

В.С. Плевков А.И. Мальганов И.В. Балдин

Лабораторные работы по курсу

«ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ И КАМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ»



В.С. Плевков, А.И. Мальганов, И.В. Балдин

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО КУРСУ
«ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ И КАМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ»

Под редакцией В.С. Плевкова

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов РФ по образованию в области строительства
в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлению 270100 «Строительство»*



Издательство АСВ
Москва
2010

УДК 624.012.1/.45(076.5)

П 38

Рецензенты:

- зав. кафедрой железобетонных и каменных конструкций, к. т. н., профессор *Н.Г. Головин*
(Московский государственный строительный университет);
зав. кафедрой железобетонных и каменных конструкций, д. т. н., профессор *В.М. Митасов*
(Новосибирский государственный строительный университет)

Плевков В.С., Мальганов А.И., Балдин И.В.

Лабораторные работы по курсу «Железобетонные и каменные конструкции»: Учебное пособие.
Под ред. В.С. Плевкова. – М.: Издательство АСВ, 2008. – 189 с.

ISBN 978-5-93093-724-4

Пособие содержит 11 лабораторных работ, посвященных испытанию железобетонных и каменных элементов при различных видах напряженного состояния, исследованию прочностных и деформативных свойств материалов строительных конструкций (арматуры, бетона, кирпича, раствора). Представлены методы, устройства и приборы для испытания натуральных железобетонных и каменных конструкций; приведены примеры характерных схем разрушения испытанных конструкций; даны рекомендации по использованию программ по обработке результатов, полученных при выполнении лабораторных работ, а также по расчету испытанных железобетонных и каменных конструкций.

Пособие предназначено для студентов вузов и техникумов строительных специальностей, а также бакалавров, магистров, аспирантов, работников лабораторий заводов строительной индустрии.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета ТГАСУ.

© Плевков В.С., Мальганов А.И.,
Балдин И.В., 2010
© Издательство АСВ, 2010

ISBN 978-5-93093-724-4

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. ИСПЫТАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ НА ИЗГИБ С РАЗРУШЕНИЕМ ПО НОРМАЛЬНОМУ СЕЧЕНИЮ	9
1.1. Цель работы	10
1.2. Задачи работы	10
1.3. Конструкция балки	10
1.4. Физико-механические характеристики бетона и арматуры	11
1.5. Испытание балки	11
1.6. Расчет балки	14
1.6.1. Расчет трещиностойкости балки	14
1.6.2. Определение прогибов	14
1.6.3. Определение ширины раскрытия трещин	15
1.6.4. Определение разрушающей нагрузки	15
1.7. Программа «Лабораторная работа 1»	16
1.8. Программа «ПанРиг»	18
1.9. Сравнение результатов эксперимента с данными расчета	19
1.10. Вопросы для самопроверки при подготовке к защите лабораторной работы	19
2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. ИСПЫТАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ НА ИЗГИБ С РАЗРУШЕНИЕМ ПО НАКЛОННОМУ СЕЧЕНИЮ	21
2.1. Цель работы	22
2.2. Задачи работы	22
2.3. Конструкция балки	22
2.4. Испытание балки	23
2.5. Расчет балки	25
2.5.1. Определение главных растягивающих и сжимающих напряжений в бетоне	25
2.5.2. Определение нагрузки, вызывающей появление наклонных трещин	25
2.5.3. Определение ширины раскрытия наклонных трещин	26
2.5.4. Определение ожидаемой разрушающей нагрузки	26
2.6. Программа «Прочность»	26
2.7. Сравнение результатов расчета с опытными данными	28
2.8. Программа «Лабораторная работа 2»	29
2.9. Вопросы для самопроверки при подготовке к защите лабораторной работы	31
3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. ИСПЫТАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ЭЛЕМЕНТА НА ВНЕЦЕНТРЕННОЕ СЖАТИЕ	33

3.1. Цель работы	34
3.2. Задачи работы	34
3.3. Конструкция элемента	34
3.4. Испытание железобетонного элемента	35
3.5. Расчет внецентренно сжатого элемента	36
3.5.1. Определение силы, вызывающей появление трещин	36
3.5.2. Определение ширины раскрытия трещин	38
3.5.3. Определение коэффициента η	38
3.5.4. Определение разрушающей нагрузки	38
3.6. Программа «JBK-NM»	39
3.7. Сравнение результатов расчета с опытными данными	41
3.8. Вопросы для самопроверки по подготовке к защите лабораторной работы	42
4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. ИСПЫТАНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ	43
4.1. Цель работы	44
4.2. Задачи работы	44
4.3. Конструкция балки	44
4.4. Испытание балки	45
4.5. Обработка результатов испытаний	45
4.6. Расчет балки	47
4.7. Сравнение результатов расчетов с опытными данными	49
4.8. Вопросы для самопроверки при подготовке к защите лабораторной работы	49
5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5. ИСПЫТАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ЭЛЕМЕНТА НА КОСОЕ ВНЕЦЕНТРЕННОЕ СЖАТИЕ	51
5.1. Цель работы	52
5.2. Задачи работы	52
5.3. Конструкция элемента	52
5.4. Испытание железобетонного элемента	53
5.5. Расчет элемента при косом внецентренном сжатии	55
5.5.1. Определение силы, вызывающей появление трещин	55
5.5.2. Определение коэффициента η	55
5.5.3. Определение разрушающей нагрузки	56
5.6. Сравнение результатов расчета с опытными данными	56
5.7. Программы для расчета прочности нормальных сечений железобетонных элементов прямоугольного сечения при косом внецентренном нагружении	56

