

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

ЛЕ КУАНГ ХЮИ

**РАЗВИТИЕ МЕТОДА РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПО
НАКЛОННОМУ СЕЧЕНИЮ НА ДЕЙСТВИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ С
УЧЕТОМ ПРОДОЛЬНОГО АРМИРОВАНИЯ**

Специальность 2.1.1 – Строительные конструкции, здания и сооружения

Диссертация
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
К.т.н, доцент, В.М. Попов

Санкт-Петербург – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО НАКЛОННЫМ СЕЧЕНИЯМ	11
1.1 Стадии напряженно-деформированного состояния в наклонных сечениях изгибаемого элемента.....	11
1.2 Разрушение изгибаемых железобетонных элементов при действии поперечных сил.....	15
1.3 История развития исследований несущей способности изгибаемых железобетонных элементов по наклонным сечениям.....	16
1.4 Несущая способность железобетонных балок по наклонному сечению	22
1.4.1 Распределение поперечной силы в железобетонных балках	22
1.4.2 Факторы, влияющие на несущую способность железобетонных элементов по наклонным сечениям.....	24
1.4.3 Влияния продольной арматуры на несущую способность изгибаемых железобетонных элементов по наклонным сечениям	25
1.5 Выводы главы 1.....	35
ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ИЗГИБЕ	37
2.1 Описание эксперимента	37
2.2 Изготовление экспериментальных образцов.....	41
2.3 Определение прочностных характеристик материалов.....	43
2.3.1 Определение прочностных характеристик арматуры.....	43
2.3.2 Определение расчетных параметров бетона	44
2.4 Организация экспериментов и результаты	45
2.4.1 Прочностные и деформационные характеристики арматуры	45
2.4.2 Прочностные и деформационные характеристики бетона.....	48
2.4.3 Испытание железобетонной балки при поперечном изгибе	49

2.4.4 Анализ результатов экспериментальных исследований железобетонных балок при поперечном изгибе	51
2.5 Выводы главы 2.....	59
ГЛАВА 3. ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ИЗГИБЕ	61
3.1 Моделирование с использованием программного обеспечения ABAQUS..	61
3.1.1 Геометрическое моделирование.....	62
3.1.2 Моделирование материалов	63
3.1.3 Моделирование нагрузок и граничных условий	68
3.1.4 Сетка метода конечных элементов	69
3.2 Моделирование экспериментальных образцов в программном комплексе ABAQUS и анализ результатов	70
3.2.1 Моделирование экспериментальных образцов в программном комплексе ABAQUS	70
3.2.2 Результаты моделирования и сравнение с результатами экспериментальных испытаний.....	70
3.3 Выводы главы 3.....	76
ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ИЗГИБЕ	78
4.1 Принятые допущения метода.....	78
4.2 Разработка метода расчета прочности железобетонных балок по наклонному сечению при поперечном изгибе	80
4.3 Анализ и оценка результатов экспериментальных и теоретических исследований.....	90
4.3.1 Сравнение результатов экспериментально–теоретических исследований	90
4.3.2 Сравнительный анализ результатов расчетов по предлагаемому методу и экспериментальным исследованиям других авторов	93
4.4 Выводы главы 4.....	97
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	98

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	101
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	113
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	114
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.....	130
ПРИЛОЖЕНИЕ 4.....	145
ПРИЛОЖЕНИЕ 5.....	180

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования

Вопросы, связанные с разработкой методов расчета железобетонных конструкций по наклонным сечениям, интересуют многих исследователей во всем мире. В настоящее время проведено множество экспериментально–теоретических исследований, при этом окончательно не удалось создать общую теорию расчета прочности железобетонных конструкций по наклонным сечениям.

Общеизвестно, разрушения изгибаемого элемента по наклонным сечениям может произойти как от поперечной силы, от доминирующего действия изгибающего момента и по сжатой полосе бетона между наклонными трещинами с раздавливанием тонкой стенки (ребра) элемента от главных сжимающих напряжений. При разрушении от действия поперечной силы происходит взаимный сдвиг двух частей, разделенных с наклонной трещиной от действия касательных напряжений. Во втором случае, поворот элемента происходит при разрушении по наклонному сечению от действия изгибающего момента при недостаточной анкеровке продольной растянутой арматуры.

Разрушение железобетонных конструкций от действия поперечных сил происходит хрупко с появлением наклонных трещин.

Плоское напряженно-деформируемое состояние на приопорных участках изгибаемых железобетонных элементов обусловлено пересечением траекторий главных сжимающих и главных растягивающих напряжений. На работу наклонных сечений влияют много факторов, такие как: прочность бетона и процент поперечного и продольного армирования, размеры поперечного сечения элемента, расстояние от опоры до точки приложения сосредоточенной силы, величина проекции наклонной трещины на продольную ось элемента и так далее.

В нормативных документах России при расчете железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие поперечных сил не учитываются влияние продольной растянутой арматуры, хотя теоретические и экспериментальные исследования в России и за рубежом подтвердили влияние продольного

армирования на сопротивление железобетонных балок по наклонным сечениям.

Таким образом, исследования, посвященные изучению напряженно-деформированного состояния приопорных участков изгибаемых железобетонных элементов аналитическими и численными методами, с целью оценки влияния процента продольного армирования на сопротивление железобетонных балок по наклонному сечению при действии поперечных сил, являются актуальными.

Степень разработанности темы исследования

Несущая способность изгибаемых железобетонных элементов по наклонным сечениям интересует многих ученых. Теоретические модели и расчетные схемы, отражающие причины разрушения железобетонных конструкций по наклонным сечениям, разрабатывались такими учеными, как E. Mörsch, W. Ritter, A.N. Talbot, М.С. Боришанский, А.А. Гвоздев, А.С. Залесов, G. Kani, H. Kupfer, M. Collins, D. Mitchell, F.J. Vecchio, M.P. Nielsen, N.W. Braestrup, A. Berlabi, T. Hsu, E. Bentz, Вл.И. Колчунов, С.Н. Карпенко, А.С. Крылов и многие другие учёные.

Экспериментальные исследования, выполненные М.С. Боришанским, А.А. Гвоздевым, А.С. Залесовым, О.Ф. Ильиным, Ю.Л. Изотовым, И.А. Титовым, M. Collins, E. Bentz, R.C. Elstner, G. Kani, R.C. Fenwick, T. Paulay, H. Taylor, F. Leonhardt, R. Walther и другими, помогли дополнить и усовершенствовать теоретическую расчетную модель. Это основа для построения и разработки эмпирических формул, а также корректировки коэффициентов для учета влияния компонентов поперечных сил.

Исследования влияния длины пролета среза на характер разрушения бетона в зоне сжатия над наклонными трещинами проводились учеными: Л.А. Дорошкевичем, А.А. Гвоздевым, А.С. Залесовым, Ю.А. Климовым, В.Н. Байковым, В.П. Митрофановым, И.А. Титовым, В.И. Майоровым, А.Б. Голышевым, F. Leonhardt, G. Kani и др.

Вопросами о сопротивлении анкерной зоны при разрушении по наклонному сечению занимались ученые-исследователи В.Н. Байков, А.С. Залесов, Г.И. Попов, В.И. Мурашев и др.

Влияние формы поперечного сечения на несущую способность изгибаемых

железобетонных элементов по наклонному сечению посвящены работы Ч.Б. Игнатявичуса, У.В. Раускаса, М.С. Боришанского, Л. Барановского, А.С. Залесова, И.Н. Старишко, Т.А. Мухамедиева, С.А. Зенина, П.П. Польского, Е.В. Клименко, и др.

Влияние содержания продольной арматуры рассматривали А.А. Гвоздев, А.С. Залесов, П.П. Польской, В.И. Майоров, В.И. Себекина, Дау Тьеколо, А.С. Силантьев, С.Н. Карпенко, В.Б. Филатов, С.Б. Крылов, В.И. Травуш, А.С. Крылов, И.Н. Старишко и др.

Эти исследования являются основой для постоянного обновления, дополнения и совершенствования методов расчета железобетонных конструкций, применяемых в нормативных документах.

Область исследования – соответствует паспорту научной специальности шифр 2.1.1 Строительные конструкции, здания и сооружения, пункт 1. Построение и развитие теории, разработка аналитических и вычислительных методов расчёта механической безопасности и огнестойкости, рационального проектирования и оптимизации конструкций и конструктивных систем зданий и сооружений.

Объект исследования – железобетонные балки прямоугольного сечения.

Предмет исследования – несущая способность железобетонных балок по наклонным сечениям на действие поперечных сил.

Научная гипотеза: коэффициент продольного армирования влияет на несущую способность железобетонных балок по наклонным сечениям на действие поперечных сил.

Цель исследования – развитие метода расчета железобетонных балок по наклонным сечениям на действие поперечных сил с учетом продольного армирования.

В соответствии с целью работы были сформулированы и решены следующие **основные задачи:**

1. Выполнить анализ современного состояния теоретических и экспериментальных исследований несущей способности изгибаемых железобетонных элементов по наклонным сечениям.

2. Провести теоретические исследования влияния продольного армирования на несущую способность железобетонных балок по наклонному сечению при поперечном изгибе.

3. Разработать методику экспериментальной проверки принятой гипотезы о влиянии продольной арматуры и длины пролета среза на несущую способность железобетонных балок при действии поперечных сил.

4. Провести численное исследование несущей способности железобетонных балок при действии поперечных сил с учетом нелинейной работы бетона и арматуры.

Научная новизна исследования:

1. Предложен усовершенствованный метод расчета железобетонных балок по наклонным сечениям на действие поперечных сил, повышающий точность расчетов.

2. Установлена зависимость несущей способности железобетонных балок по наклонному сечению при поперечном изгибе от коэффициента продольного армирования.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии двухблочной модели А.А. Гвоздева и А.С. Залесова посредством учета продольного армирования и длины пролета среза на несущую способность железобетонных балок по наклонному сечению при поперечном изгибе.

Практическая значимость работы заключается в разработке инженерного методике расчета железобетонных балок по наклонному сечению на действие поперечных сил с учетом продольного армирования.

Показано влияние пролета среза и продольного армирования на несущую способность железобетонных балок по наклонным сечениям при поперечном изгибе.

Методология и методы диссертационного исследования:

В работе использованы теоретические и экспериментальные методы научного познания, методы математической статистики, метод конечных элементов с использованием программного комплекса ABAQUS.

Положения, выносимые на защиту:

1. Метод расчета железобетонных балок по наклонным сечениям при поперечном изгибе с учетом влияния продольной растянутой арматуры.
2. Результаты экспериментальной проверки принятой научной гипотезы – длины пролета среза на несущую способность железобетонных балок по наклонным сечениям при действии поперечных сил.
3. Результаты численного моделирования несущей способности железобетонных балок на действие поперечных сил при различном содержании продольной арматуры и разных длинах пролетов среза.

Степень достоверности результатов:

Достоверность полученных теоретических решений основана на применении общепринятых гипотез и допущений, удовлетворительным согласием с результатами эксперимента и численного моделирования. Испытания железобетонных балок на действие поперечных сил проводились на сертифицированном измерительном оборудовании. Проведена оценка результатов расчета по предлагаемому методу с применением методов математической статистики и выполнено сравнение с экспериментальными данными других исследователей.

Апробация работы.

Основные полученные результаты исследований докладывались и обсуждались на конференциях: XVI Международная научно–техническая конференция «Актуальные вопросы архитектуры и строительства», г. Новосибирск, 2023 г.; LXXVI Региональная научно–практическая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Актуальные проблемы современного строительства», г. Санкт-Петербург, 2023 г.; II Национальная (всероссийская) научно–техническая конференция «Перспективы современного строительства», г. Санкт-Петербург, 2024 г.; LXXVII Национальная научно–практическая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Актуальные проблемы современного строительства», г. Санкт-Петербург, 2024 г.; LXXVIII Международная научно–практическая конференция «Архитектура – Строительство

– Транспорт – Экономика», г. Санкт-Петербург, 2024 г.

Публикация.

Основные научные результаты исследований опубликованы в 6 научных работах, включая 5 публикаций в журналах из перечня ВАК, и 1 статьи публикации в базе данных РИНЦ.

Структура и объем диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, приложений, списка литературы из 118 наименований, в том числе 46 зарубежных источников. Работа представлена на 182 страницах, содержит 83 рисунков, 17 таблиц и 70 страниц приложения.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО НАКЛОННЫМ СЕЧЕНИЯМ

В данной главе проанализированы и обобщены результаты исследований несущей способности железобетонных балок по наклонным сечениям в России и за рубежом. Рассмотрены методы расчета прочности железобетонных балок по наклонному сечению с учетом влияния содержания продольной арматуры.

1.1 Стадии напряженно-деформированного состояния в наклонных сечениях изгибаемого элемента

При совместном действии изгибающего момента M и поперечной силы Q распределение напряжений в приопорной зоне железобетонных балок носит сложный характер [40], развивается напряженно-деформированное состояние, характеризующееся теми же тремя стадиями, что и в сечениях, нормальных к продольной оси. Главные растягивающие и главные сжимающие напряжения, возникающие при плоском напряженном состоянии под влиянием нормальных и касательных напряжений, действуют под углом к продольной оси балки и приводят к образованию наклонных трещин, если главные растягивающие напряжения (σ_{mt}) превысят предел прочности бетона на растяжение (R_{bt}) [1] (рис.1.1).

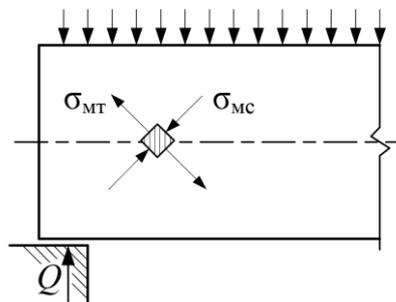


Рисунок 1.1 – Главные напряжения в бетоне у опоры балки [1]

Место образования наклонных трещин, наклон, раскрытие и развитие по высоте зависят от вида нагрузок, формы поперечного сечения, вида армирования, соотношения M/Q и других факторов. Разрушение элементов по наклонным сечениям не менее вероятно, чем по нормальным [4].

В изгибаемых элементах вблизи опор возникают главные растягивающие и главные сжимающие напряжения [53] вследствие совместного действия поперечной силы и изгибающего момента:

$$\sigma_{mt} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2}{4} + \tau_{xy}^2}, \quad (1.1)$$

где σ_x – нормальные напряжения в направлении оси x ; σ_y – то же, в направлении оси y ; τ_{xy} – касательные напряжения.

Величиной σ_y обычно пренебрегают вследствие ее малости, и формула (1.1) принимает вид

$$\sigma_{mt} = \frac{\sigma_x}{2} \pm \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{4} + \tau_{xy}^2}. \quad (1.2)$$

В поперечном сечении балки под влиянием изгибающего момента M , и в результате действия силы Q .

$$\sigma_x = \frac{My}{J}; \quad \tau_{xy} = \frac{QS}{Jb}, \quad (1.3)$$

где b – ширина сечения балки; y – расстояние от растянутой грани до нейтральной оси сечения; J – момент инерции поперечного сечения балки относительно нейтральной оси; S – статический момент части сечения при $y=0$.

Для балки прямоугольного сечения главные напряжения у нейтральной оси, где $\sigma_x = 0$, составляют

$$\sigma_{mc} = -\sigma_{mt} = \tau = \frac{Q}{bz}, \quad (1.4)$$

где b – ширина сечения балки; $z = \frac{J}{S}$ – плечо внутренней пары сил в сечении.

