

Министерство образования и науки Российской Федерации
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

ТЕХНОЛОГИЯ БЕТОНА, СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

Методические указания к лабораторным работам

Составители С. В. Медведько, Л. С. Майорова



© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет», 2014

Волгоград
ВолгГАСУ
2014

УДК 691.32(076.5)
ББК 38.331я73
Т384

Технология бетона, строительных изделий и конструкций [Электронный ресурс] : методические указания к лабораторным работам / М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т ; сост. С. В. Медведько, Л. С. Майорова. — Электронные текстовые и графические данные (220 Кбайт). — Волгоград : ВолгГАСУ, 2014. — Учебное электронное издание сетевого распространения. — Систем. требования: PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Adobe Reader 6.0. — Официальный сайт Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/> — Загл. с титул. экрана.

Изложена методика исследования свойств бетонной смеси: факторов, влияющих на удобоукладываемость бетонных смесей и прочность бетона, процесса виброуплотнения, а также эффективности ускорения твердения бетона химическим и тепловым способами; дана методика расчета параметров предварительного натяжения арматуры, способы натяжения и методы контроля.

Для студентов профиля «Производство строительных материалов, изделий и конструкций» всех форм обучения.

УДК 691.32(076.5)
ББК 38.331я73

Лабораторная работа №1
ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА
ВОДОПОТРЕБНОСТЬ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

1.1. Цель работы

Цель настоящей работы - изучить свойства составляющих бетон материалов и определить их влияние на водопотребность бетонных смесей.

1.2. Теоретическая часть

Водопотребностью называется необходимое для бетонной смеси количество воды, обеспечивающее определенную подвижность или жесткость. Водопотребность является одной из качественных характеристик бетонной смеси и зависит от состава и свойств составляющих материалов.

С увеличением водопотребности возрастает количество свободной воды в бетоне, что приводит к снижению его плотности и стойкости. При заданном водоцементном отношении водопотребность определяет расход цемента.

1.3. Содержание работы

Лабораторная работа состоит из нескольких заданий, решаемых расчетным и экспериментальным путем.

Задание 1. Определить показатели основных свойств применяемых материалов и оценить пригодность заполнителя для бетона.

Задание 2. Определить нормальную густоту цементно-песчаных растворов пластичной консистенции на песках различной крупности и сделать заключение о влиянии свойств песка на водопотребность. Изготовить пробные образцы из растворов нормальной консистенции на песках различной крупности и сделать заключение о влиянии свойств песка на прочность растворов.

Задание 3. Подобрать растворы различной пластичной консистенции на песках различной крупности при постоянных водоцементных отношениях. Изготовить пробные образцы и сделать заключение о влиянии свойств песков на расход и прочность раствора.

Задание 4. Определить нормальную густоту растворов с поверхностно-активной добавкой и изготовить контрольные образцы. Установить дополнительную пористость и снижение водопотребности, вызванных добавкой пластификатора, сделать заключение о влиянии добавки на прочность раствора.

Задание 5. Подобрать растворы пластичной консистенции с добавкой пластификатора при постоянных водоцементных отношениях и изготовить контрольные образцы. Определить снижение водопотребности, дополнительную пористость и прочность

растворов, сделать заключение о влиянии добавки поверхностно-активного вещества на свойства смеси и прочность раствора.

Указанные выше задания выполняются всеми студентами работающей в лаборатории подгруппы. Для выполнения работ каждой бригаде из 2-3 студентов выдаются индивидуальные задания.

1.4. Приборы и оборудование

Формы балочек с насадкой, виброплощадка, машина для испытания МИИ-100, встряхивающий столик, малый конус, штангенциркуль.

1.5. Методика выполнения работ

Задание 1

Для исследования в работе применяются три вида песков различной крупности. При оценке свойств песков необходимо определить следующие основные характеристики:

- а) плотность песка ρ_n ;
- б) насыпную плотность песка $\rho_{нп}$;
- в) пустотность П;
- г) зерновой состав песка;
- д) модуль крупности $M_{кр}$;
- е) средний диаметр зерен песка $D_{ср}$;
- ж) удельную поверхность S;
- з) зерновую характеристику Z_x .

Определение свойств песков производится в соответствии с требованиями ГОСТ 8735-75 «Песок для строительных работ. Методы испытания».

В отчете рекомендуется полученные данные привести в сводной таблице.

№№ песка	Плотность	Насыпная плотность	Пустотность	Модуль крупности	Средний диаметр зерен, мм	Удельная поверхность $см^2/г$	Зерновая характеристика
----------	-----------	--------------------	-------------	------------------	---------------------------	-------------------------------	-------------------------

Характеристики свойств цемента приводятся на основании испытаний по курсу «Минеральные вяжущие вещества» или по данным лаборатории.