5.7.1. Программа «KN-JBK»	56
5.7.2. Программа «KS-Snip»	58
5.8. Вопросы для самопроверки по подготовке к защите лабораторной работы	61
6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6. ИСПЫТАНИЕ КИРПИЧНОГО СТОЛБА НА ВНЕЦЕНТРЕННОЕ СЖАТИЕ	63
6.1. Цель работы	64
6.2. Задачи работы	64
6.3. Конструкция кирпичного столба	64
6.4. Испытание кирпичного столба	65
6.5. Расчет внецентренно сжатого каменного столба по предельным состояниям второй группы	66
6.5.1. Расчет по раскрытию трещин	67
6.5.2. Расчет по деформациям	67
6.6. Определение разрушающей нагрузки	68
6.7. Программа «КАМАКОН»	69
6.8. Сравнение результатов эксперимента с данными расчета	70
6.9. Вопросы для самопроверки при подготовке к защите лабораторной работы	70
7. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7. ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОДНОЭТАЖНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ	71
7.1. Цель работы	72
7.2. Задачи работы	72
7.3. Конструкция промышленного здания	72
7.4. Физико-механические характеристики бетона и арматуры	73
7.5. Проведение испытаний	73
7.6. Статический расчет поперечной рамы	75
7.7. Анализ полученных результатов	77
7.8. Вопросы для самопроверки по подготовке к защите лабораторной работы	77
8. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8. ИСПЫТАНИЕ АРМАТУРЫ НА РАСТЯЖЕНИЕ	79
8.1. Цель работы	80
8.2. Задачи работы	80
8.3. Отбор образцов	80
8.4. Испытание арматуры и обработка результатов	81
8.5. Вопросы для самопроверки по подготовке к защите лабораторной работы	84
9. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОНА	85
9.1. Цель работы	86
9.2. Задачи работы	86

9.3. Образцы для испытаний	86
9.4. Испытание образцов. Обработка результатов	88
9.4.1. Определение прочности бетона на сжатие	88
9.4.2. Определение прочности бетона на растяжение	89
9.4.3. Определение начального модуля упругости и призмной прочности бетона по ГОСТ 24452-80	90
9.4.4. Обработка результатов	91
9.5. Вопросы для самопроверки по подготовке к защите лабораторной работы	92
10. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ	97
10.1. Цель работы	98
10.2. Задачи работы	98
10.3. Образцы для испытания	98
10.4. Аппаратура и материалы	99
10.5. Испытание образцов на сжатие	100
10.6. Испытание образцов на изгиб	101
10.7. Вопросы для самопроверки по подготовке к защите лабораторной работы	102
11. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАСТВОРА ДЛЯ КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ	103
11.1. Цель работы	104
11.2. Задачи работы	104
11.3. Образцы для испытания	104
11.4. Аппаратура и оборудование	104
11.5. Подготовка к испытанию	104
11.6. Проведение испытания	106
11.7. Обработка результатов	106
11.8. Определение прочности на сжатие раствора, взятого из швов	107
11.9. Вопросы для самопроверки по подготовке к защите лабораторной работы	107
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	108
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. СХЕМЫ ЗАГРУЖЕНИЯ И РАССТАНОВКИ ПРИБОРОВ ПРИ ИСПЫТАНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	109
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ИЛЛЮСТРАЦИИ ИСПЫТАНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ЛАБОРАТОРИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТГАСУ И НА ЗАВОДАХ СБОРНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА Г. ТОМСКА	133
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ИСПЫТАННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ	175



Кафедра железобетонных и каменных (строительных) конструкций (ЖБиКК), основанная в 1952 году, является одной из старейших выпускающих кафедр строительного факультета ТГАСУ. Кафедра является последователем традиций и научных школ одной из первых кафедр в России, основанной в 1902 году за Уралом в Томском технологическом институте. Здесь работали видные ученые: М.Н. Кашурников, Н.А. Кашкаров, Н.А. Миняев, Н.И. Молотилов, Н.В. Никитин, В.С. Бартенев и др.