Разрушение элемента происходит, когда главные растягивающие напряжения достигают значения R_{bt} или главные сжимающие напряжения достигают значения R_b . Поэтому для оценки максимальной и минимальной несущей способности наклонного сечения изгибаемых железобетонных элементов используются следующие условия [53]:

$$Q \leq R_b bz; \quad Q \leq R_{bt} bz. \quad (1.5)$$

В соответствии с исследованиями [24, 40], можно выделить три стадии напряженно–деформированного состояния железобетонных балок (рис.1.2).

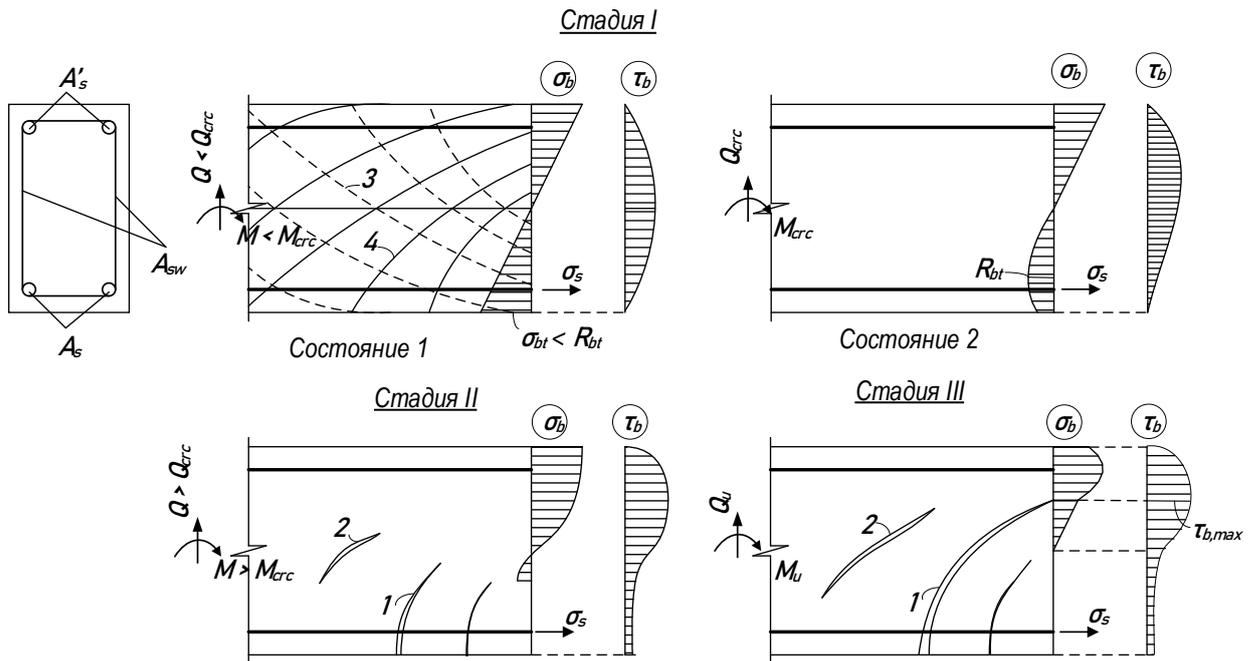


Рисунок 1.2 – Три стадии их напряженно–деформированного состояния [40] наклонные трещины типа (1) и (2), главные растягивающие (3) и главные сжимающие напряжения (4)

В стадии I продольные деформации бетона в нормальном сечении распределяются по закону, близкому к линейному. Если напряжения в бетоне растянутой зоны $\sigma_{bt} < R_{bt}$, то имеет место состояние 1 данной стадии, когда напряжения σ_b и τ_b распределяются, как в изгибаемом упругом стержне. Состояние 2 возникает перед образованием первых трещин первого типа, которые начинаются от растянутой грани элемента, вначале в нормальном сечении, а затем наклоняются по траектории главных напряжений. Из-за развития микротрещин в растянутом бетоне эпюры напряжений σ_b и τ_b сильно искривляются. Наклонные трещины второго типа образуются в средней по высоте сечения зоне в сильно армированных тонкостенных элементах.

В стадии II напряженно–деформированного состояния образуются новые и развиваются существующие трещины. Нормальные деформации укорочения бетона над наклонной трещиной возрастают. По мере приближения к опоре они становятся деформациями удлинения. При этом бетон между трещинами растянутой зоны элемента постепенно исключается из работы. Поэтому с ростом

нагрузки деформации сдвига увеличиваются практически только в сжатой зоне бетона. Максимальные касательные напряжения $\tau_{b,max}$ имеют место у вершины наклонной трещины. Начинают проявляться неупругие деформации в бетоне сжатой зоны. Эпюры напряжений в нормальных сечениях в конце пролета среза становятся криволинейными, постепенно распространяясь с ростом нагрузки по сечениям в направлении опоры.

После образования и по мере развития начинает интенсивно деформироваться продольная арматура в пролете среза нормальных трещин. Распределение деформаций по длине арматуры в целом соответствует эпюре действующих изгибающих моментов. Деформации хомутов остаются незначительными и равномерно распределенными по их длине. Конец второй стадии напряженно–деформированного состояния определяется образованием наклонных трещин (тип 1). По мере своего развития трещины, образующиеся в районе середины высоты сечения элемента или развивающиеся из нормальных наклонные трещины (тип 2) вызывают перераспределение деформаций бетона по высоте и длине элемента, наиболее значительное вблизи критической трещины. С ростом нагрузки она развивается сильнее, чем остальные трещины и по ней происходит разрушение элемента. Отгибы продольной арматуры сдерживают развитие опасной наклонной трещины. Тем самым они эффективно повышают прочность элементов по наклонным сечениям.

В стадии III происходит раздробление бетона в сжатой зоне или между наклонными трещинами второго типа. В соответствии с перераспределением деформаций изменяются и эпюры напряжений в бетоне. Максимальные сжимающие напряжения действуют в нормальных сечениях, проходящих вблизи вершины критической наклонной трещины. Над вершиной трещины в этих сечениях эпюра напряжений имеет явно выраженное криволинейное очертание, а в пределах сжатой зоны под ней, как и эпюра деформаций, близка к треугольной форме. Эпюра касательных напряжений в бетоне близка по форме к эпюре деформаций сдвига, т. е. имеет криволинейное очертание с максимумом в вершине критической наклонной трещины и сосредоточена в основном в пределах сжатой

зоны бетона (рис. 1.2).

Поперечная арматура имеет значительное влияние на характер разрушения элементов по наклонному сечению, так как хомуты и отгибы стержней увеличивают высоту сжатой зоны x и уменьшают длину проекции критической наклонной трещины на продольную ось элемента c_0 .

1.2 Разрушение изгибаемых железобетонных элементов при действии поперечных сил

Тип трещин и характер последующего разрушения наклонного сечения элемента зависит от соотношения касательных и нормальных напряжений, действующих в сечениях балки, которые в первую очередь являются функцией относительного пролета среза $a/h_0 = M/(Qh_0)$, где a – длина пролета среза [24, 40, 45].

Принято считать, что трещинообразование наклонных сечений проходит в два этапа: первый – после появления, наклонная трещина может сразу, по прямолинейной траектории, дойти до половины высоты сечения элемента, второй – развивается стабильно, постепенно доходит до края сжатой грани (рис. 1.3) [1, 4, 5, 7, 8, 13, 16, 24, 40, 104].

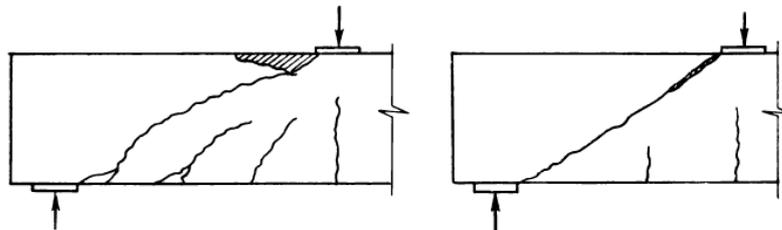


Рисунок 1.3 – Форма разрушения железобетонного элемента по наклонной трещине и сжатой зоне бетона [24]

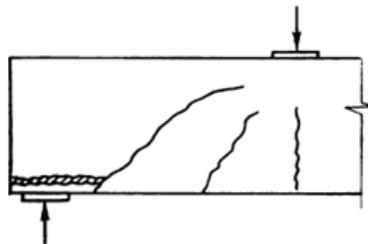


Рисунок 1.4 – Форма разрушения железобетонного элемента по наклонной трещине и растянутой арматуре [24]

Форма разрушения железобетонного элемента по наклонному сечению от действия изгибающих моментов с поворотом сечения. Этот тип разрушения возможен при недостаточной анкерровке продольной арматуры (рис.1.4).

Другая форма разрушения – разрушение бетона по наклонной сжатой полосе между опорой и грузом или между наклонными трещинами (рис. 1.5).

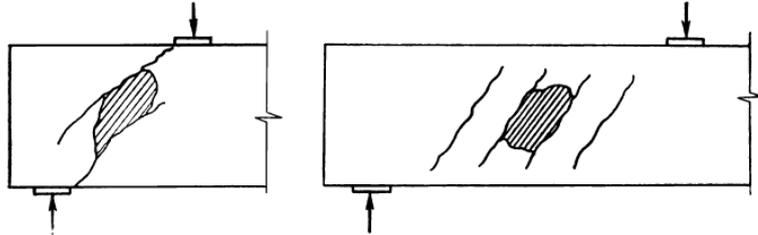


Рисунок 1.5 – Форма разрушения железобетонного элемента по сжатому бетону между наклонными трещинами [24]

Разрушением элементов с поперечной арматурой происходит постепенно с развитием опасной наклонной трещины. Если поперечная арматура отсутствует или она изготовлена из твердой стали, то разрушение элемента носит хрупкий характер. Хомуты, продольные и отогнутые арматурные стержни, проходящие через трещину, будут сопротивляться разрушению по наклонному сечению [1, 4, 8, 13, 16, 40, 47, 55, 104]. Поэтому продольная растянутая арматура несколько повышает прочность наклонных сечений.

1.3 История развития исследований несущей способности изгибаемых железобетонных элементов по наклонным сечениям

Расчет несущей способности изгибаемых железобетонных элементов по наклонным сечениям выполняется по следующим основным методам [51]:

- метод аналогий: ферменной [3, 22, 103, 109], арочной [37, 94, 95], рамный [83] и других;
- метод трещинообразующей нагрузки [41, 78, 100];
- метод предельного равновесия [5, 19, 29, 31, 65, 67, 105];
- статистический метод [107, 118].

Первые исследования по построению теории расчета железобетонных конструкций под действием горизонтальных сил были представлены учеными W.

Ritter (1899) [109] и Mörsh (1902) [103]. Они предложили модель фермы в качестве инструмента анализа и проектирования железобетонных балок (рис. 1.6) и постулировали, что после образования наклонных трещин железобетонную балку можно рассматривать как ферму с параллельными поясами, в которой раскосы сжатия наклонены под углом 45° к продольной оси балки. В этих моделях ферм не учитывается вклад растягивающегося бетона, диагональные сжимающие напряжения в бетоне раздвигают верхнюю и нижнюю грани балки, а растягивающие напряжения в хомутах стягивают их вместе.

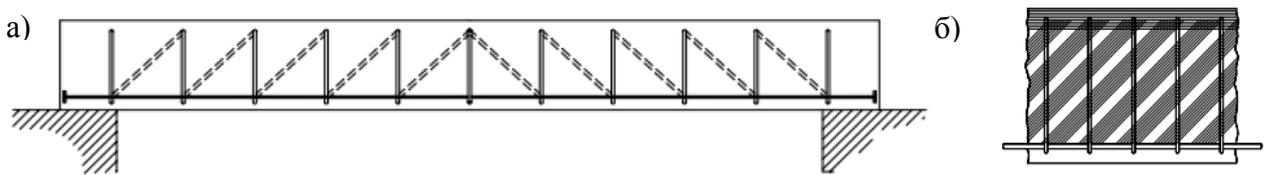


Рисунок 1.6 – Модель фермы W. Ritter (а) и аналогия фермы Mörsh (б) [79]

Mörsh (1902) [103] также представил распределение напряжения сдвига в бетонных балках, содержащих трещины при изгибе (рис. 1.7).

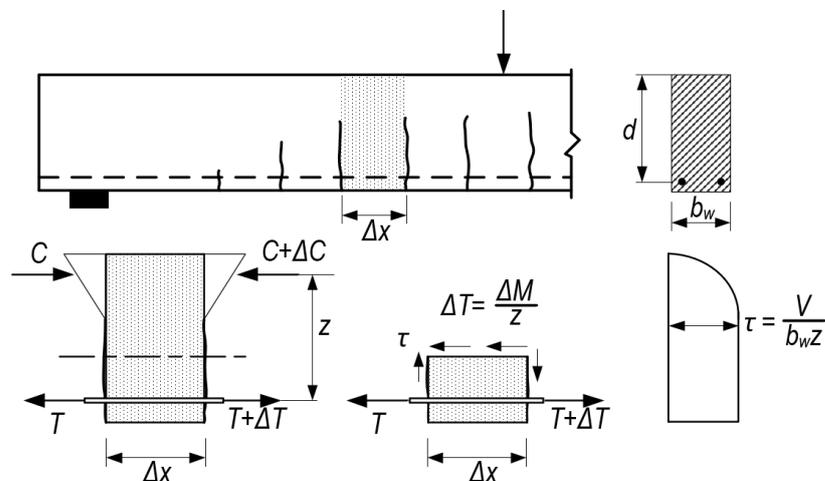


Рисунок 1.7 – Распределение касательных напряжений в железобетонной балке с изгибными трещинами [90]

Модель фермы постепенно совершенствовалась и в ходе многих других исследований, например:

Talbot (1909) [110] указал на влияние таких факторов, как содержание арматуры, относительная длина балки, качество и прочность бетона и других факторов на значение напряжения сдвига в балках при разрушении.

Кани (1964) [94] представил модель «зубов» для балок с трещинами при сдвиге (рис. 1.8), которая была началом более рациональных подходов.

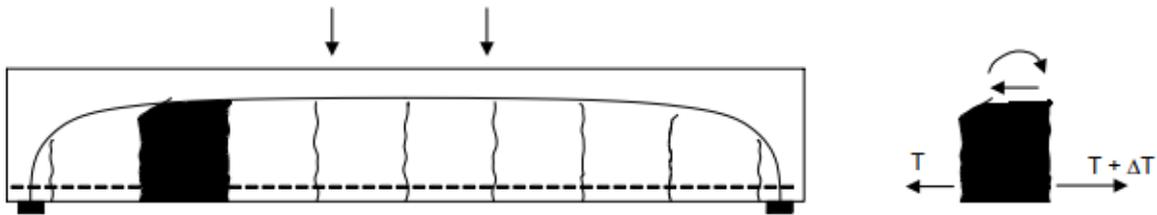


Рисунок 1.8 – Модель «зубов» Кани для балок с трещинами, подвергшихся сдвигу [79]

В Stuttgart, Leonhardt и Walther (1961) [97] провели обширные экспериментальные исследования балок, разрушающихся при срезе, и разработали модель, которая объединила эффекты балки и арки.