Задание 2

Двум бригадам, используя различные пески, приготовить цементно-песчаные растворы с консистенцией, определяемой на встряхивающем столике, равной 120 мм. Требуемая подвижность растворов достигается постепенным увеличением воды затворения.

Бригада 1 готовит растворы состава 1:3 по массе, бригада 2 - состава 1:5. Рекомендуется приготовить по 0,8 л каждой растворной смеси, определить плотность

смеси, изготовить образцы и определить предел прочности раствора при сжатии образцов в возрасте 14 суток.

Результаты подбора составов и определения прочности приводятся в сводной ведомости и на графике.

Задание 3

Двум бригадам, используя различные пески, приготовить цементно-песчаные растворы с консистенцией, определяемой на встряхивающем столике, равной 120 мм. Растворы готовятся с постоянными отношениями: $V/C = 0,4$ и $V/C = 0,5$.

Требуемая подвижность раствора достигается постоянным добавлением малых количеств цемента и воды в определенных соотношениях. Рекомендуется приготовить по 0,8 л каждой растворной смеси и определить предел прочности растворов при сжатии образцов в возрасте 14 суток.

Результаты подбора составов и определения прочности приводятся в табличной и графической формах.

Задание 4

Готовят два цементно-песчаных раствора определенной консистенции ($D = 120$ мм): с гидрофобно-пластифицирующей добавкой в количестве 0,2% от веса цемента и без добавки.

Бригада 1 готовит раствор состава 1:3 на среднем песке, бригада 2 на том же песке - раствор состава 1:5. Рекомендуется приготовить по 0,8 л каждой растворной смеси, определить плотность смеси, изготовить образцы и определить их прочность в возрасте 14 суток. Результаты подбора составов и определения прочности приводятся в сводной ведомости и на графике.

Задание 5

Подбирают два раствора пластичной консистенции ($D = 120$ мм): с гидрофобно-пластифицирующей добавкой (0,2% от веса цемента) и без добавки. Бригада 1 готовит составы на песке № 2 при $V/C = 0,4$; бригада 2 - составы на песке № 2 при $V/C = 0,5$.

Результаты определения составов, плотности смеси, прочности растворов приводятся в сводной ведомости и на графике.

1.6. Содержание отчета

Отчет по работам должен включать:

1. Литературный обзор с описанием факторов, определяющих водосодержание бетонных смесей заданной подвижности или жесткости, и способов понижения водопотребности.
2. Цель работы.

- 3.Содержание работы. Приводится характеристика применяемых материалов, описание опытов и методики их проведения, расчеты, требуемые по заданию.
- 4.Полученные данные.
- 5.Анализ полученных результатов экспериментальных исследований.
- 6.Выводы по работе.

1.7. Контрольные вопросы

- 1.Факторы, влияющие на водопотребность бетонной смеси.
- 2.Как определить водопотребность песка?
- 3.Какое влияние оказывает на водопотребность бетонной смеси зерновой состав мелкого заполнителя?
- 4.Перечислите нормируемые ГОСТом характеристики заполнителей бетона.

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА УДОБОУКЛАДЫВАЕМОСТЬ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ И ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА

2.1. Цель работы

Экспериментально установить зависимость удобоукладываемости бетонной смеси и прочности бетона от основных технологических факторов.

2.2. Теоретическая часть

Важнейшей задачей технологии бетона является обеспечение заданной прочности бетона при одновременном соблюдении ряда технологических и экономических условий. Полученная после перемешивания отдозированных в определенном соотношении компонентов (вяжущее, заполнители и затворители) бетонная смесь должна иметь заданную удобоукладываемость, определяемую по ГОСТ 10181-2000. От требуемой подвижности бетонной смеси в основном зависит расход цемента - одного из самых дорогих компонентов смеси. Необходимо добиться соответствия реологических свойств бетонной смеси и технических характеристик оборудования для обеспечения высокой степени уплотнения при формовании. Поэтому очень важно выявить основные факторы, влияющие на удобоукладываемость бетонной смеси.

2.3. Содержание работы

Лабораторная работа состоит из ряда расчетных и экспериментальных задач, составляющих четыре задания. Экспериментальные исследования проводятся на определенных материалах лаборатории кафедры.

Задание 1

Выявить, как влияет на удобоукладываемость (подвижность, жесткость):

- а) изменение расхода воды в бетонной смеси;
- б) изменение расхода цемента;
- в) изменение содержания цементного теста при постоянном водоцементном отношении.

Сделать заключение о влиянии исследованных факторов на удобоукладываемость смеси, определить критические значения предела сохранения постоянства водопотребности.

Задание 2

Установить влияние соотношения между песком и щебнем (П/Щ) на удобоукладываемость смеси с постоянным расходом цементного теста.