В настоящее время кафедра ЖБиКК ТГАСУ имеет 100 % аттестованных кадров, на кафедре имеется докторантура и аспирантура, кафедра обладает мощной лабораторной базой, позволяющей проводить статистические и динамические испытания строительных конструкций зданий и сооружений. Лабораторная база спроектирована и построена сотрудниками кафедры. Для проведения учебно-исследовательских работ имеется зал испытания натуральных конструкций площадью 710 м²; лаборатория автоматизации эксперимента, малый машинный зал.

Лаборатория оснащена мостовым краном грузоподъемностью 10 тс, испытательными прессами мощностью 200, 250, 1000 тс. Имеется разрывная машина мощностью 50 тс, силовой пол (четыре ручья длиной по 24 м). Создана ударная установка для испытания железобетонных конструкций на однократные динамические нагрузки. Разработаны и созданы установки для проведения лабораторных работ. Для регистрации деформаций материала лаборатория оснащена современными электронно-вычислительными комплексами.

Кафедрой железобетонных и каменных конструкций даны путевки в жизнь практически всем железобетонным конструкциям, выпуск которых производился и производится на заводах стройиндустрии г. Томска и Томской области. Разработка эффективных сборных железобетонных конструкций высокой заводской готовности продолжается на кафедре и в настоящее время.

При изучении студентами курса «Железобетонные и каменные конструкции», теория расчета которых в значительной степени основана на результатах экспериментальных исследований, особое значение имеют лабораторные работы.

Кафедра железобетонных и каменных конструкций Томского государственного архитектурно-строительного университета является последователем традиций и научных школ одной из первых кафедр в России, основанной в 1902 г. на строительном отделении первого за Уралом Томского Технологического института. С момента образования инженерно-строительного отделения стали активно проводиться опыты по определению свойств бетона и железобетона.

Еще в 1902 году купец Хрущалин предоставил институту 8 бетонных плит, которые были изготовлены для физической лаборатории. Уже в 1904 году студенты-строители участвовали в проведении опытов в лаборатории института. В числе других проводились такие опыты, как определение временного сопротивления при сдавливании металлических и деревянных образцов, удлинения при разрыве железных образцов, определение модуля упругости и стрелы прогиба при изгибе балок. Из отчета по расходу денежных средств института видно, что с 1902 по 1905 годы лабораторией было использовано железных балок и прутьев на 40971 руб. 81 коп., цемента – на 13982 руб. 36 коп.

С 1906 года в Томском технологическом институте преподаватель кафедры строительного искусства М.Н. Кашурников начал вести систематический курс железобетона, после его ухода из института курс железобетона стал читать профессор Н.А. Кашкаров. За осенний семестр 1913 г. им было прочитано 26 лекций. Имея специализацию инженера путей сообщения, Н.А. Кашкаров проводит интенсивные исследования и внедрение железобетонных конструкций, издает фундаментальные труды в этой области, например «Курс железобетонных сооружений» (Томск, 1915 г.).

В настоящее пособие включены 11 лабораторных работ, посвященных испытанию железобетонных и каменных элементов при различных видах напряженного состояния, исследованию прочностных и деформативных свойств материалов строительных конструкций (арматуры, бетона, кирпича, раствора).

При выполнении лабораторных работ студенты более глубоко изучают поведение железобетонных и каменных конструкций на

различных стадиях загрузки и получают уверенность в надежности используемых в России методов расчета конструкций. Кроме того, будущие инженеры-строители знакомятся с методикой проведения испытаний конструкций, устройствами и приборами, используемыми при испытании, с методами определения прочностных характеристик материалов.

Лабораторные работы выполняются студентами под руководством преподавателя. Студенты заранее знакомятся с описанием лабораторной работы, изучают соответствующие темы в учебниках и конспектах лекций. При выполнении лабораторной работы между студентами распределяются обязанности по обмеру испытываемой конструкции, снятию отсчетов по приборам, наблюдению за появлением трещин и т.п.

Результаты испытаний и теоретических расчетов оформляются в виде отчетов, в которых делается анализ полученных результатов, приводится сравнение опытных и теоретических значений исследуемых параметров, дается пояснение о причинах отклонений в этих величинах.

Расчет испытанных конструкций выполняется студентами “вручную” и с использованием персональных компьютеров по программам, имеющимся на кафедре. В пособии даны рекомендации по использованию программ по обработке результатов, полученных при выполнении лабораторных работ, а также по расчету испытанных железобетонных и каменных конструкций. Программы составлены на основе оригинальных методик расчета, разработанных на кафедре.

