результаты статистического анализа значений параметров качества

Контролируемый параметр	Параметры распределения		p
	фактические ( $MX, S$ ) ( $\mu, \sigma$ )	нормативные ( $MX, S$ ) ( $\mu, \sigma$ )	
Параметры с нормальным распределением значений			
Прочность на сжатие бетона класса В15, МПа	(22,0; 2,24)	(19,7; 2,66)	1,00
Прочность на сжатие бетона класса В25, МПа	(33,9; 2,08)	(32,7; 4,41)	1,00
Прочность на сжатие бетона класса В30, МПа	(39,9; 4,01)	(39,3; 5,31)	0,99
Отклонение размеров поперечного сечения колонн, мм	(3,85; 6,14)	(1,5; 2,25)	0,51
Отклонение толщины стен, мм	(9,24; 6,39)	(1,5; 2,25)	0,28
Отклонение толщины перекрытий, мм	(5,60; 6,09)	(1,5; 2,25)	0,45
Отклонение расстояния между стержнями арматуры, мм	(-1,66; 16,6)	(0,0; 5,0)	0,45
Отклонение толщины защитного слоя бетона, мм	(-0,19; 8,88)	(2,5; 3,75)	0,57
Смещение осей колонн от разбивочных осей, мм	(-0,16; 4,84)	(0,0; 5,0)	0,96
Смещение осей стен от разбивочных осей, мм	(0,26; 5,32)	(0,0; 5,0)	0,94
Отклонение высотных отметок перекрытий, мм	(4,88; 8,18)	(0,0; 5,0)	0,70
Параметры с логарифмически-нормальным распределением значений			
Разница отметок двух смежных поверхностей, мм	(1,40; 0,805)	(0,55; 0,334)	0,36
Отклонение стен и колонн от вертикали, мм	(1,89; 0,749)	(1,35; 0,823)	0,86
Отклонение горизонтальных плоскостей, мм	(1,39; 1,085)	(1,50; 0,911)	0,93
Местные неровности бетона стен и колонн, мм	(0,80; 1,235)	(0,81; 0,489)	0,75

Примечания:

1.  $MX$  – среднее значение параметра;  $S$  – стандартное отклонение параметра;  $\mu$  – среднее прологарифмированных значений параметра;  $\sigma$  – стандартное отклонение прологарифмированных значений параметра;  $p$  – доля значений параметра в поле допуска (уровень бездефектности).
2. Нормативные параметры распределения определены из величин допусков на отклонения.



Распределение нормальное

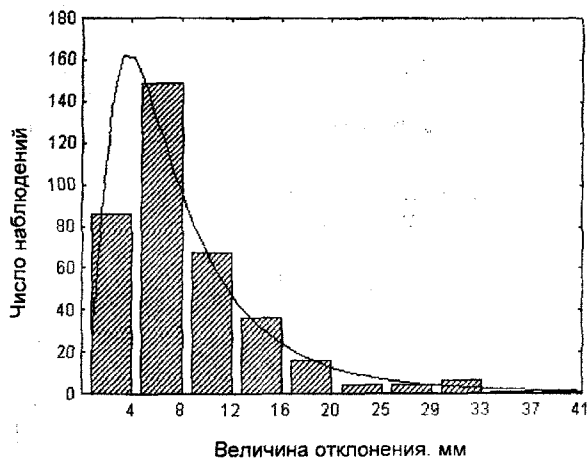
Критерий  
Колмогорова-Смирнова  
 $d = 0,0147, p = 0,05$

Критерий Хи-квадрат  
 $\chi^2 = 9,407, p = 0,0673$

Среднее  $MX = -0,16$  мм,

Стандартное отклонение  
 $S = 4,84$  мм

Рис. 2. Гистограмма и теоретический график плотности распределения значений смещения осей колонн от разбивочных осей