Определить оптимальные для данных материалов соотношения П/Щ, коэффициент заполнения пустот и раздвижки зерен щебня раствором (K_n), полученные экспериментальные данные сравнить с расчетными.

Задание 3

Определить влияние количества цемента и воды, а также водоцементного отношения на прочность и интенсивность твердения бетона.

Задание 4

Вывести расчетную формулу прочности бетона на исследованных материалах.

Приведенные задания выполняются всеми студентами. Для выполнения необходимых работ каждой бригаде из двух-трех студентов выдаются индивидуальные задания.

2.4. Приборы и оборудование

Стандартная виброплощадка, формы кубов, стандартный конус, технический вискозиметр, поддон-боек.

2.5. Методика выполнения работ

Задание 1

Для выполнения работ по первому заданию студенты подгруппы разделяются на четыре бригады.

Бригада 1 определяет зависимость удобоукладываемости (жесткость, подвижность) бетонной смеси от количества воды затворения. Готовится смесь состава 1:2:4 по массе, с расходом цемента 300 кг на 1 м^3 бетона при водосодержании 150 л, после определения удобоукладываемости и плотности водосодержание последовательно увеличивается до 175, 200 и 225 л на 1 м^3 .

Бригада 2 определяет удобоукладываемость бетонной смеси с постоянным водосодержанием при различных расходах цемента (300, 350, 400 и 500 кг на 1 м^3 бетона). При определении рекомендуется выполнить исходный замес в соотношении 1:2:4 по массе при В/Ц = 0,66 и расходе цемента 300 кг/ м^3 .

Бригады оценивают удобоукладываемость смесей при различных расходах цементного теста с постоянными водоцементными отношениями ($V/C=0,5$). Рекомендуется исходные составы принять равными 1:2:4 по массе, водосодержание смесей принять равными 150, 175, 200 и 225 л/м³.

Расход материалов на исходные замесы следует определять из расчета выхода 6-7 литров смеси. Зерновой состав крупного заполнителя, состоящего из трех, четырех фракций, принять одинаковым для всех бригад. У каждого состава оценивается удобоукладываемость (жесткость, подвижность), определяется плотность смеси, и из окончательных замесов готовятся три образца в виде кубов с размером ребра 100 мм. Образцы бетона после хранения в нормальных условиях испытываются на сжатие в возрасте 28 суток.

Результаты подбора составов, оценки удобоукладываемости смеси, определение плотности и прочности приводятся в табличной форме. Функциональные зависимости удобоукладываемости от исследованных факторов выражаются в графической форме.

Задание 2

Влияние соотношения между мелкими и крупными заполнителями на удобоукладываемость смеси рекомендуется установить определением подвижности четырех составов бетона с различными П/Щ = 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; расход цемента для замесов состава 1:6 (цемент, заполнитель) по массе при $V/C=0,55$ принять 375кг/м³. Из полученных составов после оценки удобоукладываемости и определения плотности смеси изготовить образцы в виде кубов и определить прочность бетона в возрасте 28 суток.

Данные расчетов и подбора составов бетона заносятся в таблицу и выражаются графически зависимостями: $OK = \Phi (П/Щ)$ и $K_{и} = \Phi (П/Щ)$.

Из графиков определяется оптимальное значение П/Щ и $K_{и}$ для бетона на исследованных материалах. Оптимальное значение $K_{и}$ сравнивается с величиной коэффициента заполнения пустот и раздвижки зерен щебня раствором, рекомендуемой в литературе.

Задание 3

Влияние количества воды и цемента на прочность и интенсивность твердения бетона определяется испытанием образцов бетона в различные сроки твердения (1, 3, 7, 14 и 28 суток).

Рекомендуется приготовить четыре состава бетона с расходами цемента 275 и 450 кг/м³ и водосодержанием, обеспечивающим получение смесей с жесткостью $Ж=30с$ и подвижностью $OK=4$ см.

Расчет материалов на замесы объемом 12л производится методом абсолютных объемов. Требуемая удобоукладываемость смесей достигается постепенным добавлением воды.

Результаты подбора составов и данные испытаний заносятся в таблицу.

По результатам испытаний строится график зависимости относительной прочности бетона со времени твердения и приводится заключение о влиянии расхода цемента и воды на прочность и интенсивность твердения.

Задание 4

Для вывода расчетной формулы прочности бетона строится график зависимости прочности бетона от цементно-водного отношения. Данными для построения служат результаты испытаний образцов бетона в возрасте 28 суток (см. задания 1, 2, 3). По графической зависимости $R_{\sigma} = \Phi(C/V)$ выводятся расчетные формулы:

$$R_{\sigma} = \left(\frac{C}{B} - 0,5 \right) \quad \text{- для бетонов с } C/V < 2,5;$$

$$R_{\sigma} = \left(\frac{C}{B} + 0,5 \right) \quad \text{- для бетонов с } C/V \geq 2,5.$$

2.6. Содержание отчета

По окончании экспериментальных работ каждый студент представляет индивидуальный отчет, составленный по следующему плану:

1. Основные и дополнительные факторы, влияющие на удобоукладываемость бетонной смеси, прочность и экономичность.