В конце каждой лабораторной работы приведены контрольные вопросы, позволяющие лучше освоить изучаемый материал и подготовиться к защите лабораторной работы.

В конце пособия в приложениях рассмотрены методы, устройства и приборы для испытания натуральных железобетонных и каменных конструкций; приведены фотографии характерных схем разрушения испытанных конструкций; даны основные справочные таблицы.

При подготовке настоящего пособия использован богатый многолетний опыт исследований и испытаний железобетонных и каменных конструкций и материалов, накопленный на кафедре железобетонных и каменных конструкций.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

**ИСПЫТАНИЕ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ
НА ИЗГИБ С РАЗРУШЕНИЕМ
ПО НОРМАЛЬНОМУ СЕЧЕНИЮ**

**ИСПЫТАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ
НА ИЗГИБ С РАЗРУШЕНИЕМ
ПО НОРМАЛЬНОМУ СЕЧЕНИЮ**

1.1. Цель работы

Изучение работы железобетонной балки при изгибе с разрушением по нормальному сечению.

1.2. Задачи работы

1. Установление характера образования трещин на поверхности балки и измерение ширины их раскрытия.
2. Определение максимальных прогибов балки до образования трещин и после.
3. Определение значения разрушающей нагрузки и установление схемы разрушения балки.
4. Вычисление нагрузок при образовании первой трещины и при разрушении, определение прогибов, ширины раскрытия трещин и сравнение этих величин с аналогичными величинами, полученными при испытании.

1.3. Конструкция балки

Железобетонная балка (рис. 1.1) изготовлена из тяжелого бетона и армирована плоским сварным каркасом.

Основные размеры и армирование испытываемой балки по данным обмера заносятся в табл. 1.1.

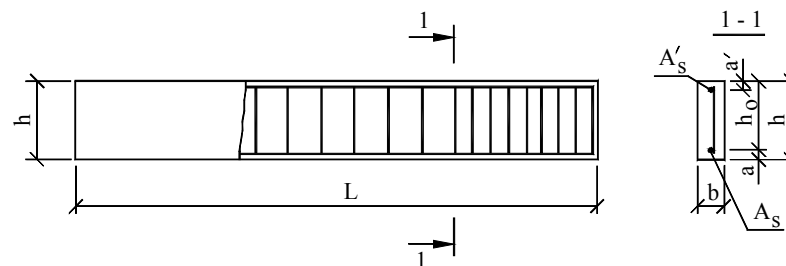


Рис. 1.1. Конструкция железобетонной балки

Таблица 1.1

Геометрические характеристики балки

Наименование величин, единицы измерения	Обозначения	Фактические значения
1. Длина балки, мм	L	
2. Ширина сечения, мм	b	
3. Высота сечения, мм	h	
4. Рабочая высота, мм	h_0	
5. Расстояние от нижней грани балки до центра тяжести растянутой арматуры, мм	a	
6. Расстояние от верхней грани балки до центра тяжести сжатой арматуры, мм	a'	
7. Диаметр и класс растянутой арматуры, мм	d	
8. Площадь поперечного сечения растянутой арматуры, мм ²	A_s	
9. Диаметр и класс сжатой арматуры, мм	d_I	
10. Площадь поперечного сечения сжатой арматуры, мм ²	A'_s	
11. Расчетный пролет балки, мм (рис. 1.2)	L_0	
12. Расстояние от опоры до точки приложения силы, мм (рис. 1.2)	a_F	

1.4. Физико-механические характеристики бетона и арматуры

Прочность бетона \bar{R} при сжатии определяется при испытании стандартных контрольных кубов или цилиндров в соответствии с ГОСТ 10180-90 или неразрушающими методами (эталонным молотком Кашкарова, пружинным прибором КМ и др.) в соответствии с ГОСТ 22690-88. Значение \bar{R} для испытываемой балки дается студентам преподавателем.

Призмная прочность бетона, прочность бетона при растяжении и начальный модуль упругости определяются при испытании стандартных образцов, изготовленных одновременно с конструкциями из того же бетона. Эти характеристики могут быть определены по эмпирическим формулам при известной кубиковой прочности бетона \bar{R} , выраженной в МПа.

Призмная прочность бетона в МПа равна

$$\bar{R}_b = (0,77 - 0,001\bar{R})\bar{R} \geq 0,72\bar{R}. \quad (1.1)$$

Прочность бетона при растяжении в МПа определяется по формуле Фере

$$\bar{R}_{bt} = 0,234\sqrt[3]{\bar{R}^2}. \quad (1.2)$$

Начальный модуль упругости в МПа (по А.А. Гвоздеву):

$$\bar{E}_b = \frac{52000 \cdot \bar{R}}{23 + \bar{R}}. \quad (1.3)$$

Предел текучести арматуры (физический или условный) и модуль упругости определяются при испытаниях образцов арматуры на растяжение, проводимых в соответствие с требованиями

ГОСТ 12004-81* «Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение» [4]. Значение σ_y и σ'_y для испытываемой балки дается студентам преподавателем.