Namadi и Regan (1980) [93] предположили, что трещины вертикальные и расстояние между ними равно половине рабочей высоты конкретной балки. Reineck (1991) [108] развил модель «зуба», приняв во внимание механизмы передачи сдвига, выполнив полный нелинейный расчет. Он, основываясь на своей модели, вывел формулу для предельной поперечной силы, которая совпадала с результатами испытаний, а также с результатами многих эмпирических формул.

Berlabi и Hsu (1994, 1995) [81, 82] представил модель «RA–STM» (the Rotating–Angle Softened–Truss Model), предполагающую, что наклон направления главного напряжения θ совпадает с направлением главной деформации. Для типичных элементов θ будет уменьшаться по мере увеличения сдвига, отсюда и название «угол вращения».

Модели ферм с раскосами, имеющими переменный угол наклона используется в качестве работоспособной модели для сдвига и кручения в железобетонных и предварительно напряженных бетонных балках (Kupfer, 1964 [96]). Модифицированные модели ферм используются в таких нормах, например, ACI Building Code 318–99 или CEB–FIP (1978).

Согласно А.С. Залесова [22], к недостаткам каркасно-стержневой модели следует отнести то, что в ней используются эмпирические зависимости, основанные на условных подходах и не учитывающие некоторые важные факторы, влияющие на несущую способность элементов. В частности, при расчете

железобетонных балок без поперечной арматуры не учитывается влияние пролета среза на несущую способность балки, фактически значение прочности устанавливается по некоторой границе, соответствующей ее прочности при больших пролетах среза.

Теория поля сжатия (the Compression Field Theory) (Collins 1978 [87]) и модифицированная теория поля сжатия (the Modified Compression Field Theory – MCFT, Vecchio и Collins, 1986 [115]) расширяют первую теорию (Mitchell и Collins (1974) [101]) используемую для оценки прочности на сдвиг бетонных полос, подвергаемых сжатию между наклонными трещинами. Основной проблемой теории сжатых областей является определение угла наклона трещин θ . В этих методах эффекты общей реакции нагрузки – деформации элементов, в которых арматура подвергается одноосному растяжению, а бетон подвергается двухосному растяжению–сжатию, можно определить среднее напряжение, среднюю деформацию и значения угла наклона трещин θ при любом уровне нагрузки (рис. 1.9). Теория поля сжатия постоянно совершенствовалась, а формулы расчета упрощались благодаря исследованиям Collins, E.C. Bentz [80, 88].

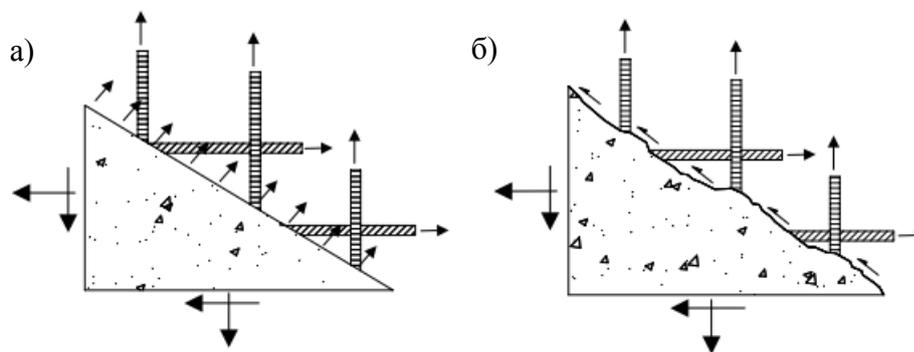


Рисунок 1.9 – MCFT: средние напряжения (а) и напряжения в трещине (б) [79]

Теория поля сжатия не учитывает вклад растягивающих напряжений в зоне бетона с трещинами, что приводит к переоценке деформации и недооценке прочности бетона на срез. Модифицированная теория поля сжатия учитывает влияние растягивающих напряжений в зоне трещин в бетоне. Если принять во внимание эти растягивающие напряжения, то даже элементы без хомутов, как ожидается, будут иметь некоторую прочность при сдвиге после образования трещин. Прогнозируемая прочность при сдвиге зависит не только от количества

армирующих хомутов, но и от количества продольной арматуры. Увеличение количества продольной арматуры увеличит прочность при сдвиге.

Модель «DSFM» (the Disturbed Stress Field Model), разработанная Vecchio (2000, 2001) [113, 114] как расширение MCFT, явно включает жесткое скольжение по поверхностям трещин в соотношения совместимости для элемента. Это допускает расхождение углов наклона среднего главного напряжения и средней главной деформации в бетоне. Модель представляет трещины как постепенно поворачивающиеся, но обычно отстающие от переориентации главных деформаций. Также существуют многие другие исследования, посвященные наклонным сечениям балочных элементов.

Объединив метод предельного равновесия и эксперимент, Fenwick и Paulay (1968) [92] указывают на значение сил, передаваемых через трещины в нормальных балках за счет трения трещин. Taylor (1974) [111], также оценивая модель Kani [94], обнаружил, что для балок из обычного бетона компоненты сопротивления сдвигу зависят от зацепления берегов трещины (25–50%), усилия нагельной силы (15–25%), усилия в сжатой зоне бетона без трещин (20–40%). Таким образом, данный метод определяет общее сопротивление конструкции сдвигу на основе определения значений поперечных сил: компонентов усилия зацепления на поверхности бетона в месте наклонной трещины, нагельная сила продольной арматуры и усилия в зоне сжатия бетона без трещин [9, 17, 24, 70].

В России в 1936 году были опубликованы первые исследования по построению теории расчета железобетонных конструкций на действие поперечных сил, это работы М.С. Боришанского под руководством А.А. Гвоздева [5, 6]. Исследования М.С. Боришанского выполнялись на железобетонных элементах без хомутов с целью изучения влияния пролета среза на несущую способность наклонных сечений. Была предложена эмпирическая формула (1.6), устанавливающая зависимость предельной несущей способности на наклонном сечении от составляющих размера сечения и прочности бетона [72].

$$Q_b = \frac{M_b}{c} = \frac{0,15R_n b h_0^2}{c}, \quad (1.6)$$

где, Q_b – поперечная сила, воспринимаемая бетоном в наклонном сечении; $R_{и}$ – расчетное сопротивление бетона на сжатие при изгибе; b – ширина прямоугольного сечения; h_0 – рабочая высота сечения; c – проекция наиболее опасного наклонного сечения.

Эмпирическая формула М.С. Боришанского показала снижение несущей способности железобетонных балок по наклонному сечению при увеличении пролета среза. Эта связь имеет гиперболическую форму, как показано на рисунке 1.10. Влияние пролета среза на несущую способность по наклонному сечению подтверждена в исследованиях [13, 16, 18, 22, 24, 117].

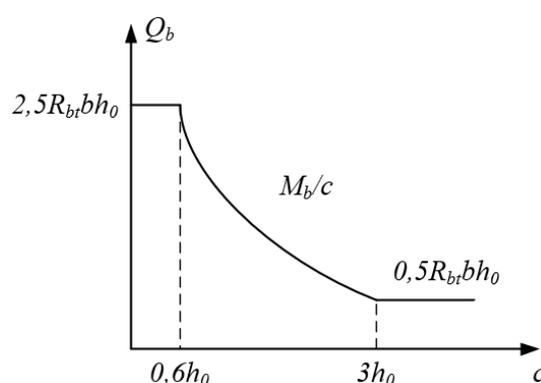


Рисунок 1.10 – График зависимости $Q_b=f(c)$ [66]

Метод М.С. Боришанского впоследствии многократно уточнялся и дополнялся другими отечественными исследователями, например А.С. Залесовым, О.Ф. Ильиным [14, 15, 19–21, 23, 32, 33], И.А. Титовым [27], Э.Е. Сигаловым [26], С.Г. Шеиной [25, 71], С.А. Зениным, Р.Ш. Шариповым, О.В. Кудиновым [28] и другими учеными [16, 24], и был включен в СНиП II–В.1–62 [60], СНиП II–21–75 [59], СНиП 2.03.01–84 [57], СП 63.13330.2018 [62].

Согласно [72], прочность бетона на сжатие при изгибе $R_{и}$ заменяется прочностью на растяжение R_{bt} . Учитывается коэффициент поперечного армирования хомутами, нормальных к продольной оси элемента и коэффициент влияния вида бетона на прочность на сжатие при расчете элементов на действие поперечной силы по сжатой полосе между наклонными трещинами. Показано влияние продольных сжимающих сил на прочность наклонных сечений при действии поперечных сил. Предложен метод учета продольного армирования на

прочность сжимающих и растягивающих напряжений при расчете по полосе между наклонными сечениями и по наклонным сечениям для внецентренно сжатых и предварительно напряженных изгибаемых элементов.

Имеются также рекомендации по расчету прочности по наклонным сечениям тавровых и двутавровых элементов, основанные на обобщении выводов, полученных из исследований Ч.Б. Игнатвичуса [30], У.В. Раускаса [54], М.С. Боришанского [6], Л. Барановского [2], А.С. Залесова [21], И.Н. Старишко [63] и других. Исследования влияния формы поперечного сечения на прочность наклонных сечений также производили Т.А. Мухамедиев, С.А. Зенин [48, 49], П.П. Польской [52], Е.В. Клименко [35].

Все вышеперечисленные исследования в настоящее время являются основой для построения, дополнения и совершенствования стандартов проектирования. Однако в зависимости от метода исследований, модели и применяемой теории в каждой стране используется свой метод определения предельной несущей способности наклонных сечений железобетонных элементов.

1.4 Несущая способность железобетонных балок по наклонному сечению

1.4.1 Распределение поперечной силы в железобетонных балках

Согласно исследованиям Н.Р.Дж. Тейлора [111], А.А. Гвоздева и др [9], А.С. Залесова [24], и других, составляющие поперечной силы в железобетонных балках зависят от зацепления бетона и усилия нагельной силы, зоны сжатия бетона без трещин, поперечной арматуры (рис. 1.11).

Как показано на рисунке 1.11, до образования нормальных трещин вся поперечная сила воспринимается бетоном. После их образования и до появления наклонных трещин сопротивление срезу оказывает бетонное сечение без трещин (Q_{bl}), нагельной силы (Q_s) и усилия зацепления (Q_{crc}). С образованием наклонной трещины часть поперечной силы начинает передаваться на хомуты (Q_{sw}).

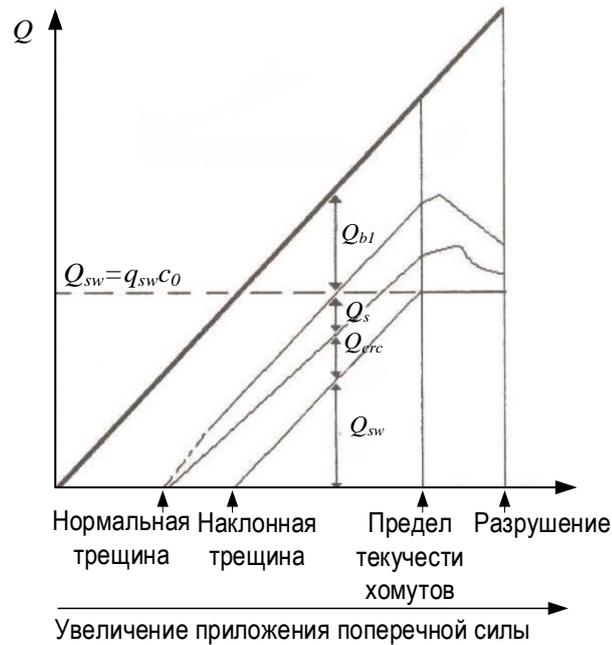


Рисунок 1.11 – Распределение поперечной силы в железобетонных балках [111]

Увеличение ширины раскрытия наклонных трещин приводит к перераспределению усилий – доля поперечной силы, приходящейся на силы зацепления, начинает уменьшаться. Когда напряжение в хомутах достигает предела текучести, вся поперечная сила распределяется между поперечными стрежнями, сжатой зоной бетона и продольной арматурой [51].

Предельная несущая способность изгибаемых элементов к сдвигу выражается следующей формулой (рис. 1.12):

$$Q \leq Q_u = Q_b + Q_{sw} = (Q_{b1} + Q_{crc} + Q_s) + Q_{sw}, \quad (1.7)$$

где,

$$Q_b = Q_{b1} + Q_{crc} + Q_s. \quad (1.8)$$

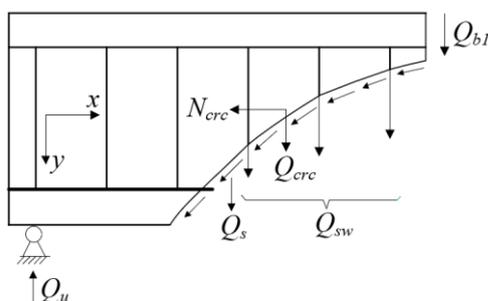


Рисунок 1.12 – Сопротивление сдвигу в железобетонной балке [42]

В относительной количественной оценки Q_{crc} и Q_s у различных

исследователей нет единого мнения и единой методики их определения. Согласно [51], что для статистического анализа Q_s и Q_{crc} пока не имеется достаточного количества экспериментальных данных. На основании экспериментов И.А. Титова [67] и О.Ф. Ильина [23], профессор А.А. Гвоздев и его коллеги [9] на основе анализа пришли к выводу, что суммарная величина поперечной силы, воспринимаемая сжатым бетоном над наклонной трещиной, нагельной силы и силой зацепления ($Q_b+Q_s+Q_{crc}$) близка для балок с хомутами и без хомутов.

Таким образом, нормы большинства стран не учитывают наличия этих усилий при расчетах и считают, что вся поперечная сила, приложенная к балке без поперечной арматуры, воспринимается бетоном сжатой зоны выше наклонной трещины [62, 77, 84, 91, 102].

1.4.2 Факторы, влияющие на несущую способность железобетонных элементов по наклонным сечениям

Согласно [24] к факторам, влияющим на предельную несущую способность на наклонных участках железобетонных элементов, относятся:

А. Внешние факторы, такие как:

- тип нагрузки (сосредоточенная нагрузка, распределенная нагрузка);
- режим загрузки (статический, динамический, повторяющийся);
- температура окружающей среды.

Б. Конструктивные факторы:

- интенсивность поперечного армирования;
- прочностные и деформационные характеристики бетона;
- размер и форма поперечного сечения;
- продольное армирование;
- предварительное напряжение.

Вопросы влияния продольной растянутой арматуры на предельную несущую способность железобетонных элементов по наклонным сечениям затронуты во многих исследованиях. Однако в настоящее время в СП 63.13330.2018 [62] влияние продольной арматуры на несущую способность изгибаемых железобетонных

элементов по наклонному сечению на действие поперечных сил не учтено.

1.4.3 Влияния продольной арматуры на несущую способность изгибаемых железобетонных элементов по наклонным сечениям

А. Исследования в России

Профессор А.А. Гвоздев и его коллеги [9] предложили новый метод определения несущей способности по наклонному сечению на основе двухблочной модели (рис. 1.13).