2. Цель работы.

3. Содержание работы.

В этом разделе необходимо привести характеристику применяемых материалов, краткое описание опытов и методику их проведения, расчеты, требуемые по заданию.

4. Полученные данные.

5. В этой части отчета приводятся сводные таблицы и графики основных зависимостей, полученные в результате эксперимента.

6. Анализ полученных результатов.

7. Выводы по проведенной работе.

2.7. Контрольные вопросы

1. Как определяется удобоукладываемость бетонной смеси?

2. Что называется водопотребностью бетонной смеси?

3. Как влияют количество и крупность песка на водопотребность бетонной смеси и прочность бетона?

4. Как влияют на удобоукладываемость бетонной смеси форма и размер зерен крупного заполнителя?

5. При каком коэффициенте раздвижки зерен заполнителя используется так называемая контактная прочность заполнителя?

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВИБРОУПЛОТНЕНИЯ БЕТОННОЙ СМЕСИ

3.1. Цель работы

Исследовать влияние режима виброобработки на механическую прочность бетона.

3.2. Теоретическая часть

В процессе виброуплотнения бетонной смеси сообщаются частые механические колебания, в результате чего связи между отдельными частицами нарушаются, силы трения и сцепления ослабевают. Вследствие явления тиксотропии бетонная смесь приобретает свойства тяжелой жидкости и под влиянием сил тяжести расплывается, заполняя форму, самоуплотняется, создается более плотная структура по сравнению с начальной.

Уплотнение смеси вибрированием по сравнению с обычной укладкой имеет следующие преимущества:

- формирование более плотной структуры и соответственно повышение прочности бетона;
- снижение расхода цемента за счет применения малоподвижных и жестких смесей;
- повышение стойкости бетона;
- возможность механизации и автоматизации процесса формирования изделий.

Качество виброуплотнения бетонной смеси зависит от длительности вибрационного воздействия и основных параметров вынужденных колебаний: амплитуды A и частоты f .

Наиболее действенным критерием эффективности вибрационной техники является показатель интенсивности вибрации I , характеризующий затраты энергии на колебательные движения частиц.

Интенсивность вибрирования можно определить как произведение амплитудного значения скорости колебаний на их ускорение:

$$I = A \omega A \omega^2 = 8\pi^3 A^2 f^3$$

где A - амплитуда колебаний, см;

ω - угловая скорость, рад/с;

f - частота колебаний, Гц (колебаний/с).

Для относительной оценки влияния степени интенсивности на эффект вибрирования и для сопоставления величин I при подсчете опускают постоянную величину $8\pi^3$, т.е. подсчитывают I по формуле:

$$I = A^2 f^3, \text{ см}^2/\text{с}^3$$

Оптимальным временем приложения вибрационных воздействий является период, когда в результате начальных процессов формирования структуры бетонная смесь начинает заметно повышать свою первоначальную вязкость. При поточном производстве осуществить выдержку бетонной смеси до ее укладки в форму практически невозможно. Поэтому рекомендуется во всех случаях, где это технически возможно, применять повторное вибрирование бетонной смеси.

3.3. Содержание работы

Лабораторная работа состоит из ряда задач, решаемых расчетным путем и экспериментальным.

1. Рассчитать значение интенсивности вибрирования по заданным величинам амплитуд колебаний.

2. Исследовать влияние интенсивности колебаний на длительность виброуплотнения бетонной смеси.

3. Исследовать влияние режима виброобработки на механическую прочность бетона.

3.4. Оборудование и инструменты

Лабораторная виброплощадка, формы, поддон-боек, конус, мерные цилиндры, весы, линейки масштабные, секундомер.

3.5. Методика проведения экспериментов и обработка результатов

Исследование интенсивности колебаний производится на лабораторной виброплощадке с постоянной частотой колебаний $n = 3000$ колебаний/мин.

Влияние интенсивности колебаний на длительность виброуплотнения рекомендуется определять для бетонных смесей состава 1:2:4 (цемент : песок : щебень, по массе) при $V/C = 0,35; 0,4; 0,45; 0,5$.

Расчет расхода материалов для исходного замеса (состав при $V/C = 0,35$) определяется из условия получения 7-8 литров бетонной смеси. Изменение удобоукладываемости последующих составов достигается путем добавления воды к исходному составу.

Время виброуплотнения (жесткость) бетонной смеси определяется:

- на приборе для определения жесткости смеси по ГОСТ 10181.1-81;
- упрощенным методом Скрамтаева Б.Г.;
- техническим вискозиметром.