Физико-механические характеристики бетона и арматуры для испытываемой балки заносятся в табл. 1.2.

Данные характеристики не следует отождествлять с нормативными и расчетными значениями, приведенными в СНиП 2.03.01-84* [25] и в СП 52-101-2003 [28, 22] и определяемыми в зависимости от класса бетона.

Таблица 1.2

Физико-механические характеристики бетона и арматуры

Характеристики бетона, МПа				Характеристики арматуры, МПа			
\bar{R}	\bar{R}_b	\bar{R}_{bt}	\bar{E}_b	растянутой		сжатой	
				σ_y	E_s	σ'_y	E'_s

1.5. Испытание балки

При испытании железобетонных конструкций должны выполняться требования ГОСТ 8829-94 «Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости» [3].

Балка перед испытанием должна быть побелена жидким раствором мела или извести. В местах опирания и загрузки балки устанавливаются на гипсовом растворе металлические пластинки,

препятствующие смятию бетона.

Испытания балки проводятся на металлическом стенде в перевернутом на 180^0 положении (растянутая арматура располагается вверху). Загружение балки производится гидравлическим домкратом через стальную траверсу, передающую сосредоточенную нагрузку F на два симметрично расположенных сечения балки (рис. 1.2). Давление в домкрате создается при помощи насосной станции НСП-400.

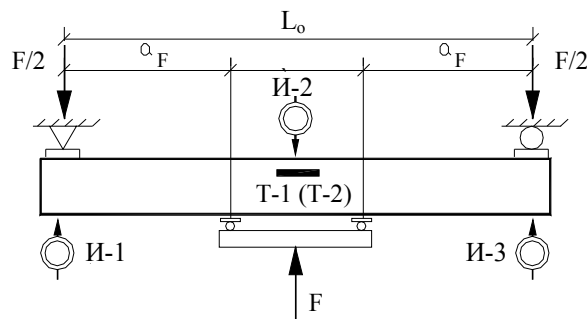


Рис. 1.2. Схема испытания балки

Сосредоточенную силу F прикладывают ступенями, величина которых составляет 5...10 % от ожидаемой разрушающей нагрузки F_u . После каждого этапа нагружения дается 3...5-минутная выдержка железобетонной балки под нагрузкой, во время которой производится осмотр балки и фиксируются образование и развитие трещин. После выдержки снимаются показания по индикаторам, фиксирующим перемещения балки. Деформации бетона растянутой зоны и нагрузку образования трещин определяют с помощью тензамет-

ров рычажного типа. После образования трещин определяется ширина раскрытия трещин с помощью отсчетного микроскопа МПБ-2. На поверхности балки карандашом проводятся линии, параллельные трещинам, около которых проставляются номера этапов. Показания приборов заносятся в табл. 1.3.

По данным табл. 1.3 строится график зависимости прогиба f от нагрузки F (рис. 1.3). Отклонение от линейной зависимости этого графика вызваны пластическими деформациями бетона и арматуры, образованием и раскрытием трещин.

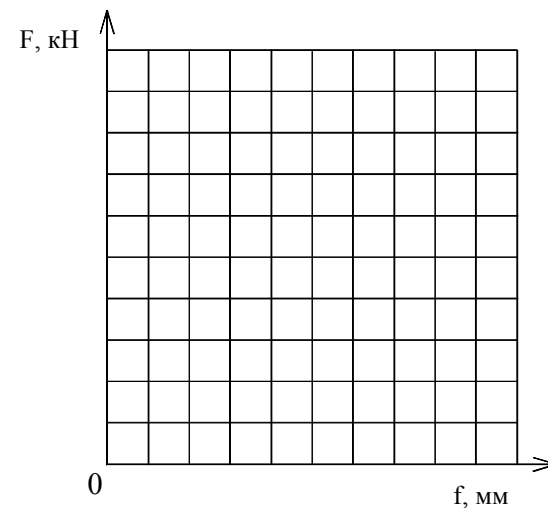


Рис. 1.3. График прогибов испытываемой балки

По окончании испытания зарисовывается схема образования трещин и схема разрушения испытанной балки (рис. 1.4).