Распределение  
логарифмически-нормальное

Критерий  
Колмогорова-Смирнова  
 $d = 0,02501, p = 0,05$

Критерий Хи-квадрат  
 $\chi^2 = 7,275, p = 0,2001$

Среднее  $\mu = 1,89$  мм,

Стандартное отклонение  
 $\sigma = 0,749$  мм

Рис. 3. Гистограмма и теоретический график плотности распределения значений отклонения стен и колонн от вертикали

## Предлагаемые допуски на отклонения размеров поперечных сечений монолитных конструкций и их влияние на надежность конструкции

Величина размера поперечного сечения конструкции, мм	Величина допуска, мм	Увеличение вероятности отказа, раз
До 250	-4; +12	0,82...1,20
От 250 до 500	-5; +15	0,98...1,24
Свыше 500	-6; +18	0,94...0,98

Указанные в табл. 2 изменения показателя надежности (увеличение вероятности отказа) незначительны (по данным Аугусти Г. и Мельчакова А.П. допускается до 2–10 раз). Таким образом, предлагаемые допуски на размеры поперечных сечений можно рекомендовать для монолитных конструкций гражданских зданий. Расчет по точности сборки конструкций показал: технологический допуск увеличивается на 5–8 %, что необходимо учитывать при расчете функциональных допусков для монтажа сборных конструкций в монолитных и сборно-монолитных зданиях.

На основании проведенных исследований параметров качества бетонных работ и анализа литературных данных было выявлено нарушение технологии зимнего бетонирования – замораживание и нагружение бетона при прочности ниже критической.

Для определения влияния раннего нагружения бетона, замороженного при прочности ниже критической, на его проектную прочность были проведены экспериментальные исследования с вариацией прочности бетона к моменту замораживания, температуры замораживания и интенсивности нагружения.

В исследованиях использовались составы бетонов, применяемые при возведении монолитных конструкций гражданских зданий.

Для исследования влияния температуры замораживания и интенсивности нагружения на прочность бетона изготавливались образцы-кубы размером 100×100×100 мм. Образцы выдерживались в камере нормального хранения до достижения прочности от 11 до 35 % от проектной прочности. Далее образцы гидроизолировались и замораживались до температуры от минус 6 до минус 20 °С. В замороженном состоянии образцы нагружались с интенсивностью 0,2 ... 0,6 от прочности бетона к моменту замораживания. Нагружение производилось в пружинных установках. После нагружения образцы выдерживались в камере низких температур в течение суток и далее в нормальных условиях в течение 28-ми суток.

Для реализации данного эксперимента был использован композиционный трехуровневый план второго порядка. В результате математической обработки результатов получено уравнение регрессии:

$$R_{28} = 93,81 - 0,021 \cdot R_{зам}^2 + 42,5 \cdot \eta^2 + 0,08 \cdot T_{зам}^2 + 1,5 \cdot R_{зам} - 59,94 \cdot \eta + 2,48 \cdot T_{зам} + 0,31 \cdot R_{зам} \cdot \eta - 0,003 \cdot R_{зам} \cdot T_{зам} - 1,25 \cdot \eta \cdot T_{зам}, \quad (1)$$

где  $R_{28}$  – прочность бетона после замораживания, нагружения и 28-ми суточного хранения, в % от проектной прочности бетона  $R_{пр}$ ;  $R_{зам}$  – прочность бетона к моменту замораживания, в % от  $R_{пр}$ ;  $\eta$  – интенсивность нагружения;  $T_{зам}$  – температура замораживания,  $^{\circ}\text{C}$ .

Установлено, что уравнение регрессии адекватно описывает изменение прочности бетона при вариации заданных параметров.

Анализ уравнения регрессии (1) показал, что наибольшее влияние на  $R_{28}$  оказывает прочность бетона к моменту замораживания  $R_{зам}$ . С уменьшением прочности бетона к моменту замораживания снижается прочность бетона в 28-ми суточном возрасте. При температуре замораживания минус  $13^{\circ}\text{C}$  прочность бетона наименьшая. Влияние интенсивности нагружения незначительное, так как с нарастанием прочности бетона разница в интенсивности нагружения образцов падает.