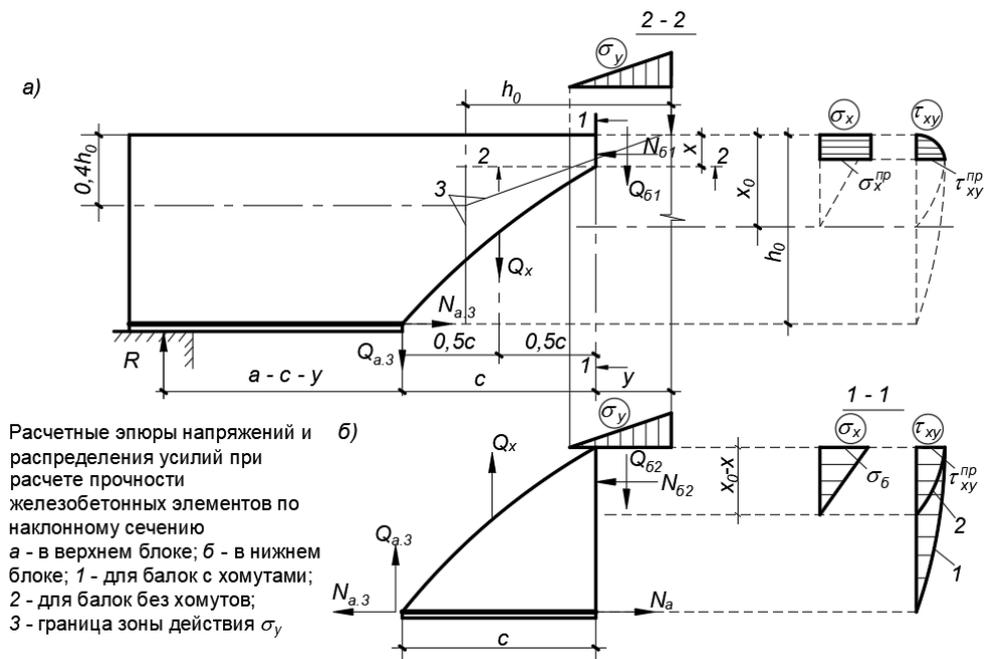


Рисунок 1.13 – Двухблочная схема А.А. Гвоздева и др [9]

Влияние продольной арматуры на несущую способность железобетонных элементов по наклонному сечению определяется через величину высоты зоны сжатия бетона (выше и ниже вершины наклонной трещины) по следующим формулам:

– над наклонной трещиной

$$Q_{\sigma 1} = \frac{2}{3} \omega_3 \tau_{xy}^{np} b x, \quad (1.9)$$

– под наклонной трещиной для балок без хомутов

$$Q_{\sigma 2} = \frac{2}{3} \omega_4 \tau_{xy}^{np} b (x_0 - x), \quad (1.10)$$

– под наклонной трещиной для балок с хомутами

$$Q_{\sigma 2}^* = \frac{2}{3} \omega_5 \tau_{xy}^{np} b (h_0 - x), \quad (1.11)$$

где τ_{xy}^{np} – предельные касательные напряжения; коэффициент $\omega_3 = \omega_4 = \omega_5 = 1$; b – ширина сечения балки; h_0 – рабочая высота сечения; x и x_0 – высота участка бетона над наклонной трещиной и высота сжатой зоны бетона по нормальному сечению.

Профессор А.С. Залесов и его коллеги [22] уточнили влияние продольной арматуры при расчете прочности по наклонным сечениям при разрушении в результате среза бетона над наклонной трещиной.

$$\frac{Q}{R_b b h_0} = \frac{R_{bt}}{R_b} \left(2 \frac{x_0}{h_0} - \frac{x}{h_0} \right), \quad (1.12)$$

где

$$\frac{x_0}{h_0} = -\alpha_s \mu_s + \sqrt{(\alpha_s \mu_s)^2 + 2\alpha_s \mu_s}, \quad (1.13)$$

$\alpha_s = \frac{E_s}{E_b}$ – отношение модулей упругости продольной арматуры (E_s) и бетона

(E_b); $\mu_s = \frac{A_s}{b h_0}$ – коэффициент армирования.

Профессор А.С. Залесов и Ю.А. Климов [24, 36] предложили модель расчета предельного равновесия и систему уравнений расчета (рис. 1.14).

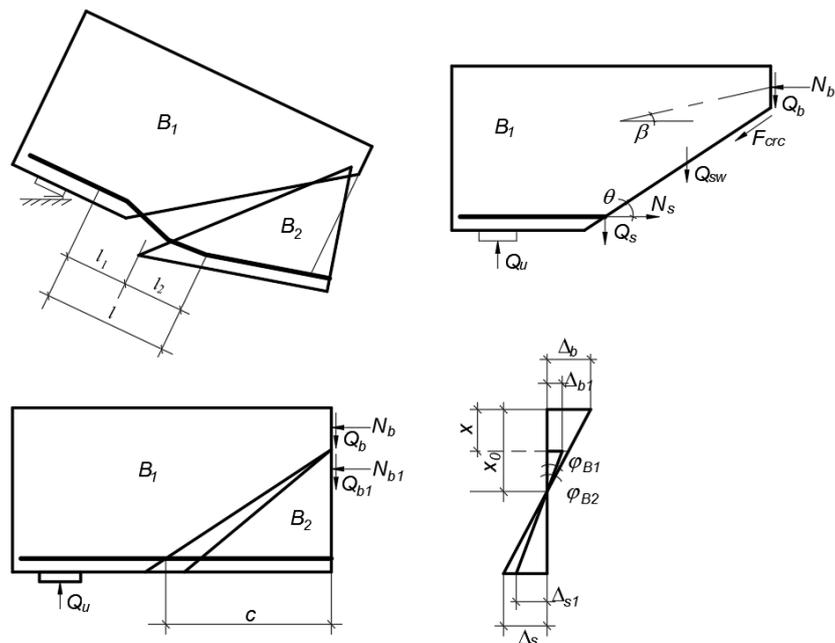


Рисунок 1.14 – Схема Залесова А.С., Климова Ю.А. для расчета модели наклонного сечения [24, 36]

Именно физическая модель, дающая четкие представления о внутренних усилиях, возникающих в элементе при действии внешней нагрузки, характере его деформирования и причинах разрушения должна быть положена в основу расчета железобетонных балок по наклонным сечениям.

Согласно [36], предельная поперечная сила, воспринимаемая системой, находится из уравнения равновесия блока B_1 на вертикальную ось:

$$Q_u = Q_b + Q_{sw} + Q_s + F_{crc} \sin \theta, \quad (1.14)$$

где,

$$Q_b = R_b b x (1 + 0,7\beta) \operatorname{tg} \beta, \quad (1.15)$$

$$Q_{sw} = q_{sw} c, \quad (1.16)$$

$$Q_s = \frac{12E_s J_s}{l^3} c (\varphi_{B1} - \varphi_{B2}) \left(1 + \frac{l_1 - 0,5l}{c} \right), \quad (1.17)$$

$$F_{crc} = \int_0^{l_{crc}} \tau_{crc} b dl, \quad (1.18)$$

$$l_{crc} = (h - x) / \sin \theta \leq a_{crc,u} / (\varphi_{B1} - \varphi_{B2}), \quad (1.19)$$

l_{crc} – длина контакта, τ_{crc} – касательные напряжения в представляются в функции взаимных смещений блоков B_1 и B_2 ; $a_{crc,u}$ – ограниченная ширина наклонной трещины. Остальные параметры показаны на рисунке 1.14.

Дау Тьеколо [12] предложил усовершенствованную формулу СНиП 2.03.01–84, основанную на определении длины проекции наклонной трещины на горизонтальную ось элемента в виде:

$$Q \leq Q(\tau) = \frac{b \cdot \xi_H \cdot m \cdot R_{np} \cdot \operatorname{tg} \beta}{(1 + \operatorname{tg}^2 \beta) h_0}, \quad (1.20)$$

где m – эмпирический коэффициент, равный 0,75–0,95; R_{np} – призмная прочность бетона; β – угол критической наклонной трещины; ξ_H – относительная высота сжатой зоны бетона, определяется по формуле:

$$\xi_H = \frac{x_H}{h_0} = \frac{\sigma_s \cdot \mu_s \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \beta)}{m \cdot R_{np}}, \quad (1.21)$$

x_H – высота сжатой зоны над наклонной трещиной; σ_s – напряжение в продольной арматуре;

А.С. Силантьев [56] предложил формулу, учитывающую влияние продольной арматуры как в зонах растяжения, так и в зонах сжатия. Поперечная сила, воспринимаемая сжатой зоной бетона, в том числе будет определяться аналогично формуле в российском стандарте с добавлением коэффициента для учета вклада сжимающей продольной арматуры:

$$Q_{b,sc} = \frac{\varphi_{b2}(1+\varphi_{sc})R_{bt}bh_0^2}{c}, \quad (1.22)$$

$$\text{где } \varphi_{sc} = \frac{A_{sc}\alpha_{sc}}{bh_0}; \quad a_{sc} = \frac{E_{sc}}{E_b}; \quad \varphi_{b2} = 1.$$

Вклад продольной растянутой арматуры в предельную поперечную силу определяют по формуле:

$$Q_s = \frac{0,92}{k} R_{sh,ult} \alpha_s A_s, \quad (1.23)$$

где коэффициент использования k , учитывает уровень нормальных напряжений в продольной арматуре:

$$k = \frac{\sigma_s}{R_s} = \frac{M_b}{R_s A_s (1-\xi/2)} = \frac{c \cdot Q_b}{R_s A_s (1-\xi/2)}, \quad (1.24)$$

Относительная высота сжатой зоны ξ определяется для стадии разрушения, R_s – расчетного сопротивления арматуры растяжению. Поэтому, поперечная сила, воспринимаемая изгибаемым железобетонным элементом без хомутов, составит:

$$Q_{ult} = Q_{b,sc} + Q_s = \frac{\varphi_{b2}(1+\varphi_{sc})R_{bt}bh_0^2}{c} + \frac{0,92}{k} R_{sh,ult} \alpha_s A_s. \quad (1.25)$$

Кроме того, в [56] предложен и другой метод, основанный на определении высоты зоны сжатия изгибаемого элемента как для упругого тела. Тогда предельная поперечная сила для балок прямоугольного сечения определяется по формуле:

$$Q = R_{sh,max} b \frac{h_0}{0,5 + \frac{bc}{A_s} \frac{R_{sh,max}}{R_s}}, \quad (1.26)$$

$$\text{где } R_{sh,max} = \tau_{xy,max} = \frac{R_b + R_{bt}}{2\sqrt{3}}.$$

С.Н. Карпенко [34] разработал модель расчета действия поперечных сил, основанную на рассмотрении условий равновесия сил в двух рядом расположенных

трещинах, разделенных расстоянием $l_{crс}$, и в вертикальных сечениях бетона над трещинами, а также на анализе напряженного состояния наклонной полосы между трещинами. Поперечные силы в продольной арматуре Q_s определяется по формуле:

$$Q_s \frac{h_0}{h_0 - x} \approx \frac{A_s R_s ctg \theta}{\eta_\tau}, \quad (1.27)$$

где θ – угол наклона трещин; коэффициент $\eta_\tau=16$.

Условия определения предельной поперечной силы и соответствующие критерии прочности записываются в виде:

$$Q \leq Q_n = R_{bt} b h_0 (k_1 + k_2 tg^2 \theta + k_3 \chi_m^2) + q_{sw} h_0 ctg \theta + \frac{A_s R_s ctg \theta}{\eta_\tau}, \quad (1.28)$$

где, для элементов без хомутов:

$$k_1=0,1; k_2=0,6; k_3=1,05; \eta_\tau=16; \chi_m \leq 1,1; \theta \geq 33,7^\circ;$$

для элементов с хомутами:

$$k_1=0,1; k_2=0,6; k_3=1,3; \eta_\tau=16; \chi_m \leq 1,1.$$

В исследовании В.Б. Филатова и др [68–70], аналогичного А.С. Залесову [24] предельная поперечная сила на наклонном сечении определяется тремя основными компонентами: касательным усилием в бетоне сжатой зоны в конце наклонной трещины (Q_{bl}), касательным усилием в продольной растянутой арматуре в начале наклонной трещины (нагельный эффект) (Q_s), вертикальной составляющей усилия зацепления по длине наклонной трещины (Q_a) (рис. 1.15).

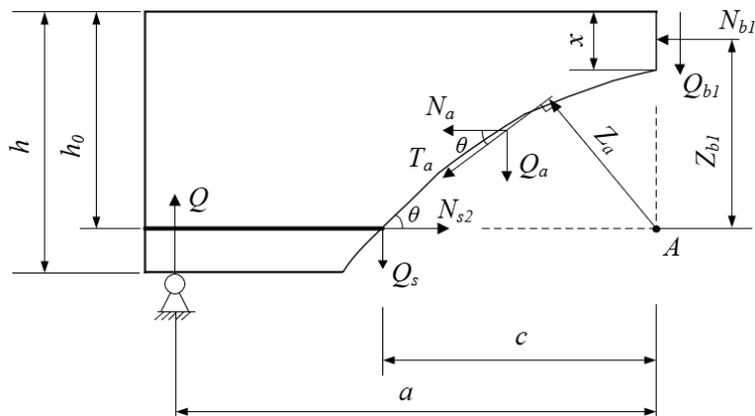


Рисунок 1.15 – Расчетная модель наклонного сечения [68, 70]

Однако, в отличие от А.С. Залесова [24], эти значения сил определяются именно без использования итерационного метода. По [68, 70], условие прочности

наклонного сечения изгибаемого элемента без хомутов на действие поперечной силы запишется в виде:

$$Q \leq Q_{b1} + Q_s + Q_a, \quad (1.29)$$

где

$$Q_{b1} = R_{bt} b h_0 x \omega = R_{bt} b h_0 \frac{\xi^2}{1 - \xi}, \quad (1.30)$$

$$Q_s = \frac{N_{s2} \operatorname{ctg} \theta}{8}, \quad (1.31)$$

$$Q_a = \frac{0,18 R_{bt}^{3/4} b h_0 (1 - \xi)}{0,31 + \frac{24 a_{crc} (1 - \xi)}{a_g + 16}}, \quad (1.32)$$

Здесь, величину относительной высоты сжатой зоны бетона над наклонной трещиной ξ находим из уравнения:

$$\xi^2 + 2\mu_s \alpha_s \xi - 2\mu_s \alpha_s \varphi = 0, \quad (1.33)$$

где $\varphi = 1 - 0,7 / (100\mu_s + 1)$.

Ширина раскрытия наклонной трещины a_{crc} определяется по формуле:

$$a_{crc} = l_{crc} N_{s2} / (A_s E_s) = l_{crc} \sigma_{s2} / E_s, \quad (1.34)$$

где $l_{crc} = 1,5h_0$.

С.Б. Крылов, В.И. Травуш, А.С. Крылов [38, 39] разработали положение о новой методике расчета прочности наклонных сечений железобетонных балок, позволяющей объединить в одно целое два расчета – расчет прочности по наклонному сечению на действие моментов и на действие поперечных сил. Этот метод также учитывает влияние на предельную поперечную силу, воспринимаемую сечением, продольную силу, продольное армирование и форму поперечного сечения балки.