Таблица 1.3

Ведомость испытания железобетонной балки

№ этапа	Показания манометра, ат	Нагрузка F, кН	Показания индикаторов, мм			Прогиб балки, мм $f = \left(f_2 - \frac{f_1 + f_3}{2} \right) \cdot 0,01$	Показания тензометров						Ширина раскрытия трещин, мм	Примечание*
			И-1 (f ₁)	И-2 (f ₂)	И-3 (f ₃)		Т-1			Т-2				
							у	Δу	ΣΔу	у	Δу	ΣΔу		
0	0	0	0	0	0									
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														

* в примечании отмечаются все визуально замеченные повреждения испытываемой железобетонной балки (трещины, сколы, разрушение бетона, выпучивание сжатой арматуры и т.п.)

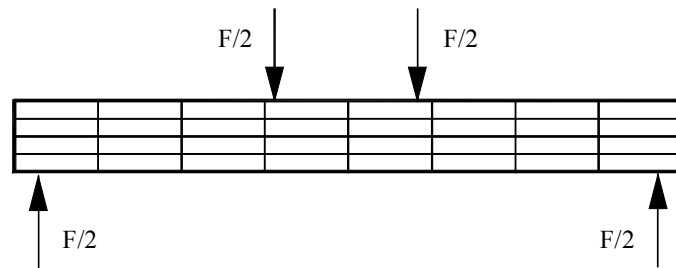


Рис. 1.4. Схема образования трещин и разрушения балки

1.6. Расчет балки

1.6.1. Расчет трещиностойкости балки

Ожидаемая величина нагрузки, при которой появляются первые трещины, может быть определена по формуле

$$F_{crc} = 2M_{crc} / a_F, \quad (1.4)$$

где $M_{crc} = \bar{R}_{bt} W_{pl}$ – момент, вызывающий появление трещин;

$W_{pl} \approx 0,292bh^2$ – упругопластический момент сопротивления по растянутой зоне перед образованием трещин для бетонного сечения согласно [20] и $W_{pl} \approx 0,217bh^2$ – согласно [22].

1.6.2. Определение прогибов

Ожидаемый прогиб балки в середине пролета L_0 определяется по формуле

$$f = \frac{1}{r} SL_0^2, \quad (1.5)$$

в которой $S = \frac{1}{8} - \frac{1}{6} \cdot \frac{a_F^2}{L_0^2}$ – коэффициент для шарнирно опертой

балки, нагруженной двумя сосредоточенными силами F , расположенными на расстоянии a_F от опор;

$\frac{1}{r}$ – кривизна балки на участке действия максимальных изгибаю-

щих моментов $M = \frac{F}{2} \cdot a_F$, которая определяется:

– до появления трещин (при $M < M_{crc}$) по формуле

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{0,85E_b I_{red}}, \quad (1.6)$$

где $I_{red} \approx \frac{bh^3}{12}$ – приведенный момент инерции бетонного сечения,

принятый для слабоармированной конструкции равным моменту инерции бетонного сечения;

– после образования трещин (при $M > M_{crc}$):

– согласно СНиП 2.03.01-84* [25] по формуле

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{h_0 z} \left[\frac{\Psi_s}{E_s A_s} + \frac{\Psi_b}{(\varphi_f + \xi) b h_0 E_b \nu} \right]; \quad (1.7a)$$

– согласно СП 52-101-2003 [28] по формуле

$$\frac{1}{r} = \frac{M - \varphi_2 b h^2 \bar{R}_{bt}}{\varphi_1 E_s A_s h_0^2}. \quad (1.7b)$$

В формуле (1.7а): $\psi_b = 0,9$; $\nu = 0,45$;

$$\varphi_f = \frac{\alpha A'_s}{2\nu b h_o}; \quad \alpha = \frac{E_s}{E_b}; \quad \xi = \frac{1}{1,8 + \frac{1 + 5(\delta + \lambda)}{10\mu\alpha}};$$

$$\mu = \frac{A_s}{bh_o}; \quad \delta = \frac{M}{bh_o^2 \bar{R}_b}; \quad \lambda = \varphi_f \left(1 - \frac{a'}{h_o}\right);$$

$$z = h_o \left[1 - \frac{\frac{2a'}{h_o} \varphi_f + \xi^2}{2(\varphi_f + \xi)} \right]; \quad \psi_s = 1,25 - 1,1 \cdot \varphi_m \leq 1,0; \quad \varphi_m = \frac{M_{crc}}{M}.$$

Коэффициенты φ_1 и φ_2 в формуле (1.7б) определяются по табл. П.3.11, П.3.12 прил. 3.