Во второй серии экспериментов было исследовано влияние момента нагружения образцов, замороженных в раннем возрасте, на прочность бетона. Температура замораживания была принята минус  $13^{\circ}\text{C}$ , интенсивность нагружения составила 0,4. Для проведения эксперимента изготавливались призмы размером  $100 \times 100 \times 300$  мм.

На рис. 4 представлены результаты исследований.

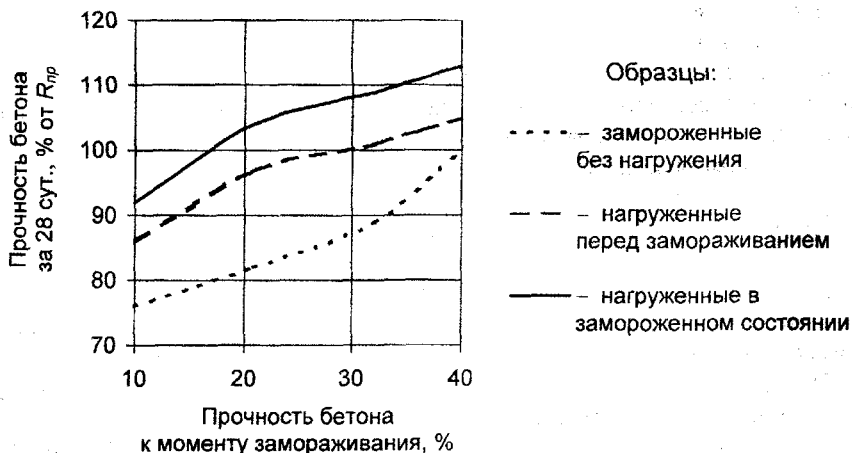


Рис. 4. Прочность бетона за 28 суток нормального хранения после замораживания и нагружения в раннем возрасте

Из анализа результатов эксперимента сформулированы следующие выводы. Нагруженные образцы имели прирост прочности по сравнению с ненагруженными образцами от 10 до 20 %. Объясняется это тем, что при раннем нагру-

жении структура бетона уплотняется, за счет механического модифицирования структуры бетона происходит углубление процессов гидратации, макропоры интенсивней заменяются микропорами.

Образцы, нагруженные в замороженном состоянии, имели прочность на 6–8% больше, чем нагруженные перед замораживанием. С учетом ошибки эксперимента (6%) указанный прирост прочности является незначимым. Образцы, нагруженные в замороженном состоянии, имеют увеличение прочности бетона, как и образцы нагруженные перед замораживанием по сравнению с замороженными образцами без нагружения.

Прочность бетона различных конструкций, из-за влияния целого ряда технологических факторов, имеет значительную вариацию. Поэтому при производстве работ в зимних условиях, даже при средней прочности замораживания бетона равной критической, имеют место дефекты конструкций. Такой подход должен учитываться при назначении параметров технологии зимнего бетонирования.

**Третья глава** посвящена разработке методики статистической оценки качества возведения монолитных конструкций.

В предлагаемой методике используются следующие статистические показатели: уровень бездефектности; точность техпроцесса; точность контрольных измерений; стабильность значений параметров техпроцесса. В табл.3 нами предложены формулы для определения статистических показателей параметров ограниченных с одной стороны.

Таблица 3

Формулы статистической оценки контролируемых параметров

Статистические показатели	Прочность бетона на сжатие	Геометрические параметры ограниченные с одной стороны
Уровень бездефектности $p$	$p = \Phi\left(\frac{R_{cp} - B_{норм}}{S}\right)$	$p = \Phi\left(\frac{\ln b - \mu}{\sigma}\right)$
Точность техпроцесса $K_{mn}$	$K_{mn} = \frac{(R_{cp} - B_{норм})}{t \cdot S}$	$K_{mn} = \frac{(\ln b - \mu)}{t \cdot \sigma}$
Точность контроля $K_{mk}$	$K_{mk} = \frac{\delta X_{мет}}{R_{cp} - B_{норм}}$	$K_{mk} = \frac{\delta X_{мет}}{b - \bar{X}}$

Примечания:

1.  $b$  – граница допуска;  $B_{норм}$  – нормируемое значение прочности бетона, МПа (соответствует значению класса бетона);  $R_{cp}$  и  $\bar{X}$  – выборочное среднее;  $S$  – выборочное стандартное отклонение;  $\mu$  – среднее прологарифмированных значений параметра;  $\sigma$  – стандартное отклонение прологарифмированных значений параметра;  $\Phi$  – функция стандартного нормального закона распределения (функция Лапласа);  $t$  – квантиль распределения Стьюдента;  $\delta X_{мет}$  – предельная погрешность контрольных измерений.