Предельная поперечная нагрузка, воспринимаемая бетоном, определяется из уравнения равновесия моментов относительно точки C (рис. 1.16):

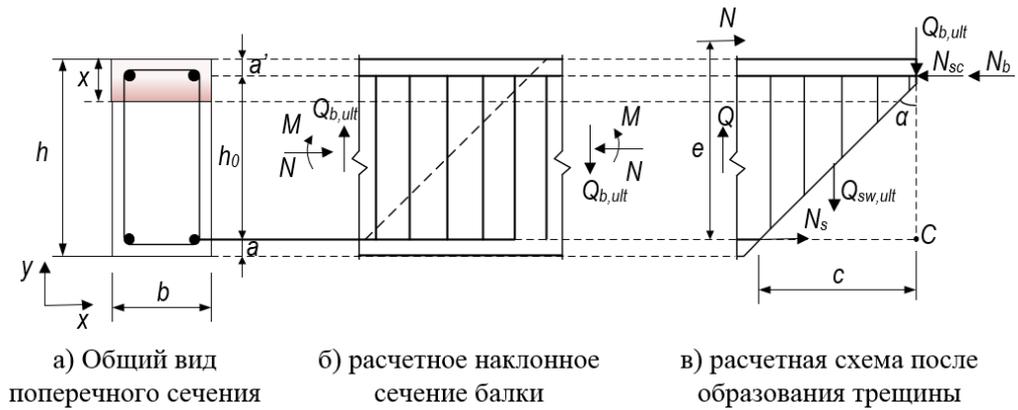


Рисунок 1.16 – Равновесие участка железобетонной балки на стадии образования наклонной трещины [38, 39]

$$Q_{ult} = \frac{N_b (h_0 - 0,5x) + N_{sc} (h_0 - a') + Q_{sw,ult} \frac{c}{2} - Ne}{c}, \quad (1.35)$$

где,

$$N_b = 1,61R_b b x, \quad (1.36)$$

$$N_{sc} = R_{sc} A_{sc}, \quad (1.37)$$

$$Q_{sw,ult} = 0,8q_{sw} c = 0,8 \frac{R_{sw} A_{sw}}{s_w} c, \quad (1.38)$$

где A_{sw} – площадь поперечной арматуры с шагом s_w , расположенной в пределах проекции наклонного сечения c на продольную ось элемента.

Высота зоны сжатия x определяется по формуле

$$x = \frac{R_{bt} b h_0 - R_{sc} A_{sc} + R_{bt} A_{s,red} + N}{b(R_b + R_{bt})}, \quad (1.39)$$

где площадь растянутой продольной арматуры, приведенная к бетону $A_{s,red}$ определяется по формуле:

$$A_{s,red} = A_s \frac{E_s}{E_{b,sec}} = A_s \frac{E_s}{R_{bt} / \varepsilon_{bt2}}. \quad (1.40)$$

И.Н. Старишко [64] предложил рассчитывать прочность изгибаемых железобетонных элементов по наклонному сечению, используя взаимосвязь напряженно–деформированного состояния при действии нагрузки как в нормальных и наклонных сечениях к продольной оси элементов, вплоть до разрушения балок.

Поперечная сила в стадии разрушения по наклонному сечению определяется из уравнения равновесия моментов внешних и внутренних сил относительно центра тяжести продольной арматуры в нормальном сечении при действии сосредоточенной силы.

$$Q_p = \frac{R_b b x (h_0 - 0,5x) + 0,5 R_b b (x_0 - x) \left(h_0 - \frac{1}{3} x_0 - \frac{2}{3} x \right) \pm \sigma'_{cl} A'_{sp} (h_0 - a')}{c}. \quad (1.41)$$

Таким образом, при расчете прочности железобетонных балок по наклонному сечению, представленные выше методы, хотя и учитывают влияние продольной арматуры, однако расчет сильно усложняется, когда необходимо конкретно определить значение высоты бетона в сжатой зоне над наклонной трещиной x . Уравнения равновесия сил применяются только к верхнему блоку, что приводит к необходимости конкретно определять нагельную силу (Q_s) и усилия зацепления (Q_{crc}) между двумя блоками. Это усложняет расчеты и требует много времени.

Предложенные формулы в вышеуказанных методах сложны или требуют расчетов через множество промежуточных шагов, поэтому их трудно применять при включении в нормативные документы.

Б. Некоторые зарубежные стандарты проектирования

В рассматриваемых нормах действие продольной арматуры часто выражается формулой для определения поперечной силы, воспринимаемой бетоном в наклонном сечении, поэтому достаточно обратить внимание только на формулу определения несущей способности железобетонной балки без хомутов по наклонным сечениям.

Зарубежные стандарты:

– **ACI 318–19 (psi, kip, in)**

ACI 318–19 [77], железобетонные балки без предварительного напряжения без хомутов имеют сопротивление сдвигу, прогнозируемое по формуле:

$$V_c = \left(8 \lambda_s \lambda (\rho_w)^{\frac{1}{3}} \sqrt{f'_c} \right) b_w d \leq 5 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d, \quad (1.42)$$

или

$$V_c = 2 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d, \quad (1.43)$$

$$\text{где } \lambda_s = \sqrt{\frac{2}{1 + \frac{d}{10}}} \leq 1, \rho_w = \frac{A_s}{b_w d}.$$

– **BS 8110–1: 1997 (МПа, Н, мм)**

В стандарте BS 8110 [84] указано, что сопротивление сдвигу балок без хомутов должно рассчитываться с использованием следующего выражения:

$$V_c = \frac{0,79}{\gamma_m} \left(\frac{100 A_s}{b_w d} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{400}{d} \right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{f_{cu}}{25} \right)^{\frac{1}{3}} b_w d. \quad (1.44)$$

– **Eurocode 2 (ЕС 2) (МПа, Н, мм)**

В Еврокоде 2 2004 [91] несущая способность элемента без хомутов на сдвиг рассчитывается по формуле:

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} K (100 \rho_s f'_c)^{\frac{1}{3}} + 0,15 \sigma_{cp} \right] b_w d, \quad (1.45)$$

$$\text{где } C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c}; K = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2; \rho_s = \frac{A_s}{b_w d} \leq 0,02; \sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c}$$

– **Mode Code 2010 (МПа, Н, мм)**

Согласно Mode Code 2010 [102], расчетное сопротивление сдвигу бетона можно рассчитать следующим образом:

$$V_{Rd,c} = K_v \frac{\sqrt{f'_c}}{\gamma_c} z b_w, \quad (1.46)$$

где $\sqrt{f'_c}$ не следует принимать больше 8 МПа; $z=0,9d$. Термин K_v относится к влиянию деформации на стенку, а также к размеру заполнителя. Для вычисления K_v в балках без хомутов Mode Code 2010 предусматривает два уровня приближения, уровни I и II. Для приближения на уровне II,

$$K_v = \frac{0,4}{1 + 1500 \varepsilon_x} \frac{1300}{1000 + 0,7 K_{dg} z}, \quad (1.47)$$

K_{dg} – коэффициент размера, который можно определить следующим образом:

$$K_{dg} = \frac{48}{16 + d_g} \geq 1,15. \quad (1.48)$$

Для уровня I предполагается, что деформация в арматуре остается упругой на уровне разрушения при сдвиге, а значение K_{dg} равно 1,25.

Примечание: V_c и $V_{Rd,c}$ – сопротивление бетона сдвигу по стандартам; f'_c и f'_{cu} – прочностная характеристика бетона на сжатие; d – рабочая высота сечения; d_g – размер крупного заполнителя, b_w – ширина прямоугольного сечения; λ – коэффициент зависит от типа бетона (обычный бетон $\lambda=1$); γ_c , γ_m – коэффициент запаса прочности бетонных материалов, обычно принимаемый за $\gamma_c=1,5$, $\gamma_m=1,25$; ϵ_x представляет собой продольную деформацию на середине глубины элемента.

В соответствии с вышеуказанными стандартами влияние продольной арматуры учитывалось в процессе расчета посредством значения площади продольной арматуры, как [77, 84, 91], или коэффициента K_v , такого как [102].

В. Общие комментарии

Согласно [44], при сравнении результатов определения несущей способности по наклонному сечению железобетонной балки без хомутов размером 150x150x760 мм с относительной длиной пролета среза $a/h_0=3,0$, рассчитанной по СП 63.13330.2018, ACI 318-19 и EC 2 (табл. 1.1), видно, что при расчете по СП 63.13330.2018 без учета влияния процента продольного армирования, прочность железобетонных балок по наклонному сечению не зависит от содержания продольной растянутой арматуры.

Таблица 1.1 – Формулы для расчета железобетонных балок по наклонному сечению при действии поперечной силы

Документ	Формулы для расчета железобетонных балок по наклонному сечению при действии поперечной силы
СП 63.13330 (МПа, Н, мм)	$0,5R_{bt}bh_0 \leq Q_b = \frac{1,5R_{bt}bh_0^2}{c} \leq 2,5R_{bt}bh_0$
ACI 318-19 (psi, kip, in)	$V_c = \left(8 \cdot \lambda_s \cdot \lambda \cdot (\rho_w)^{\frac{1}{3}} \cdot \sqrt{f'_c} \right) \cdot b_w \cdot d \leq 5 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$
EC 2 (МПа, Н, мм)	$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} K (100 \rho_s f'_c)^{\frac{1}{3}} + 0,15 \sigma_{cp} \right] b_w d$

Между тем график зависимости несущей способности железобетонных балок по наклонному сечению на действие поперечной силы от процента армирования

продольного армирования при расчете по ACI 318-19 и EC 2 по форме близок к экспериментальным результатам. При содержании продольной армирования более 1,25% расчет по стандарту ACI 318–19 даст более точные результаты, чем СП 63.13330.2018. И при содержании продольной армирования более 1,75% расчет по EC 2 даст более точные результаты, чем СП 63.13330.2018 (рис. 1.17).

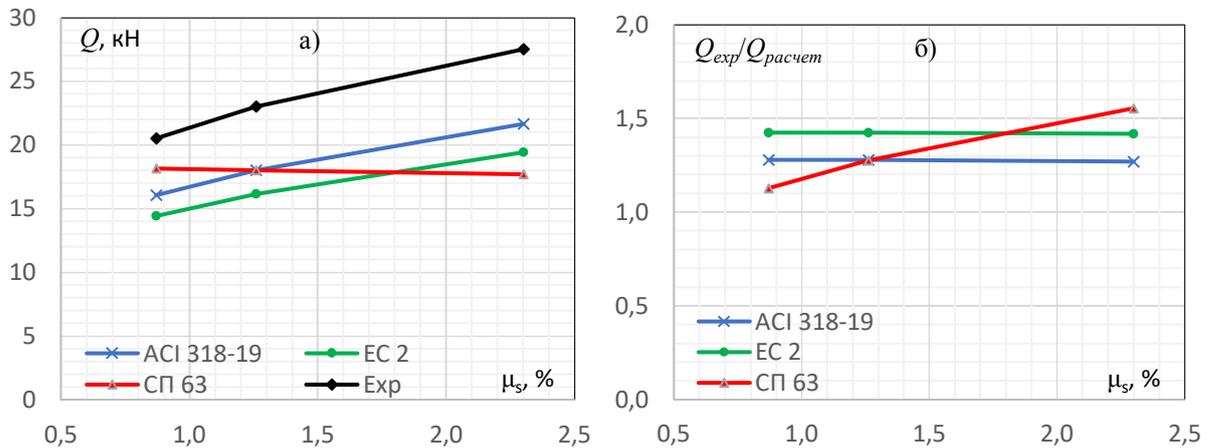


Рисунок 1.17 – Зависимости несущей способности (а) и относительной несущей способности (б) от процента армирования продольного армирования

Поэтому, разработка модели расчета железобетонных элементов по наклонным сечениям, обеспечивающей безопасность, простоту ее применения и оценку влияния продольной растянутой арматуры, позволит повысить точность и эффективность расчетов, что подтверждает актуальность модели.

1.5 Выводы главы 1

Анализ исследований российских и зарубежных авторов несущей способности изгибаемых элементов железобетонных конструкций по наклонным сечениям позволяет сделать следующие выводы:

1. Существующие методы и расчетные модели для определения несущей способности железобетонных балок по наклонным сечениям имеют свои достоинства и недостатки.

2. Образование и развитие наклонных трещин может быть описано тремя стадиями. Они носят случайный характер, поэтому трудно спрогнозировать тип разрушения, что затрудняет практическое применение некоторых методов расчета,

основанных на каждом виде разрушения, поскольку они неточно отражают фактические результаты.

3. При разрушении по наклонному сечению напряжения в продольной растянутой арматуре не достигают предела текучести арматуры, а зависимость напряжений и деформаций бетона в зоне сжатия ниже наклонной трещины имеет линейную зависимость, диаграмма напряжений сжимающего участка бетона над наклонной трещиной не линейна. График сдвиговых напряжений в бетоне в зоне сжатия также имеет вид параболической кривой с наибольшим значением, достигаемым в области наклонной вершины трещины.

4. Влияние продольной растянутой арматуры на несущую способность железобетонных балок по наклонным сечениям учтено в нормативных документах некоторых стран мира.

5. Методы определения несущей способности изгибаемых железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие поперечных сил с учетом продольного армирования, предложенные российскими учеными достаточно сложны и имеют некоторые ограничения, затрудняющих их применение.

6. Разработка метода расчета железобетонных балок по наклонному сечению на действие поперечных сил с учетом продольного армирования являются актуальной.

ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ИЗГИБЕ

Во второй главе приведены этапы подготовки и проведения экспериментальных исследований и представлены физико-механические свойства бетона и арматуры.

Изложены результаты экспериментального исследования несущей способности железобетонных балок по наклонным сечениям на действие поперечных сил при различных процентах продольного армирования и пролетов среза.

2.1 Описание эксперимента

Для проведения экспериментальных исследований было изготовлено 18 железобетонных балок геометрическими размерами 60x120x1000 ($b \times h \times l$) мм. Всего было испытано 3 серии балок, каждая серия включала в себя 6 балок:

Исследовано влияние продольного армирования на несущую способность по наклонному сечению железобетонных балок без поперечной арматуры (серия 1) и с поперечной арматурой (серия 2). Изучено влияние пролета среза на несущую способность железобетонных балок по наклонному сечению (серия 3).

Характеристики образцов балок и экспериментальные схемы представлены на рисунках 2.1 – 2.4.