1.6.3. Определение ширины раскрытия трещин

Ширина раскрытия трещин в нормальных к продольной оси балки сечениях определяется по формуле (144) СНиП 2.03.01-84* [25]

$$a_{crc} = \delta \varphi_\ell \eta \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot 20(3,5 - 100\mu) \sqrt[3]{d}. \quad (1.8a)$$

Здесь $\delta = 1,0$ – для изгибаемых элементов;

$\varphi_\ell = 1,0$ – при кратковременном действии нагрузки;

$\eta = 1,0$ – при арматуре S периодического профиля;

$\eta = 1,3$ – при гладкой стержневой арматуре;

d – диаметр растянутой арматуры, мм;

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s z}, \quad M \text{ и } z \text{ – см. пункт 1.6.2.}$$

Согласно СП 52-101-2003 [28] ширина раскрытия трещин равна

$$a_{crc} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot l_s, \quad (1.8б)$$

где $\varphi_1 = 1,0$ – при непродолжительном действии нагрузки;

$\varphi_2 = 0,5$ – для арматуры периодического профиля;

$\varphi_3 = 1,0$ – для изгибаемых элементов;

$\psi_s = 1 - 0,8 \cdot M_{crc}/M \geq 0,2$;

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s z_s}, \quad z_s = \zeta \cdot h_o;$$

ζ – коэффициент, определяемый согласно прил. 3 (рис. П.3.1);

l_s – базовое расстояние между трещинами, определяется по формуле

$$l_s = 0,5 \frac{A_{bt}}{A_s} d \text{ и принимается не менее } 10d \text{ и } 100 \text{ мм и не бо-}$$

лее $40d$ и 400 мм;

A_{bt} – площадь сечения растянутого бетона, $A_{bt} = b \cdot y$;

$y = y_r \cdot k = S_{red}/A_{red} \cdot 0,9 \geq 2a$ и $\leq 0,5h_o$ – высота растянутой зоны бетона.

1.6.4. Определение разрушающей нагрузки

Ожидаемая величина теоретической разрушающей нагрузки

$$F_u = \frac{2M_u}{a_F}, \quad (1.9)$$

где $M_u = \bar{R}_b b x (h_o - 0,5x) + \sigma'_y A'_s (h_o - a')$ – изгибающий момент, вызывающий разрушение балки по нормальному сечению;

$$x = \frac{\sigma_y A_s - \sigma'_y A'_s}{\bar{R}_b b} \text{ – высота сжатой зоны бетона;}$$

$$\xi_R = \frac{\omega}{1 + \frac{\sigma_y}{400} \left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)}; \quad \omega = 0,85 - 0,008\bar{R}_b.$$

Согласно СП 52-101-2003 [28] ξ_R определяется по формуле

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

При $x > \xi_R h_o$ в формулу для M_u вместо x подставляется

$$x_R = \xi_R h_o.$$

Рекомендуется при выполнении расчетов принимать размеры в мм, площади – в мм², нагрузки – в Н, моменты – в Н·мм, прочность бетона и арматуры, их модули упругости – в МПа (1 МПа = 1 Н/мм²). Результаты расчета обычно переводятся для сил в кН (1 кН = 10³ Н), для моментов в кН·м (1 кН·м = 10⁶ Н·мм).

1.7. Программа «Лабораторная работа 1»

Программа «Лабораторная работа 1» предназначена для обработки результатов, полученных при испытании железобетонной балки.

При запуске программы появляется рабочее окно, позволяющее вводить и редактировать исходные данные, просматривать и распечатывать результаты расчета, записать данные на диск, открыть файл с данными и т.д.

При выборе пункта меню «Данные» появляется окно с закладками, в полях которого вводятся параметры балки (размеры, армирование, характеристики бетона и арматуры, параметры нагружения), необходимые для расчета балки (рис. 1.5).

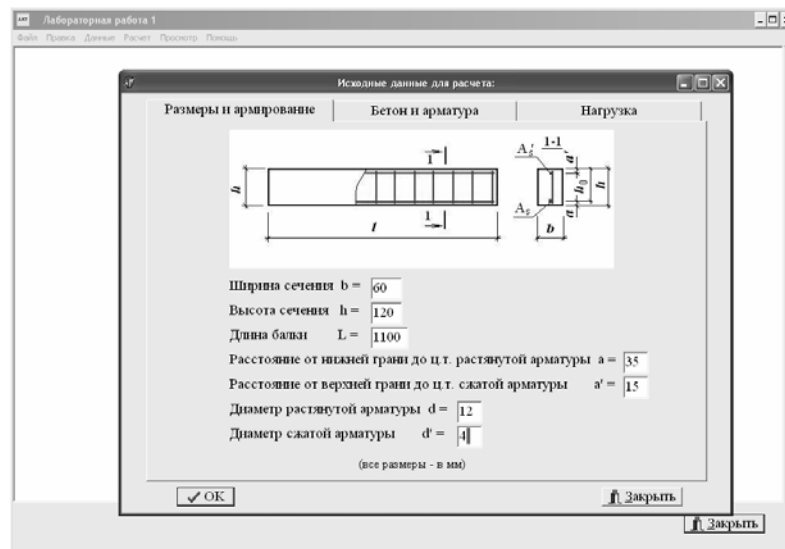


Рис. 1.5. Окно ввода исходных данных

После ввода всех исходных данных, полученных при выполнении лабораторной работы, при выборе пункта меню «Расчет» производится расчет железобетонной балки согласно формулам, приведенным в п. 1.6.