2.  $\mu$  и  $\sigma$  для параметров ограниченных с одной стороны вычисляются по следующим

формулам: 
$$\mu = \ln(\bar{X}) - \frac{1}{2} \sigma^2; \quad \sigma^2 = \ln\left(\frac{S^2}{\bar{X}^2} + 1\right).$$

При статистическом приемочном контроле объективную оценку качества можно дать, как анализируя по значениям отдельных статистических показателей, так и в совокупности значения следующих показателей: уровня бездефектности  $p$ , точность техпроцесса  $K_{мп}$ , точность контроля  $K_{тк}$  и стабильность техпроцесса по случайным и систематическим погрешностям. Для этого предложен комплексный статистический показатель качества ( $KСП$ ). Для определения  $KСП$  был проведен математический анализ статистических показателей. Исходя из полученных результатов анализа, для определения  $KСП$  автором разработана номограмма (рис. 5).

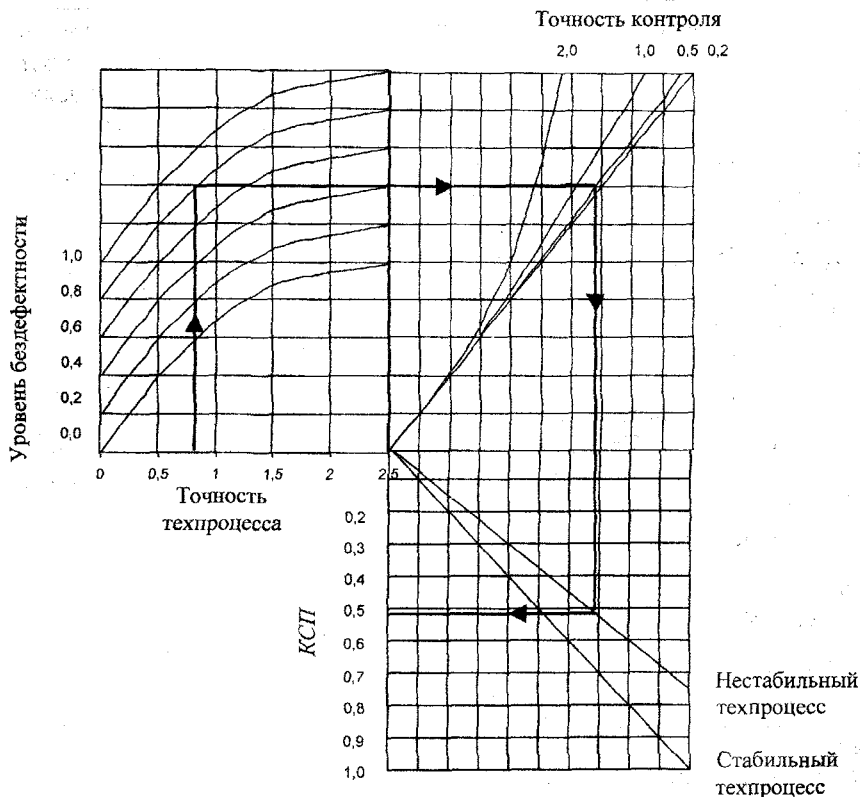


Рис. 5. Номограмма по определению  $KСП$  для параметров, ограниченных с двух сторон

Некоторые результаты оценки качества возведения монолитных конструкций представлены в табл. 4.