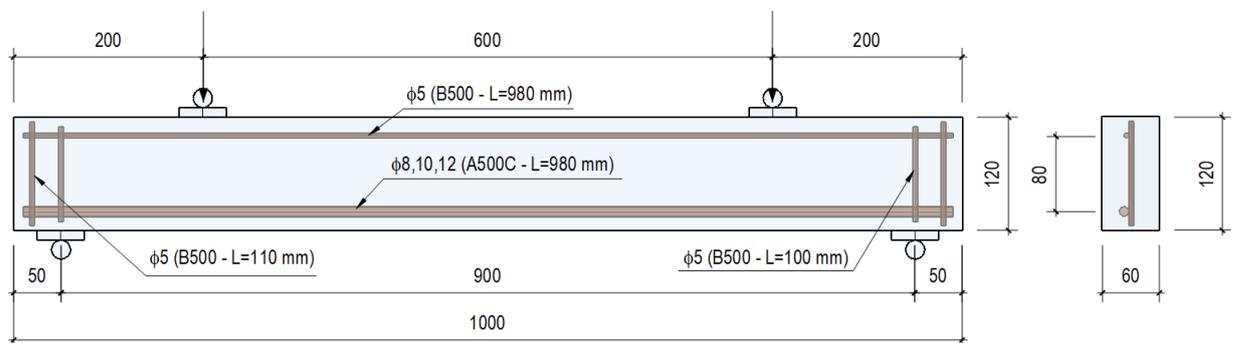


Рисунок 2.1 – Схема испытания железобетонных балок без поперечной арматуры серии 1

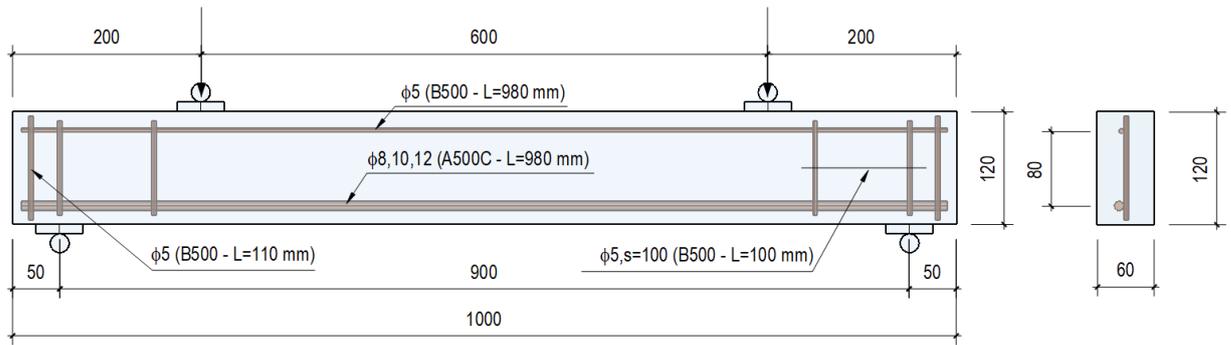


Рисунок 2.2 – Схема испытания железобетонных балок с поперечной арматурой серии 2

При испытаниях образцов серии 3 длина пролета среза «а» (расстояние от точки приложения силы до опоры балки) изменяется, она соответствует значениям $a=150, 200$ и 250 мм. Следовательно, параметр a/h_0 (отношение длины сдвигового пролета и высоты балки) соответствует $a/h_0=1,5; 2,0$ и $2,5$ при $h_0=100$ мм.

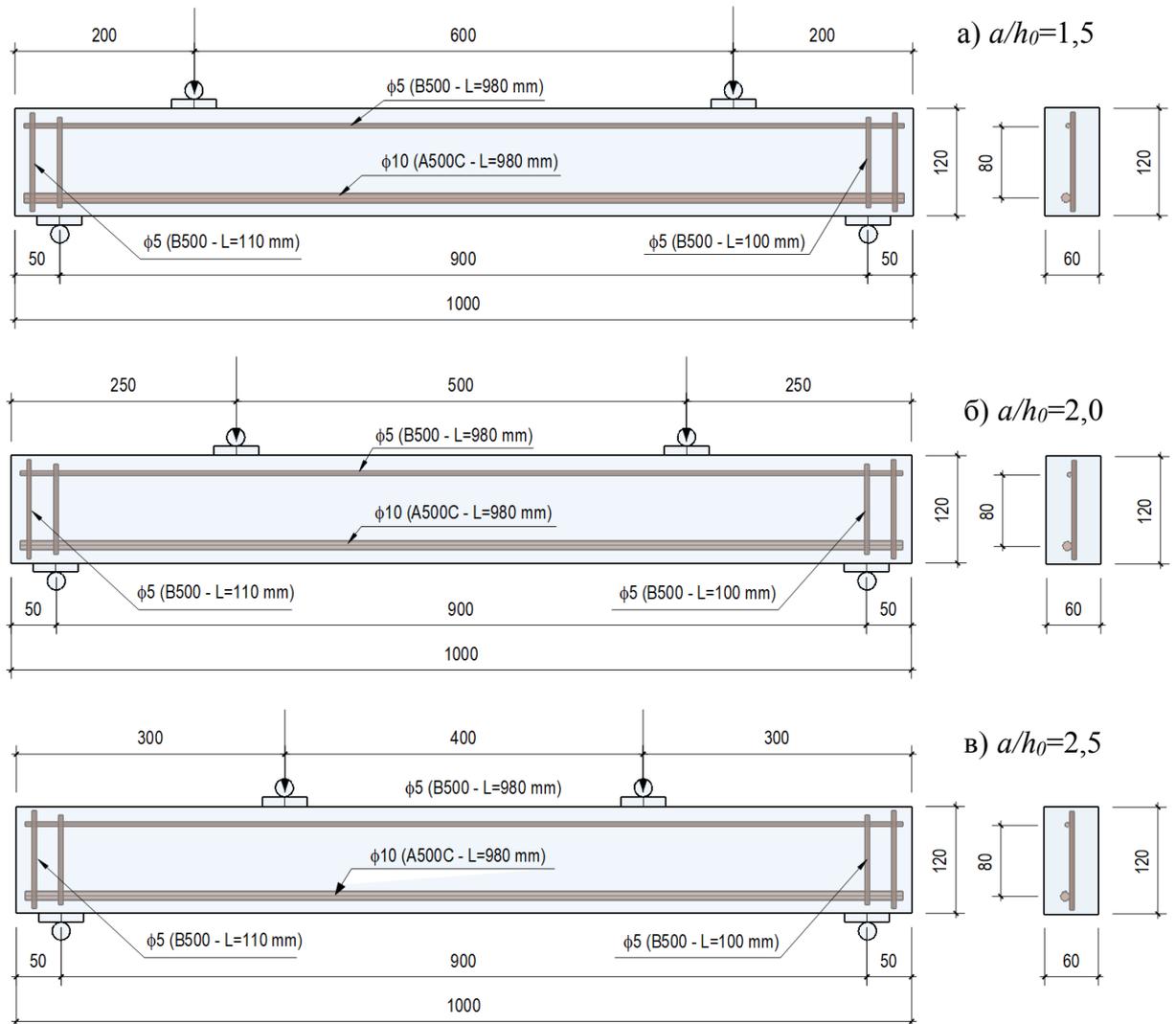


Рисунок 2.3 – Схема испытания железобетонных балок без поперечной арматуры серии 3

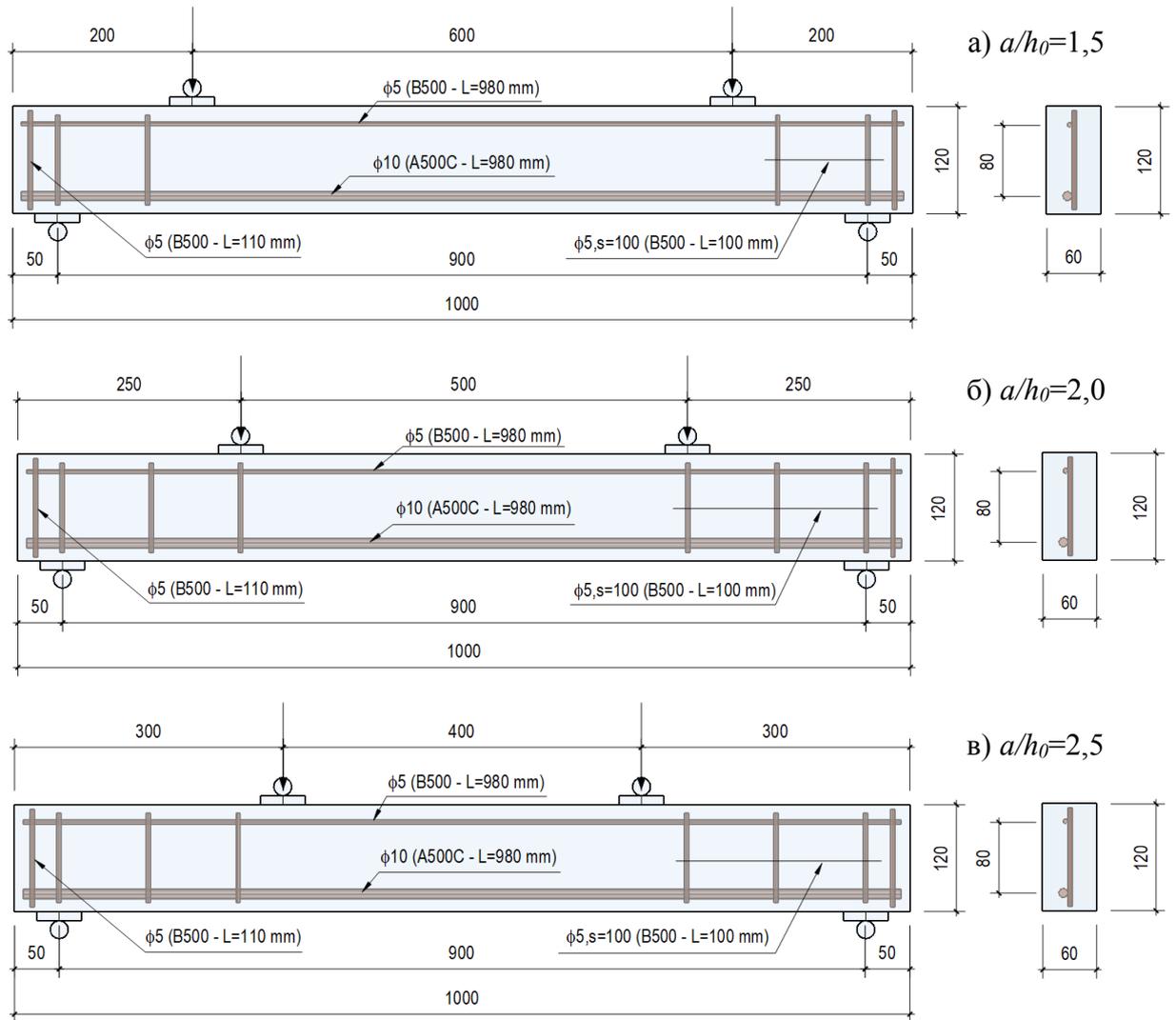


Рисунок 2.4 – Схема испытания железобетонных балок с поперечной арматурой серии 3

Общие характеристики экспериментальных образцов балок представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Экспериментальные образцы

Тип балки	Серия	Шифр балки	Продольная арматура μ_s (%)	Поперечная арматура μ_{sw} (%)	Количество балок (шт)
Железобетонные балки без хомутов	1	ЖБ1–1	0,84 (1 ϕ 8)	0	2
		ЖБ1–2	1,31 (1 ϕ 10)	0	2
		ЖБ1–3	1,88 (1 ϕ 12)	0	2
Железобетонные балки с хомутами	2	ЖБ2–1	0,84 (1 ϕ 8)	0,33 (ϕ 5,s=100)	2
		ЖБ2–2	1,31 (1 ϕ 10)	0,33 (ϕ 5,s=100)	2
		ЖБ2–3	1,88 (1 ϕ 12)	0,33 (ϕ 5,s=100)	2
Железобетонные балки	3	ЖБ3–1	1,31 (1 ϕ 10)	0	3
		ЖБ3–2	1,31 (1 ϕ 10)	0,33 (ϕ 5,s=100)	3

Шаг поперечной арматуры 100 мм ($s=100$).

Продольная растянутая арматура – А500С диаметрами 8, 10 и 12 мм, а верхняя продольная и поперечная арматура – В500С диаметром 5 мм.

Чертеж арматурных каркасов для железобетонных балок представлены на рисунке 2.5, арматурные каркасы для железобетонных балок показаны на рисунке 2.6.

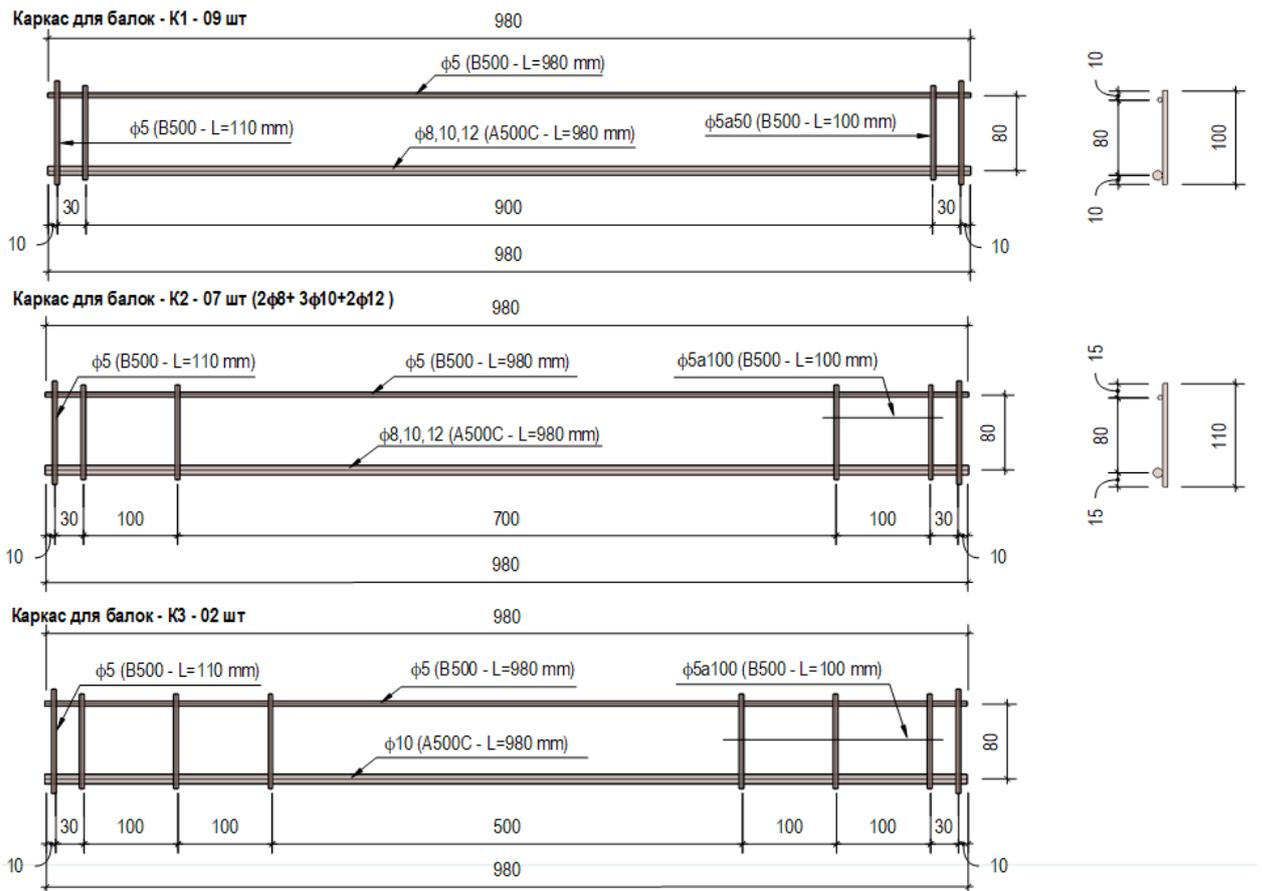


Рисунок 2.5 – Чертеж арматурных каркасов для железобетонных балок

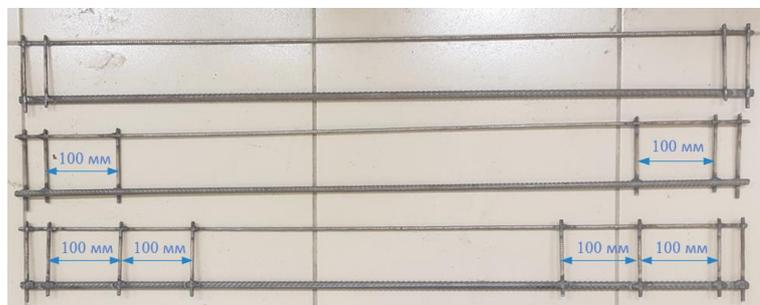


Рисунок 2.6 – Арматурные каркасы для железобетонных балок

Экспериментальная железобетонная балка оснащена с одним сварным каркасом, расположенным в середине ширины сечения, а расстояние от центра

тяжести растянутой продольной арматуры до растянутой бетонной кромки балки составляет 20 мм, соответственно рабочая высота балки (h_0) равна 100 мм.