Результаты расчетов и определений времени вибрирования приводятся в сводной ведомости и в графической форме. На основании анализа полученных данных делается вывод о взаимосвязи длительности виброобработки и водосодержания бетонной смеси при данной интенсивности колебаний.

Бетонную смесь постоянного состава с ОК=бсм подвергают виброобработке по разным режимам:

- 1) эталон - одноразовая виброобработка сразу после укладки бетонной смеси в форму;
- 2) 4-5-кратное вибрирование в течение 30с с интервалом 15 мин;
- 3) повторное вибрирование в течение 30с через 1,5 ч;
- 4) повторное виброуплотнение в течение 30с через 2-2,5 ч.

Образцы испытываются на осевое сжатие через 14 сут. нормального хранения. Полученные результаты сравниваются со значениями эталона и делается вывод о влиянии повторного вибрирования на механическую прочность бетона.

3.6. Содержание отчета

Отчет по работе должен включать:

1. Теоретическую часть (литературный обзор).
2. Расчеты и описание опытов.
3. Выводы.

В отчете приводится цель работы, устанавливается связь планируемого исследования с задачей повышения эффективности сборного железобетона, определяются преимущества и недостатки вибрационного способа формирования изделий, приводятся характеристики основных методов уплотнения бетонных смесей и дается их сравнительная оценка. Затем приводятся методика выполнения работы, полученные экспериментальные данные, их анализ и формулируются выводы.

3.7. Контрольные вопросы

1. В чем состоит основное действие вибрирования на бетон?
2. Основные параметры виброобработки.
3. Длительность виброобработки.
4. Как объяснить эффект увеличения конечной прочности бетона после повторного вибрирования?
5. Какие способы уплотнения бетонной смеси используются при формировании железобетонных конструкций?

Лабораторная работа № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ УСКОРЕННОГО ТВЕРДЕНИЯ БЕТОНА

4.1. Цель работы

Исследовать эффективность ускорения твердения бетона химическим и тепловым способами.

4.2. Теоретическая часть

Твердение бетона без тепловой обработки в производстве сборного железобетона происходит в основном при изготовлении изделий, не характерных для данной технологической схемы. Скорость нарастания прочности бетона при прочих неизменных условиях зависит от темпа твердения цемента и цементно-водного отношения. Так, при нормальном хранении в 3-х суточном возрасте бетоны на чисто клинкерных высокопрочных цементах при $C/W \geq 2$ достигают 50% R_{28} . Для достижения бетоном проектной прочности при обычных температурах твердения следует укрывать открытые поверхности изделий и систематически поливать водой через 10-12 ч после формования в течение 7 суток.

Цель ускоренного твердения бетона заключается в получении максимально возможной прочности в кратчайшие сроки при высоком качестве. Эффективность ускоренного твердения бетона выражается в компактности технологической схемы производства, в уменьшении количества дорогостоящих металлоемких форм, в повышении производительности предприятия в целом.

Способы ускорения твердения бетона:

- технологические, заключающиеся в использовании быстротвердеющих цементов, активизации цементного теста, применении жестких смесей при надлежащем уплотнении;
- химические, предусматривающие введение различных добавок-ускорителей;
- тепловые, использующие различные методы разогрева как бетонной смеси, так и отформованных изделий.

4.3. Содержание работы

Лабораторная работа состоит из двух частей. В первой исследуются методы ускорения твердения бетона при обычной температуре. Во второй части исследуется эффективность режима тепловлажностной обработки бетона.

4.4. Оборудование и инструменты

Лабораторная виброплощадка, форма, поддон-боек, конус, мерные цилиндры, камеры, пресс.

4.5. Методика проведения экспериментов и обработка результатов

Образцы-кубы готовятся из равноподвижной бетонной смеси состава 1:2:4. По первой части работы готовят одну серию образцов-эталонов (без добавок) и две с добавками-ускорителями твердения (CaCl_2 , бишофит). После формования образцы хранят в нормальных условиях. Испытания образцов на прочность при сжатии рекомендуется проводить в возрасте 1, 7 и 28 суток.

Во второй части работы образцы-кубы из бетонной смеси того же состава подвергают тепловой обработке по заданному режиму, испытания рекомендуется проводить через 2 ч, 10 ч после ТВО и 28-суточном возрасте.

По полученным результатам дается оценка эффективности различных методов ускорения твердения бетона.

4.6. Содержание отчета

Отчет по работе должен включать:

- 1) Теоретическую часть (литературный обзор).
- 2) Расчеты и описание опытов.
- 3) Выводы.

4.7. Контрольные вопросы

- 1) Цель и способы ускоренного твердения бетона.
- 2) Основные виды тепловой обработки.
- 3) Влияние минералогического состава цемента на эффективность пропаривания.
- 4) Коэффициент эффективности пропаривания цементов.
- 5) Как влияют на режим ТВО добавки ПАВ?