## Результаты оценки по статистическим показателям качества

Контролируемый параметр	$K_c$	$p$	$K_{mn}$	$K_{mk}$	$C$	$KСП$
Проектная прочность бетона на сжатие	0,99	0,98	1,94	0,13	0,75	0,92
Прочность бетона на сжатие к моменту распалубки	0,95	0,94	1,18	0,29	0,75	0,90
Отклонение расстояний между рядами и стержнями арматуры	0,71	0,68	0,47	0,10	0,59	0,51
Отклонение толщины защитного слоя бетона	0,67	0,66	0,55	0,13	0,56	0,54
Смещение конструкций от разбивочных осей и отклонения высотных отметок конструкций	0,84	0,75	0,76	0,37	0,46	0,58
Отклонение поперечного размера конструкций	0,48	0,39	0,36	0,22	0,17	0,31
Отклонение конструкций от вертикали и горизонтали	0,91	0,90	0,88	0,26	0,42	0,75
Местные неровности поверхности бетона	0,87	0,83	0,63	0,55	0,67	0,76

Примечания:  $K_c$  – коэффициент соответствия;  $p$  – уровень бездефектности;  $K_{mn}$  – показатель точности техпроцесса;  $K_{mk}$  – показатель точности контроля;  $C$  – доля стабильных техпроцессов;  $KСП$  – комплексный статистический показатель качества.

Анализируя данные табл. 4 можно сделать следующие выводы.

Параметры прочности бетона имеют достаточно высокие показатели качества вследствие имеющей место практики повышения проектного класса бетона строительными организациями и производителями бетонной смеси, особенно в зимних условиях.

Параметры качества арматурных работ характеризуются низкими значениями показателей качества.

Показатели качества по геометрическим параметрам конструкций имеют низкие значения, что обуславливается необоснованно жестким допуском на отклонения размеров поперечных сечений конструкций.

Из данных табл. 4 видно, что чем ниже уровень бездефектности параметра, тем ниже стабильность этих параметров.

**Четвертая глава** посвящена разработке методики оценки качества возведенных монолитных конструкций по показателям надежности. Она позволяет определять влияние отклонений при возведении монолитных конструкций на их уровень надежности.

Для оценки качества возведенной конструкции по достигаемому уровню надежности предложен коэффициент изменения индекса надежности  $K_Z$ :

$$K_Z = \frac{Z_\phi}{Z_{\text{пр}}}, \quad (2)$$

где  $Z_\phi$  – фактическое значение индекса надежности конструкции;  $Z_{\text{пр}}$  – проектное значение индекса надежности конструкции.

Индекс надежности  $Z$  определяется по методу «двух моментов» при детерминируемой нагрузке:

$$Z = \frac{\bar{R} - F}{S_R}, \quad (3)$$

где  $\bar{R}$  – среднее значение прочности конструкции, при временных значениях сопротивлений материалов;  $F$  – нагрузка на конструкцию, в качестве которой рассматривается прочность конструкции, при расчетных значениях сопротивлений материалов;  $S_R$  – стандартное отклонение прочности конструкции.

Стандартное отклонение прочности конструкции

$$S_R = \sqrt{\sum_{i=1}^n (k_i \cdot S_i)^2}, \quad (4)$$

где  $S_i$  – стандартное отклонение  $i$ -го параметра;  $n$  – количество параметров;  $k_i$  – коэффициент влияния  $i$ -го параметра на прочность конструкции,

$$k_i = \frac{\partial R}{\partial x_i} = \frac{\Delta R}{\Delta x_i} = \frac{\bar{R} - R_i}{\bar{x}_i - (\bar{x}_i - S_i)} = \frac{\bar{R} - R_i}{S_i}, \quad (5)$$

где  $R_i$  – прочность конструкции, определяемая с  $i$ -ым параметром, уменьшенным на его стандартное отклонение ( $\bar{x}_i - S_i$ );  $\bar{x}_i$  – среднее значение  $i$ -го параметра.