2.2 Изготовление экспериментальных образцов

Экспериментальные образцы были изготовлены в следующем количестве:

- железобетонные балки 60x120x1000 мм: 18 шт;
- бетонные кубы 100x100x100 мм: 09 шт.

Для изготовления железобетонных балок были использованы деревянные опалубки, а для кубиков – металлические, как показано на рисунках 2.7 и 2.8. Перед заливкой бетона опалубку очищают и смазывают маслом.



Рисунок 2.7 – Опалубки для экспериментальных образцов балок



Рисунок 2.8 – Опалубки для кубов

Бетон, использованный для экспериментальных образцов, замешивали в лаборатории в соответствии с соотношением смеси, указанным в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Состав бетонной смеси

Наименование	Вес на 1м ³ (кг)
Цемент М500	335
Песок М _к =2,5	827
Количество щебня	951
Вода	215
В/Ц	0,642

Цемент марки 500, песок и щебень, используемые для приготовления бетонной смеси, представлены на рисунке 2.9.



Рисунок 2.9 – Цемент, песок и камень для бетона

Бетон замешивается с помощью бетоносмесителя БП-1Г-100.00.000 ПС, как показано на рисунке 2.10.



Рисунок 2.10 – Бетоносмеситель БП-1Г-100.00.000 ПС

После перемешивания бетонную смесь заливают в опалубку и уплотняют на

вибростоле. Затем образцы хранили в лаборатории при влажности воздуха около 80% и температуре помещения от 18 до 20⁰С. Экспериментальные образцы были покрыты пленкой для предотвращения быстрой потери воды, их регулярно обслуживали в соответствии с правилами, как показано на рисунке 2.11.



Рисунок 2.11 – Экспериментальные образцы после заливки

2.3 Определение прочностных характеристик материалов

2.3.1 Определение прочностных характеристик арматуры

Арматурные стержни класса А500С диаметрами 8, 10, 12 мм и поперечные арматуры класса В500С диаметром 5мм испытывались на растяжение по ГОСТ 12004–81 [11]. Было испытано 4 образца каждого диаметра. Образцы представляли собой отрезки арматуры длиной 50см, как показано на рисунке 2.12.

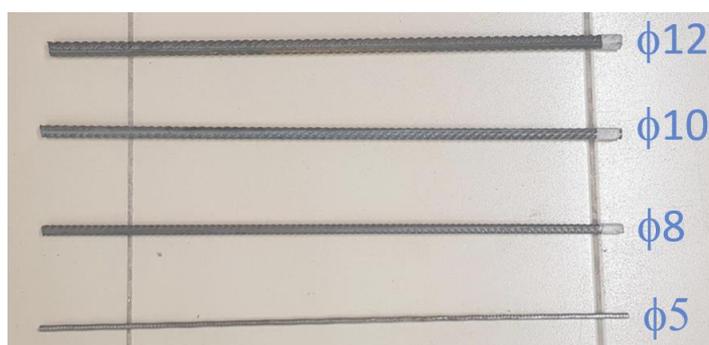


Рисунок 2.12 – Образцы арматуры для испытаний на растяжение

Испытание проводилось на универсальной машине УТ–04–0100 (UTM 100 кН). На рисунке 2.13 показана универсальная машина УТ–04–0100 в момент испытания образца арматуры.



Рисунок 2.13 – Общий вид машинного UT–04–0100 и арматурного стержня при испытании на растяжение

Зависимость «сила–перемещение» при испытании арматуры на растяжение регистрировалась системным программным обеспечением машины UT–04–0100.

2.3.2 Определение расчетных параметров бетона

А. Испытание образцов на сжатие

Бетонные кубики были испытаны на машине Powertest U–600 компании Ibertest (рис. 2.14).



Рисунок 2.14 – Испытательная машина Powertest U–600 от Ibertest

При бетонировании железобетонных балок из этой же бетонной смеси изготавливались образцы – кубы размерами 100x100x100 мм. Всего изготовлено 9 образцов кубов, по 3 образца на каждую серию испытаний.

Прочность бетона на сжатие определяют по ГОСТ 10180–2012 [10]. Прочность бетона на сжатие R_i , МПа, вычислялась по формуле:

$$R_i = \alpha (F / A), \quad (2.1)$$

где, α – коэффициент, зависящий от размера и формы образца, с образцом размера 100x100x100 мм, $\alpha=0,95$; F (Н) – разрушающая нагрузка; A (мм²) – площадь рабочего сечения образца.

Среднее значение (R_m) показателя прочности определяется по формуле:

$$R_m = \left(\sum_{i=1}^n R_i \right) / n, \quad (2.2)$$

где, n – количество тестовых образцов.

Б. Предел прочности и модуль упругости бетона

По А.П. Кудзису [40], средняя прочность бетона на растяжение (R_{btm}) и модуль упругости бетона (E_b) определяется по формулам:

$$R_{btm} = 0,23 \sqrt[3]{R_m^2} \text{ (МПа)}. \quad (2.3)$$

$$E_b = 52000 R_m / (23 + R_m) \text{ (МПа)}, \quad (2.4)$$

Предельная деформация при сжатии бетона принята по стандарту СП 63.13330.2018 [62] $\varepsilon_{b2} = 3,5 \cdot 10^{-3}$.

2.4 Организация экспериментов и результаты

2.4.1 Прочностные и деформационные характеристики арматуры

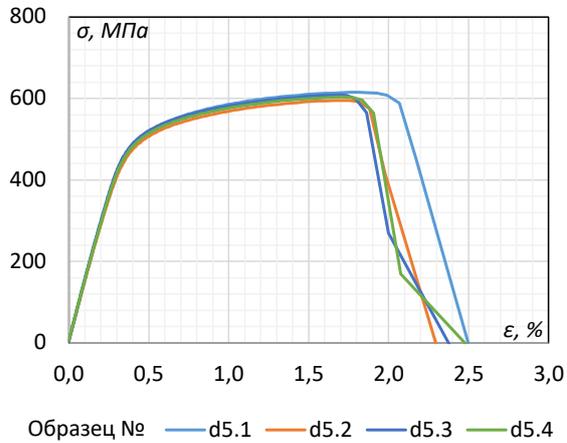
Для определения прочности арматуры использована испытательная машина (УТ-04-0100) (рис. 2.15).



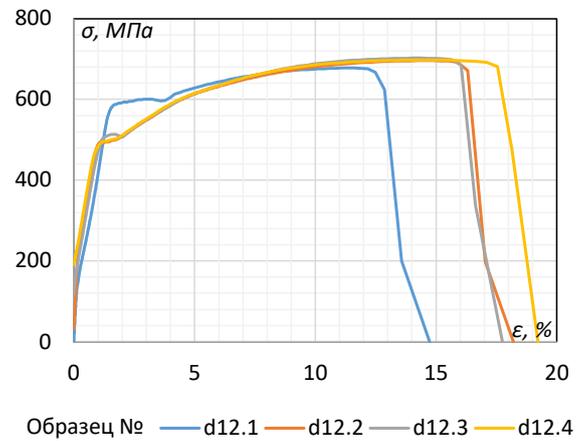
Рисунок 2.15 – Испытание на определение прочности арматуры при растяжении

Испытания проведены с постоянной скоростью нагружения 10 МПа/сек. За разрушающую нагрузку принимается максимальное значение силы.

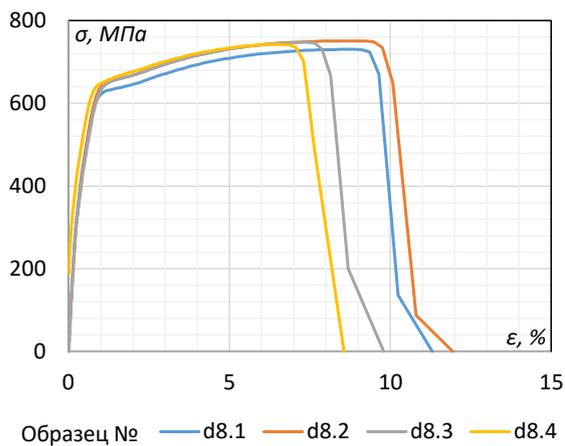
На графиках рисунка 2.16 показана зависимость «напряжение-деформация» при испытаниях арматуры на растяжение.



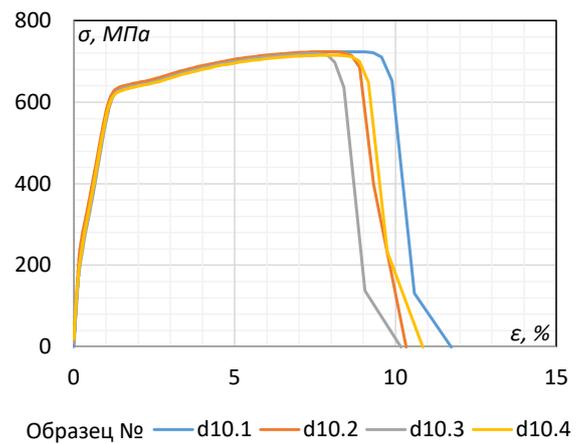
а) Арматуры с диаметром 5 мм



б) Арматуры с диаметром 12 мм



в) Арматуры с диаметром 8 мм



г) Арматуры с диаметром 10 мм

Рисунок 2.16 – Зависимость « σ – ϵ » при испытаниях арматуры на растяжение

Результаты эксперимента по определению прочности арматур на растяжение приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Результаты испытаний арматурных стержней

Номер образца	Длина рабочей части, L (мм)	Диаметр стержня, d (мм)	Площадь сечения, A_s (мм ²)	Характеристики материала		
				Физический предел текучести (МПа)	Предел прочности (МПа)	Относительное удлинение ε_s (%)
1	408	5	19,63	514,80	614,72	2,07
2	416			503,80	595,01	1,98
3	417	5	19,63	514,80	608,40	1,86
4	417			514,80	602,85	1,91
5	409	12	113,10	596,83	677,54	12,86
6	404			506,20	695,90	16,31
7	417			509,79	702,24	16,05
8	405			504,21	697,40	17,55
9	409	10	78,54	636,62	724,08	9,90
10	419			642,68	723,96	8,89
11	419			636,62	719,15	8,40
12	420			625,59	715,08	9,17
13	424	8	50,27	630,25	730,28	9,63
14	417			649,35	750,87	10,08
15	420			644,18	747,35	8,14
16	420			654,52	742,58	7,30

На основании проведенных испытаний определены характеристики арматуры согласно таблице 2.4, в которой модуль упругости и величина деформации арматуры определены согласно СП 63.13330.2018 [62].

Таблица 2.4 – Характеристики механических свойств арматуры

№	Образец	Физический предел текучести R_s (МПа)	Предел прочности σ_u (МПа)	Деформации, соотв. физическому пределу текучести ε_{s0} (%)	Модуль упругости E_s (МПа)
1	Ø8 класса А500С	644,58	742,77	0,322	200000
2	Ø10 класса А500С	635,38	720,57	0,318	200000
3	Ø12 класса А500С	529,26	693,27	0,265	200000
4	Ø5 класса В500С	512,05	605,25	0,258	200000

2.4.2 Прочностные и деформационные характеристики бетона

Образцы устанавливаются и центрируются таким образом, чтобы нагрузка равномерно распределялась на контактной поверхности образца с пресс-пластиной перегружателя, как показано на рисунке 2.17.



Рисунок 2.17 – Образцы бетонных кубов при испытании на сжатие

Во время испытания нагрузка непрерывно увеличивается со скоростью 0,4–0,6 МПа/с до тех пор, пока образец не будет разрушен [10] (рис. 2.18). Наибольшее значение силы принимается за разрушающую нагрузку.



Рисунок 2.18 – Картинки разрушения бетонных образцов-кубов на сжатие

Прочность на сжатие испытанных образцов бетона после преобразования в образцы бетонных кубов 150 мм, представлены на рисунке 2.19.

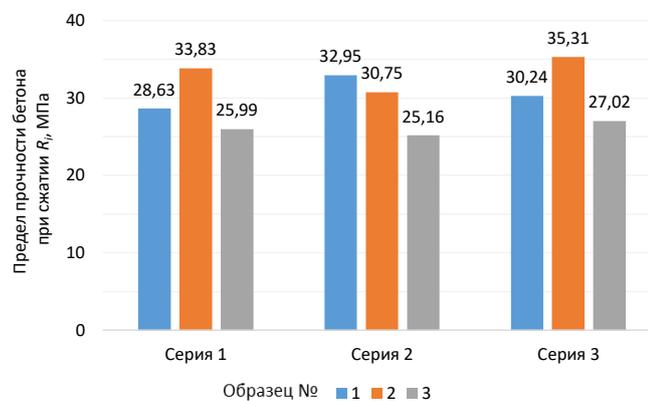


Рисунок 2.19 – Диаграмма прочности на сжатие испытанных образцов бетона после преобразования в образцы бетонных кубов 150 мм

Характеристики бетона представлены в таблице 2.5. Результаты экспериментов представлены в Приложении 1.

Таблица 2.5 – Характеристики механических свойств бетона

Серия	Плотность (кг/м ³)	Средняя кубиковая прочность, R_m (МПа)	Средняя прочность бетона на растяжение, R_{btm} (МПа)	Начальный модуль упругости, E_b (МПа)	Предельные деформации при сжатии, ε_{b2} (‰)
1	2399,0	29,484	2,195	29212	3,5
2	2342,4	29,620	2,202	29271	3,5
3	2358,0	30,858	2,263	29794	3,5

Примечание: Средняя кубиковая прочность и плотность бетона определяют экспериментально в Приложении 1. Остальные значения определяют, как представлено в разделе 2.3.2.

2.4.3 Испытание железобетонной балки при поперечном изгибе

Эксперименты с железобетонными балками проводились на универсальном оборудовании UT-05-1000 с максимальной нагрузкой до 1000 кН, как показано на рисунке 2.20.



Рисунок 2.20 – Универсальная машина UT-05-1000 в процессе испытания железобетонной балки

На рисунке 2.21 представлена схема испытания балки и измерительного оборудования. В частности, величина нагрузки P контролируется непосредственно испытательной машиной UT-05-1000.