Лабораторная работа № 5

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ НАТЯЖЕНИЕ АРМАТУРЫ И КОНТРОЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ В АРМАТУРЕ

5.1. Цель работы

Ознакомление с расчетами параметров и способами натяжения арматуры и изучение методов контроля величины напряжения в арматуре.

5.2. Теоретическая часть

Обычный железобетон в несущих конструкциях, испытывающих растягивающие напряжения, обладает существенным недостатком - малой трещиностойкостью.

Этот недостаток в определенной мере можно устранить применением предварительного напряжения в железобетонных элементах, за счет которого в растянутой зоне сечения конструкции до загрузки ее эксплуатационными нагрузками создаются сжимающие напряжения.

В целом предварительное напряжение железобетонных конструкций позволяет:

- уменьшить расход арматуры за счет применения высокопрочных арматурных сталей;
- увеличить сопротивление конструкций образованию трещин в бетоне;
- повысить жесткость и выносливость конструкций;
- уменьшить расход бетона и снизить массу конструкций.

В настоящее время применяются различные способы натяжения арматуры и обжатия бетона, осуществляемые в различные периоды технологического процесса изготовления конструкций и изделий.

Натяжение арматуры можно производить до и после бетонирования (на упоры и на затвердевший бетон), а в отдельных случаях оно осуществляется в процессе уплотнения бетонной смеси и твердения бетона.

Для натяжения арматуры применяют следующие способы: механический, электротермический, электротермомеханический. Возможно также применение расширяющегося цемента для изготовления самонапряженного железобетона.

Напряжения, передаваемые с арматуры на бетон, могут создавать в конструкциях одноосное (балки, плиты, фермы), двухосное (плиты, опертые по контуру) и объемное (напорные трубы) обжатия. Величина напряжения в арматуре не должна выходить за пределы ее упругих деформаций. Обычно она составляет 60-90% от условного предела текучести стали данной марки и принимается с учетом вида арматуры (стержневая, проволочная, прядевая), условий изготовления и эксплуатации конструкций.

В предварительно напряженных изделиях при механическом натяжении арматуры величина контролируемого напряжения не должна отличаться от заданной по проекту больше чем на -5% - +10%. При электротермическом натяжении арматуры предельное отклонение от заданного зависит от длины изделия и регламентируется ГОСТ 8829-85.

Контроль натяжения арматуры осуществляется в процессе натяжения следующими методами:

- по показанию манометра - при натяжении арматуры гидравлическими домкратами;
- по удлинению арматуры - при натяжении гидравлическими домкратами или грузовыми устройствами;
- по массе груза - при натяжении арматуры грузовыми устройствами.

Контроль натяжения арматуры в натянутом состоянии осуществляется методами, основанными на зависимости между:

- натяжением арматуры и ее сопротивлением поперечному смещению (механическими или электромеханическими приборами - ПРД, ДП, ПиН и др);

- натяжением арматуры и частотой ее собственных поперечных колебаний (приборами частотного типа - ИПН, ИНА и др).

5.3. Содержание работы

Работа состоит из 3-х расчетно-экспериментальных заданий.

Задание 1.

Рассчитать и осуществить механическое натяжение пакета высокопрочной проволоки.

Задание 2.

Рассчитать и осуществить механическое натяжение стержневой арматуры.

Задание 3.

Рассчитать и осуществить электротермическое натяжение стержневой арматуры.

5.4. Оборудование для натяжения арматуры

Натяжение стержневой, проволочной и канатной арматуры механическим способом рекомендуется осуществить гидравлическими домкратами и грузовыми устройствами с системой блоков и рычагов. При электротермическом способе натяжения арматуры нагрев ее осуществляется на полуавтоматической нагревательной установке УНУ-1, СМЖ-129.

5.5. Методика проведения эксперимента и обработка результатов

Натяжение арматуры проводится этапами, составляющими по 10% условного предела ее текучести σ_{02} :

- для стержневой арматуры в интервале от 30-40 до 80% σ_{02} ;
- для высокопрочной проволоки от 20-30 до 70% σ_{02} .

Расчетом для каждого этапа определяются:

- теоретическое значение удлинения арматуры (Δl_p);
- величина усилия N и показание манометра домкрата P_m при механическом натяжении арматуры;
- температура нагрева, мощность трансформатора и расход электроэнергии при электротермическом способе натяжения (t_p , $P_{тр}$, W).

В процессе натяжения на каждом этапе делаются измерения.

При механическом способе измеряются фактическое удлинение арматуры (концевое Δl_{ϕ}) при расчетном показании манометра домкрата P_m , соответствующем величине теоретически рассчитанного удлинения (Δl_p); величина напряжений в натянутой арматуре по показаниям контролирующего прибора ($\sigma \alpha^{\phi}$).