Исходя из выражений (4) и (5) стандартное отклонение прочности конструкции определяется по следующей формуле:

$$S_R = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\bar{R} - R_i)^2}, \quad (6)$$

Фактическое значение индекса надежности конструкции определялось по средним значениям и стандартным отклонениям параметров возведенной конструкции, полученных в результате контроля качества. Проектное значение индекса надежности конструкции – по средним значениям и стандартным отклонениям параметров конструкции, заложенным в нормах.

Для проверки точности предложенной методики были проведены численные эксперименты в виде статистических испытаний (метод «Монте-Карло»), основанных на генерации случайных, нормально распределенных чисел, которые определяют значения параметров в соответствии с их стандартным отклонением. Затем вычислялись случайные значения прочности конструкции. На их основе находилось среднее значение прочности и ее стандартное отклонение. Индекс на-



дежности и коэффициент изменения индекса надежности определялись по формулам (3) и (2) соответственно. Для выполнения численных экспериментов автором была разработана программа для расчета на ЭВМ.

По данным статистического контроля качества возведения монолитных конструкций проведена оценка изменения индекса надежности (по изложенной выше методике и методике статистических испытаний). Результаты расчетов представлены в табл. 5.

Таблица 5

Оценка возведенных монолитных конструкций по показателям надежности

№	Конструкция	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>b(h)</i>	<i>A<sub>S</sub></i>	<i>a</i>	<i>e<sub>0</sub></i>	<i>K<sub>Z1</sub></i>	<i>K<sub>Z2</sub></i>	<i>T<sub>ф</sub></i>
1	Колонна	B25	A-III	500	1608	40	40	1,004	1,007	51
	Перекрытие	B25	A-III	220	1047	25	-	1,037	1,039	56
2	Колонна	B30	A-III	440	1962	70	40	1,230	1,243	88
	Диафрагма	B25	A-III	250	1538	50	60	1,149	1,138	75
	Перекрытие	B25	A-III	220	901	25	-	0,971	0,970	45
3	Перекрытие	B25	A-III	220	769	25	-	0,962	0,963	44
4	Колонна	B25	A-III	500	904	40	40	1,283	1,254	97
	Перекрытие	B25	A-III	220	1047	25	-	0,992	0,992	49
5	Стена	B15	-	160	-	-	5	1,240	1,193	90
	Перекрытие	B15	Bp-I	160	283	15	-	0,986	0,972	48
6	Стена	B15	-	160	-	-	5	0,975	1,069	46
	Перекрытие	B15	A-III	160	502	15	-	1,006	1,006	51
7	Колонна	B15	A-III	700	3924	70	50	1,114	1,171	69
9	Перекрытие	B25	A-III	220	769	25	-	1,032	1,037	55

Примечания: № – номер здания (номера зданий указаны на с. 8); *B* и *A* – соответственно класс бетона и арматуры; *h* – толщина перекрытия или стены, мм; *b* – поперечный размер колонны, мм; *A<sub>S</sub>* – величина армирования мм<sup>2</sup> (мм<sup>2</sup>/м), *a* – толщина защитного слоя бетона, мм; *e<sub>0</sub>* – эксцентриситет продольной силы, мм; *K<sub>Z1</sub>* и *K<sub>Z2</sub>* – соответственно коэффициент изменения индекса надежности по разработанной автором методике и по методике статистических испытаний; *T<sub>ф</sub>* – фактический срок безопасной эксплуатации, годы.

Результаты расчета изменения индекса надежности по указанным методикам показывают высокую степень корреляции ( $r = 0,997$ ), поэтому предложенная методика может быть применима для оценки надежности возведенных монолитных конструкций гражданских зданий.

Ввиду того, что уровень надежности конструкции определяет ее долговечность, сроком безопасной эксплуатации конструкции является период времени между моментом возведения конструкции и достижением ей предельно-допустимого уровня вероятности отказа.