Далее при выборе пункта меню «Просмотр» на экран выводятся исходные данные с вычисленными прочностными и деформативными характеристиками бетона и результаты расчета балки:

Результаты расчета:

$$A_s = 113.1 \text{ мм}^2$$

$$A_s' = 12.6 \text{ мм}^2$$

$$\text{Площадь приведенного сечения } A_{red} = 8223.6 \text{ мм}^2$$

$$\text{Момент инерции приведенного сечения } I_{red} = 9357586 \text{ мм}^4$$

$$\text{Расстояние до ц. т. сечения } y_0 = 57.6 \text{ мм}$$

$$\text{Упругопластический момент сопротивления } W_{pl} = 284103.4 \text{ мм}^3$$

Момент образования трещин $M_{crc} = 0.49 \text{ кН}\cdot\text{м}$

Нагрузка образования трещин $F_{crc} = 2.45 \text{ кН}$

Высота сжатой зоны $x = 44.68 \text{ мм}$

Граничная высота сжатой зоны $x_R = 46.43 \text{ мм}$

Предельный момент, воспринимаемый сечением $M_u = 2.87 \text{ кН}\cdot\text{м}$

Предельная нагрузка $F_u = 14.36 \text{ кН}$

Ширина раскрытия трещин и прогибы балки при загрузении:

этап	N , кН	F , кН	A_{crc} , мм	x , мм	σ_{cs} , МПа	f , мм
1	1.6	0.000	62.4	6.4	0.164	
2	3.2	0.028	30.9	81.3	0.643	
3	4.8	0.041	29.3	120.7	1.184	
4	6.4	0.055	27.9	159.4	1.738	
5	8.0	0.068	26.6	197.6	2.306	
6	9.6	0.081	25.4	235.3	2.888	
7	11.2	0.094	24.3	272.6	3.470	
8	12.8	0.106	23.3	309.6	4.026	

При нажатии на кнопку «График прогибов балки» на экране появляется окно, на котором построен график изменения теоретического прогиба балки в зависимости от нагрузки (рис. 1.6).

При нажатии на кнопку «Фото балки после испытания» на экране можно просмотреть, как разрушается железобетонная балка по нормальному сечению (рис. 1.7).

Полученные результаты расчета можно сравнить с экспериментальными данными.

Исходные данные и результаты расчета балки можно записать в файл и использовать затем для дальнейшей работы.

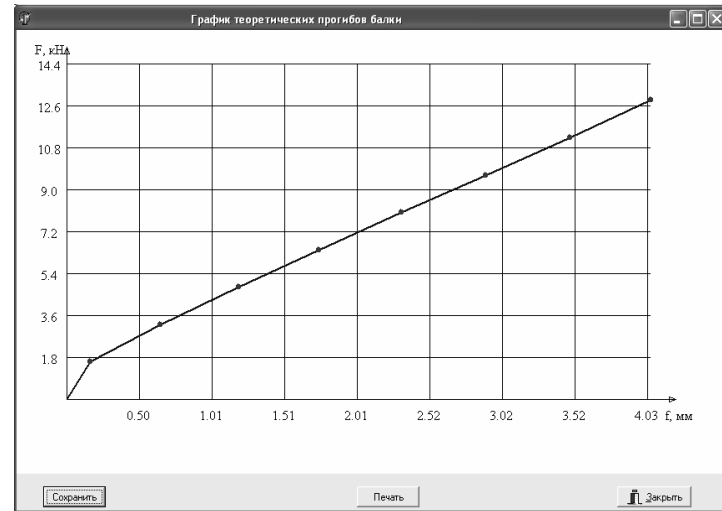


Рис. 1.6. График прогибов балки



Рис. 1.7. Разрушение железобетонной балки по нормальному сечению

Учебное пособие

Василий Сергеевич **Плевков**

Анатолий Иванович **Мальганов**

Игорь Владимирович **Балдин**

**ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ
ПО КУРСУ «ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ И КАМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ»**

Под редакцией В.С. Плевкова

Редактор *Г.Г. Семухина*

Компьютерная верстка *Е.М. Балдина*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98.

Подписано в печать 12.02.2010. Формат 60x84/16. Гарнитура «Times». Печать офсетная.

Усл. -печ. л. 12. Тираж 500 экз. Заказ № .

ООО «Издательство АСВ», 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации – оф. 511,

тел/факс: 8 (499) 183-56-83

e-mail: iasv@mgsu.ru; www.iasv.ru