При электротермическом способе измеряются: фактическое удлинение арматуры (концевое Δl_{ϕ}); температура T_{ϕ} и продолжительность нагрева τ .

5.6. Определение теоретических значений удлинения арматуры

При напряжении в арматуре, равном или меньшем 70% условного предела текучести, теоретическое удлинение, см, рассчитывается по формуле

$$\Delta l = \frac{\sigma_{SP} l_S}{E_S} \quad (1)$$

При напряжении в арматуре, большем 70% условного предела текучести, теоретическое удлинение, см, рассчитывается по формуле

$$\Delta l = \left[\frac{\sigma_{SP}}{E_S} + 0.005 \left(\frac{\sigma_{SP}}{\sigma_{02}} - 0,7 \right) \right] l_S \quad (2)$$

В формулах

$$\sigma_{SP} = \sigma_{0,2} \alpha \quad (3)$$

где σ_{SP} - заданное напряжение в арматуре, МПа (кгс/см²);

σ_{02} - условный предел текучести арматуры, МПа (кгс/см²);

E_S - начальный модуль упругости арматуры, МПа (кгс/см²);

l_S - начальная длина арматуры, см;

α - заданная величина натяжения, %.

5.7. Определение величины натяжения арматуры и показаний манометра домкрата при механическом натяжении арматуры

Усилие натяжения определяется по формуле:

$$N = \sigma_{SP} A_{SP} \cdot n, \text{ Н (кгс)} \quad (4)$$

Показания манометра домкрата определяются по формуле

$$P_M = \frac{N}{\eta} F_n, \text{ Н (кгс)}, \quad (5)$$

где σ_{SP} - заданное напряжение в арматуре, определяемое по формуле (3);

A_{SP} - площадь поперечного сечения арматуры, см²;

n - количество одновременно натягиваемых стержней (проволок);

η - средний коэффициент полезного действия домкрата, равный 0,95-0,97;

F_n - площадь поршня домкрата.

5.8. Определение необходимой температуры нагрева, мощности трансформатора и электроэнергии, расходуемой на нагрев стержней

Удлинение арматуры в см при ее нагреве до рекомендуемой температуры определяется по формуле

$$\Delta l_p = \alpha l_k (t_p - t_o), \quad (6)$$

где t_p - рекомендуемая температура нагрева, °C ;

t_o - температура окружающей среды, °C ;

l_k - расстояние между токопроводящими контактами (длина нагреваемого участка арматуры), см;

α - коэффициент линейного расширения стали.

Теоретическая величина удлинения арматуры при заданной величине напряжения в ней определяется по формулам (1) и (2). Для укладки в упоры арматурные стержни должны быть удлинены нагревом на величину несколько большую, чем было определено расчетом.

Дополнительное удлинение Δl_t , рекомендуется принимать равным от 2 до 4 мм. С учетом этого температура нагрева стержней, °C, рассчитывается по формуле

$$t_e = \frac{\Delta l_p + \Delta l_t}{\alpha l_k} + t_o \quad (7)$$

Требуемая мощность трансформаторов в В*А дм нагрева стержневой арматуры определяется по формуле

$$P_{TP} = 0,467nG \frac{\Delta l_p + \Delta l_t}{\tau} \sqrt{PB_{II-K}}, \quad (8)$$

где n - количество одновременно нагреваемых стержней;

G - удельная масса стержней, кг;

τ - время нагрева арматуры, ч;

- продолжительность включения трансформатора, %.

Количество электроэнергии, Дж*ч, расходуемое на нагрев арматуры, обеспечивающее заданное удлинение, определяется по формуле

$$W = 0,2nG(\Delta l_p + l_k) \sqrt{PB_{II-K}} \quad (9)$$

Контроль величины напряжений в арматуре при механическом натяжении стержней и проволоки производится по показанию манометра домкрата и по их фактическому конечному удлинению на каждом этапе натяжения согласно формуле

$$\sigma = \frac{\Delta l_\phi E}{l}, \text{ МПа (кгс/см}^2\text{)} \quad (10)$$

Для этих целей используются также соответствующие механические и электромеханические приборы, применяемые в работе. При электротермическом способе натяжения контролируется температура нагрева стержней, обеспечивающая их удлинение, заданное расчетом.

Полученные расчетом величины и опытные данные должны быть представлены в отчете. Выводы должны быть сделаны на основе анализа данных, по заданным этапам натяжения. В выводах необходимо провести сравнительную оценку опытных данных, полученных на основании различных методов контроля параметров натяжения арматуры с расчетными величинами.

5.8. Содержание отчета

Отчет по работе должен включать:

- 1) Теоретическую часть (литературный обзор).
- 2) Расчеты и описание опытов.
- 3) Выводы.