В диссертационной работе определено, что изменение вероятности отказа конструкции во времени подчиняется закону нормального распределения и зави-

сит от индекса надежности конструкции. Исходя из этого, получено выражение для определения фактического срока безопасной эксплуатации конструкции  $T_\phi$ :

$$T_\phi = T_{np} \frac{K_z - K_z^{no}}{1 - K_z^{no}}, \quad (7)$$

где  $T_{np}$  – проектный срок безопасной эксплуатации конструкции;  $K_z^{no}$  – коэффициент предельно-допустимого снижения проектного индекса надежности конструкции;  $K_z$  – коэффициент изменения индекса надежности конструкции.

Для оценки фактического срока безопасной эксплуатации приняты следующие ограничения: проектный срок безопасной эксплуатации конструкции равен 50 годам; дефекты, допускаемые при возведении монолитных конструкций, не влияют на интенсивность износа конструкции. Исходя из интенсивности износа и проектного срока безопасной эксплуатации железобетонных конструкций предельно-допустимое снижение проектного индекса надежности конструкции равно 0,7. В табл. 5 представлены результаты оценки фактического срока безопасной эксплуатации конструкции.

**Пятая глава** посвящена разработке методики интегральной оценки качества возведения монолитных конструкций гражданских зданий, включающей: статистическую оценку качества бетонных работ и оценку качества возведенных монолитных конструкций по экономическому показателю на основании достигаемого уровня надежности.

Экономическим показателем оценки качества возведения монолитной конструкции принят индекс доходности вложенных средств на возведенную конструкцию *ИД*, который определяется исходя из фактического срока безопасной эксплуатации конструкции  $T_\phi$ :

$$ИД = \frac{1 - (1 + E)^{-T_\phi}}{1 - (1 + E)^{-T_{np}}}, \quad (8)$$

где  $E$  – норма дисконта;  $T_{np}$  – проектный срок безопасной эксплуатации конструкции.

Метод оценки качества возведения монолитной конструкции по индексу доходности вложенных средств на возведенную конструкцию может применен для рыночных механизмов управления качеством.

Результаты оценки качества возведенных конструкций по экономическому показателю представлены в табл. 7 (норма дисконта  $E$  принята равной 0,05).

Интегральную оценку качества *ИОК* предлагается определять по следующей формуле:

$$ИОК = \mu_1 \cdot КСП + \mu_2 \cdot ИД, \quad (9)$$

где *КСП* – комплексный статистический показатель; *ИД* – экономический показатель оценки качества возведенной конструкции;  $\mu_1$  и  $\mu_2$  – коэффициенты весомо-

сти соответствующих показателей, устанавливаемые в зависимости от целей оценки качества.

Результаты оценки качества возведенных монолитных конструкций представлены в табл. 6 (значения коэффициентов весомости условно приняты равными 0,5).

Таблица 6

Результаты оценки качества возведенных монолитных конструкций по зданиям

№ здания	<i>KCP</i>	<i>T<sub>ф</sub></i>	<i>ID</i>	<i>ИОК</i>
1	0,73	51	1,00	0,87
2	0,58	45	0,97	0,78
3	0,70	44	0,97	0,84
4	0,65	49	1,00	0,82
5	0,71	48	0,99	0,85
6	0,57	46	0,98	0,77
7	0,50	69	1,06	0,78
8	0,64	50	1,00	0,82
9	0,72	55	1,02	0,87

Интегральная оценка качества бетонных работ на исследованных зданиях составляет 0,77...0,87. При апробации методики предлагается следующая классификация оценок: менее 0,65 – низкая; 0,65...0,75 – ниже средней; 0,75...0,85 – средняя; 0,85...0,95 – выше средней и более 0,95 – высокая. Указанные интервалы могут быть скорректированы в зависимости от целей контроля и оценки.

Для оценки экономической эффективности описанной методики проведено сравнение затрат с традиционной методикой оценки по коэффициенту соответствия. В результате внедрения предлагаемой методики экономия затрат на контроль качества составляет 20–25%.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. На основании анализа дефектов бетонных работ и возведенных монолитных конструкций обоснована номенклатура параметров, контролируемых при возведении монолитных конструкций гражданских зданий.

2. Проведен анализ вероятностных распределений значений прочности бетона и геометрических параметров при возведении монолитных конструкций. Установлено, что значения параметров по прочности бетона на сжатие и геометрических параметров, ограниченных с двух сторон, имеют нормальные распределения, а значения геометрических параметров, ограниченных с одной стороны, имеют логарифмически-нормальные распределения.

3. Исходя из анализа значений отклонений поперечного размера сечения конструкций, предложены новые допуски на этот параметр. Оценка предложенных допусков по показателю надежности конструкций показала его приемлемость.

4. Получены зависимости влияния раннего нагружения бетона, замороженного при прочности ниже критической, на его проектную прочность. Нагруженные образцы, замороженные при прочности ниже критической, по сравнению с ненагруженными образцами имеют прирост прочности 10–20%.

5. Разработана методика статистической оценки качества возведения монолитных конструкций. В результате оценки определено, что уровень бездефектности по различным параметрам составляет 0,39...0,98. Выявлен низкий уровень бездефектности по отклонению поперечных размеров конструкций – 0,39. Комплексный статистический показатель, который учитывает уровень бездефектности, точность техпроцесса, точность контроля и стабильность техпроцесса, для различных параметров равен 0,31...0,92.

6. Определено влияние отклонений параметров монолитных конструкций на их показатели надежности, и разработана методика оценки качества возведенных монолитных конструкций по показателям надежности: изменению индекса надежности и сроку безопасной эксплуатации возведенной конструкции. Коэффициент изменения индекса надежности составил для различных конструкций 0,97...1,24 (если коэффициент больше 1, то фактическая надежность конструкции выше проектной).

7. Предложен показатель оценки качества возведенной конструкции, позволяющий определить эффективность вложенных средств на ее возведение, с учетом срока ее безопасной эксплуатации.

8. Разработана методика интегральной оценки качества возведения монолитных конструкций гражданских зданий, включающая: статистическую оценку качества бетонных работ и оценку качества возведенных монолитных конструкций по экономическому показателю на основании ее фактического срока безопасной эксплуатации. Уровень качества возведения монолитных конструкций гражданских зданий составляет 0,77...0,87. Интервал оценки 0,75...0,85 принят за средний уровень качества возведения монолитных конструкций при существующем уровне технологии бетонных работ.

9. Разработан «Технологический регламент оценки качества возведения монолитных конструкций гражданских зданий», включающий: номенклатуру контролируемых параметров, методики оценки качества по статистическим показателям, по показателям надежности, по экономическому показателю и методику интегральной оценки качества. Для реализации предложенного регламента в системах автоматизированного мониторинга качества разработаны элементы программного обеспечения.

По теме диссертационной работы опубликовано 9 работ, основные положения изложены в следующих публикациях.

1. Байбурин А.Х., Никоноров С.В. Качество возведения монолитных жилых зданий // Жилищное строительство. – 2002. – №4. – С. 4–6.
2. Никоноров С.В., Байбурин А.Х. Методика статистической оценки прочности бетона монолитных железобетонных конструкций // Строительство и образование: Сборник научных трудов. – Екатеринбург: ГОУ УГТУ – УПИ, 2002. – Вып. 5 – С. 95–96.
3. Байбурин А.Х., Головнев С.Г., Никоноров С.В. Проектирование экспертной системы оценки качества строительных технологий // Известие вузов. Строительство. – 2002. – №7. – С. 52–55.
4. Байбурин А.Х., Никоноров С.В. Оценка качества строительства монолитных зданий // Известие вузов. Строительство. – 2002. – №9. – С. 129–133.
5. Никоноров С.В., Байбурин А.Х. Оценка надежности конструкций монолитных жилых зданий / Предотвращение аварий зданий и сооружений: Межвуз. сб. тр. – Магнитогорск: МГТУ, 2002. – Вып. 2. – С. 67–71.
6. Никоноров С.В., Байбурин А.Х. Определение весомостей параметров качества монолитных ЖБК // Проблемы повышения надежности и качества строительства: Сборник докладов научно-практической конференции. – Челябинск: Изд-во ЗАО РКФ ВВ, 2003. – С. 82–84.