В оформленной работе должны быть приведены эскизы установок для натяжения арматуры, их технические характеристики, типы анкерных устройств, приборы, применяемые для контроля величины натяжения арматуры. Полученные расчетные и экспериментальные данные по каждому заданию должны быть представлены в виде таблиц. Необходимые справочные величины приведены в приложении.

5.9. Контрольные вопросы

1. Основные способы натяжения арматуры при изготовлении предварительно напряженных конструкций.
2. Допустимые предельные отклонения предварительного напряжения от заданного.
3. Рекомендуемые и максимально допустимые температуры стержневой и проволочной арматуры.
4. Как влияет время нагрева на механические характеристики стали?
5. Методы контроля натяжения арматуры.

Список литературы

1. Технология бетона, строительных изделий и конструкций, учеб. для вузов по специальности "Пр-во строит. материалов, изделий и конструкций" М.: АСВ 2004
2. Баженов Ю.М. Технология бетона, Учеб. для вузов по строит. спец. М.: АСВ 2005
3. Руководство по технологии изготовления предварительно напряженных железобетонных конструкций. М., 1975.
4. Справочник по производству сборных железобетонных изделий /Под ред. К.В. Михайлова. М. : Стройиздат, 1989.
5. Справочник по технологии сборного железобетона/ Под ред. Б.В. Стефанова Киев: Вища шк., 1978.
6. Краткий справочник инженера-технолога по производству железобетона. Киев: Будівельник, 1989.

Коэффициент линейного расширения, $\alpha \cdot 10^{-6}$, °С

Пределы нагревания, °С	Проволока		Сталь горячекатаная, период. профиля, марок	
	крутл. углерод, холоднотянут.	холоднотянут, период. профиля	Класс А-IV 30ХГ2Ц	Класс А-III 25 Г2С и 35 НС
20-100	11,7	11,1	12	11,4
20-200	11,7	12,3	12,6	12,2
20-300	12,1	13	13,2	12,7
20-400	12,7	13,8	13,8	13,2

Таблица 2

Арматурная сталь			Усл. предел текучести, кгс/см ² , не менее	Времен. сопротив. разрыву, кгс/см ²	Относит. удлинен. после разрыва, %	Модуль упругости, кгс/см ²
Вид	Класс	Диаметр, мм				
Высокопрочная проволока гладкая	В-II	3	15200	19000	4	2,0 · 10 ⁶
		4	14400	18000	4	2,0 · 10 ⁶
		5	13600	17000	4	2,0 · 10 ⁶
		6	12800	16000	5	2,0 · 10 ⁶
		7	12000	15000	6	2,0 · 10 ⁶
		8	1120	14000	6	2,0 · 10 ⁶
Периодического профиля	В _p -II	3	14400	18000	4	2,0 · 10 ⁶
		4	13600	17000	4	2,0 · 10 ⁶
		5	1280	16000	4	2,0 · 10 ⁶
		6	12000	15000	5	2,0 · 10 ⁶
		7	11200	14000	6	2,0 · 10 ⁶
		8	10400	13000	6	2,0 · 10 ⁶
Горячекатаная Периодич. профиля термич. упроч. периодич. профиля	А-IV	10-32	6000	9000	6	2,0 · 10 ⁶
	АТ-V	10-22	8000	10500	7	1,9 · 10 ⁶
	АТ-IV	10-25	6000	9000	8	1,9 · 10 ⁶
	АТ-V	10-25	8000	10000	7	1,9 · 10 ⁶
	АТ-VI	10-25		12000	6	1,9 · 10 ⁶
	А-IIIв	10-40	5500	6000	6	2,0 · 10 ⁶

Таблица 3

Площади поперечных сечений и масса круглых стержней

Диаметр, мм	Площадь поперечного сечения, см ² , при числе стержней				Масса 1 м, кг
	1	2	3	4	
3	0,071	0,14	0,21	0,28	0,55
4	0,126	0,25	0,38	0,5	0,98
5	0,196	0,39	0,59	0,79	1,54
6	0,283	0,57	0,85	1,13	2,22
7	0,385	0,77	1,15	1,54	3,02
8	0,503	1,01	1,51	2,01	3,95
9	0,636	1,27	1,91	2,54	4,99
10	0,785	1,57	2,36	3,14	6,17
12	1,131	2,26	3,39	4,52	8,89
14	1,54	3,08	4,61	6,15	12,1
18	2,54	5,09	7,63	10,17	20

План выпуска учеб.-метод. документ. 2014 г., поз. 41

Публикуется в авторской редакции

Подписано в свет 24.03.2014.

Гарнитура «Таймс». Уч.-изд. л. 0,9. Объем данных 220 Кбайт.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1
<http://www.vgasu.ru>, info@vgasu.ru