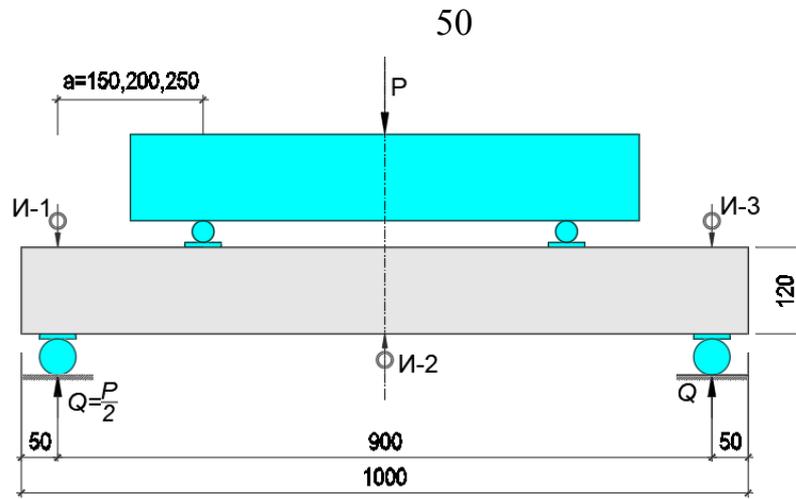


Рисунок 2.21 – Схема нагружения балки

Монтаж измерительного оборудования производится после установки балки в испытательную машину (рис. 2.22).

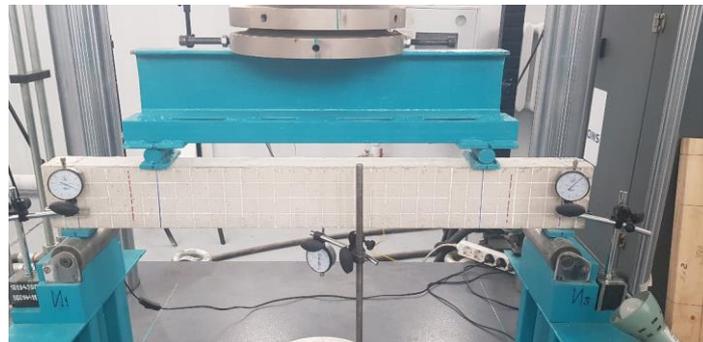


Рисунок 2.22 – Установка приборов и схема испытания изгибаемого элемента

Управление процессом испытания железобетонных балок выполнялось по специально разработанной программе. Нагрузка прикладывалась 5 ступенями. Скорость перемещения траверсы принята 1 мм/мин. Выдержка на каждой ступени нагружения составляла 5 минут (рис.2.23).

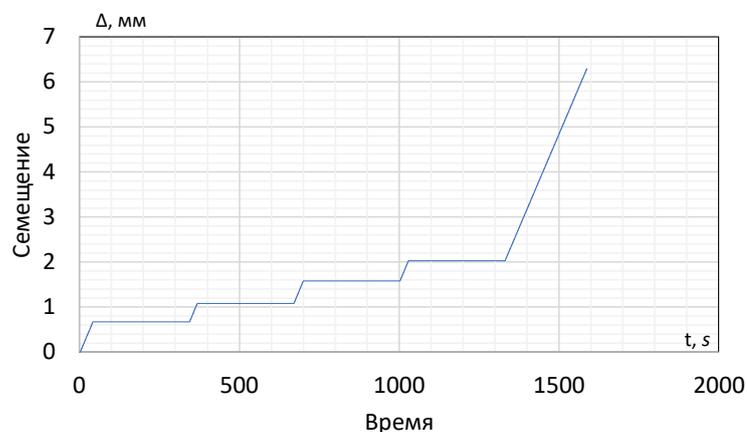


Рисунок 2.23 – Программа нагружения балок ЖБ1–2–2

На заключительном этапе нагрузка увеличивалась до разрушения балки. Трещины на испытательной балке отмечались маркером с указанием значения нагрузки, когда они появлялись.

Результаты экспериментов балок (зависимость силы–перемещения испытательных балки) представлены в Приложении 2.

2.4.4 Анализ результатов экспериментальных исследований железобетонных балок при поперечном изгибе

А. Несущая способность и форма разрушения экспериментальных железобетонных балок

Несущая способность железобетонной балки определяется как максимальное значение нагрузки, которую балка может выдержать при испытаниях. Процесс разрушения проявляется резким уменьшением приложенной к балке нагрузки или же нагрузка изменяется незначительно при больших перемещениях балки, сопровождающихся чрезмерным раскрытием трещин.

Результаты испытаний балок серии 1.

При испытаниях железобетонных балок серии 1 (без поперечной арматуры) разрушение происходит по наклонному сечению на участке от опоры до точки приложения силы (рис. 2.24).



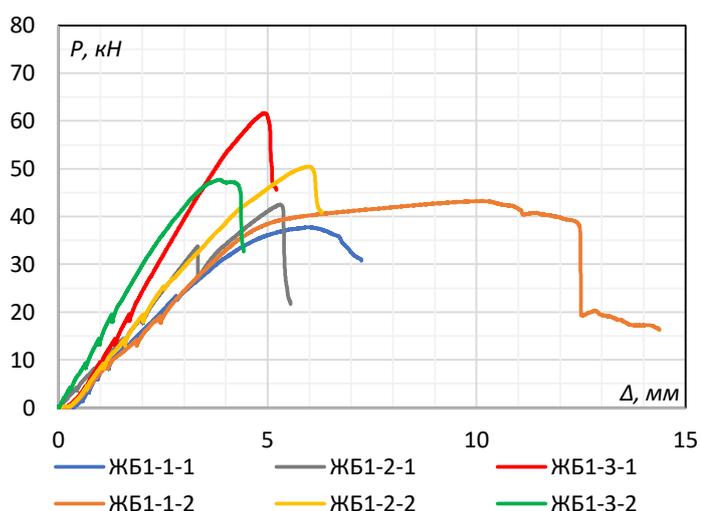
Рисунок 2.24 – Образцы серии 1 после испытания

По сравнению с железобетонными балками с содержанием продольной арматуры $\mu_s=0,84\%$ несущая способность балок по наклонному сечению увеличилась в 1,15 раза при проценте армирования $\mu_s=1,31\%$, и в 1,35 раза при содержании продольной арматуры $\mu_s=1,88\%$, как показано в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Сводная таблица экспериментальных образцов серии 1

Шифр балки	Продольная арматура μ_s (%)	Поперечная арматура μ_{sw} (%)	Разрушающее усилие P_{max} (кН)	Средние значение разрушающего усилия (кН)	Тип разрушения при
ЖБ1-1-1	0,84 (1 ϕ 8)	0	37,788	40,531	срез
ЖБ1-1-2	0,84 (1 ϕ 8)	0	43,274		срез
ЖБ1-2-1	1,31 (1 ϕ 10)	0	42,464	46,464	срез
ЖБ1-2-2	1,31 (1 ϕ 10)	0	50,464		срез
ЖБ1-3-1	1,88 (1 ϕ 12)	0	61,622	54,685	срез
ЖБ1-3-2	1,88 (1 ϕ 12)	0	47,747		срез

На рисунке 2.25 показано зависимость «сила–перемещение траверсы» ($P-\Delta$) в экспериментальных балках серии 1.

Рисунок 2.25 – График зависимости « $P-\Delta$ » экспериментальных балок серии 1

Результаты испытаний балок серии 2.

Для испытаний серии 2, поперечные арматуры устанавливались с содержанием $\mu_{sw}=0,33\%$ ($\phi 5$, шаг $s=100$ мм $> s_{max} = h_0/2 = 50$ мм). В балках серии 2 поперечная арматура не является расчетной. Хотя экспериментально зафиксировано повышение несущей способности.

Несущая способность балок увеличилась по сравнению с испытаниями серии 1. На рисунок 2.26 показаны образцы балок серии 2 после испытания.

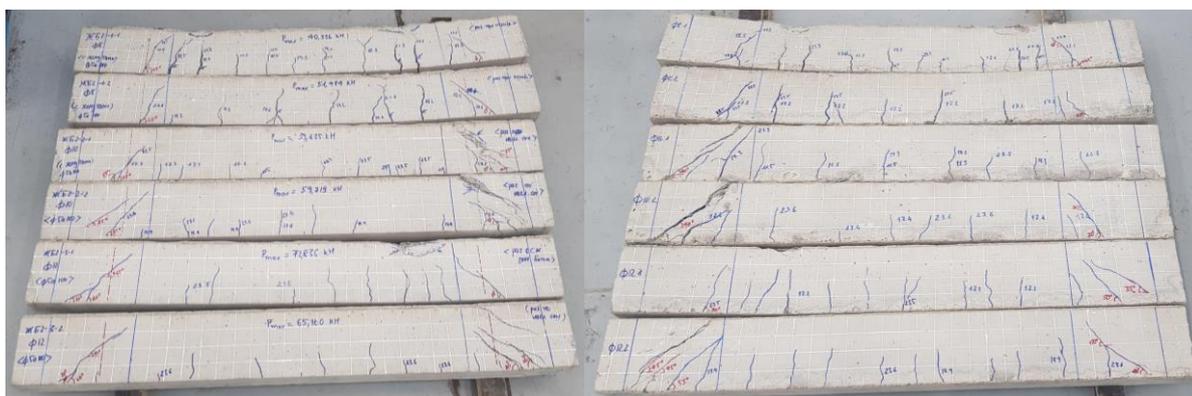


Рисунок 2.26 – Образцы серии 2 после испытания

Армирование поперечными арматурами (2 серия) повысило несущую способность балок по сравнению с 1 серией от 7% до 20%. При проценте армирования $\mu_s=0,84\%$ происходило разрушение балок по нормальному сечению. Наибольшее приращение несущей способности отмечено при проценте армирования продольной арматурой $\mu_s=1,88\%$. Повышение несущей способности балок по сравнению с балками без поперечной арматуры, испытанных в 1 серии, составило:

- при $\mu_s=0,84\%$ в 1,13 раза;
- при $\mu_s=1,31\%$ в 1,07 раза;
- при $\mu_s=1,88\%$ в 1,2 раза.

В серии 2 по сравнению с железобетонными балками с содержанием продольной арматуры $\mu_s=0,84\%$ несущая способность балки увеличилась:

- при $\mu_s=1,31\%$ в 1,08 раза;
- при $\mu_s=1,88\%$ в 1,5 раза;

В таблице 2.7 представлены экспериментальные результаты балок 2 серии.

Таблица 2.7 – Сводная таблица экспериментальных образцов – серия 2

Шифр балки	Продольная арматура μ_s (%)	Поперечная арматура μ_{sw} (%)	Разрушающее усилие P_{max} (кН)	Средние значение разрушающего усилия (кН)	Тип разрушения при
ЖБ2–1–1	0,84 (1 ϕ 8)	0,33 (ϕ 5, $s=100$)	40,336	45,910	изгиб
ЖБ2–1–2	0,84 (1 ϕ 8)	0,33 (ϕ 5, $s=100$)	51,484		изгиб
ЖБ2–2–1	1,31 (1 ϕ 10)	0,33 (ϕ 5, $s=100$)	39,635	49,677	срез

Шифр балки	Продольная арматура μ_s (%)	Поперечная арматура μ_{sw} (%)	Разрушающее усилие P_{max} (кН)	Среднее значение разрушающего усилия (кН)	Тип разрушения при
ЖБ2–2–2	1,31 (1 ϕ 10)	0,33 (ϕ 5, s =100)	59,719	68,998	срез
ЖБ2–3–1	1,88 (1 ϕ 12)	0,33 (ϕ 5, s =100)	72,836		изгиб
ЖБ2–3–2	1,88 (1 ϕ 12)	0,33 (ϕ 5, s =100)	65,160		срез

Результаты экспериментов показали, что прочность балки по наклонному сечению при усилении хомутами увеличивается.

В серии 2 для балок с содержанием продольной арматуры $\mu_s=0,84\%$ (1 ϕ 8) повышение несущей способности балки сопровождалось изменением характера и формы разрушения. Разрушение в этом случае происходило по нормальному сечению и носило пластический характер. Разрушение начиналось с появления и развития пластических деформаций в продольной растянутой арматуре, развитием и раскрытием нормальных трещин, и заканчивалось раздроблением бетона в сжатой зоне (рис. 2.27, 2.28).



Рисунок 2.27 – Разрушение балки ЖБ2–1–1



Рисунок 2.28 – Разрушение балки ЖБ2–1–2

Для балок с применением продольной растянутой арматуры диаметром 10 мм разрушение происходит по наклонному сечению между опорой и точкой приложения усилий. Разрушение бетона по наклонным трещинам в сочетании с развитием и раскрытием наклонных трещин происходит за счет среза бетона в сжатой зоне (рис. 2.29, 2.30).

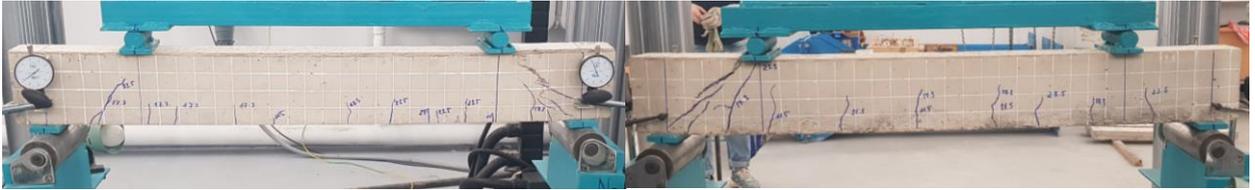


Рисунок 2.29 – Разрушение балки ЖБ2-2-1

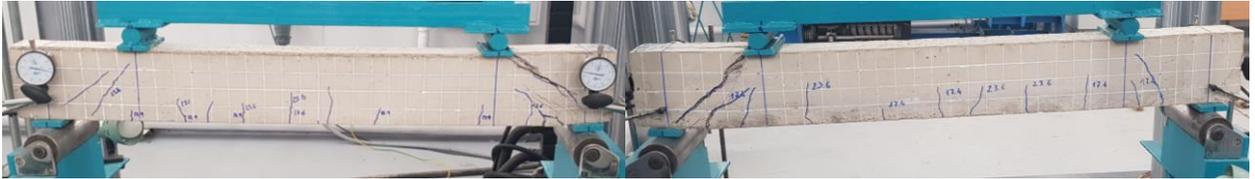


Рисунок 2.30 – Разрушение балки ЖБ2-2-2

Для балок с использованием продольной арматуры диаметром 12 мм разрушение происходит на наклонных сечениях между опорами и точкой установки силы. Происходит интенсивное раскрытие наклонной трещины в балке ЖБ2-3-2 (рис. 2.31), поэтому можно рассматривать, что балка разрушается по наклонному сечению. Железобетонная балка ЖБ2-3-1 разрушилась по нормальному сечению. Разрушение произошло по сжатой зоне бетона как переармированного элемента (рис.2.32).

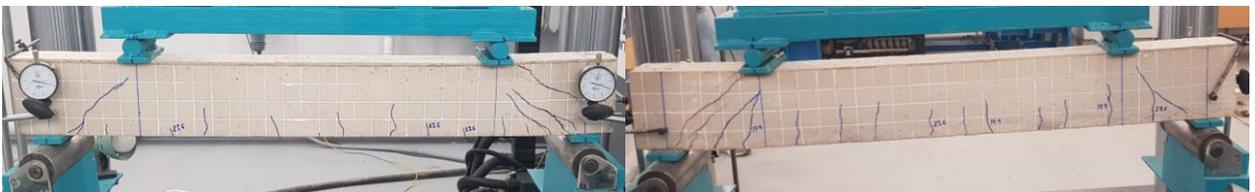


Рисунок 2.31 – Разрушение балки ЖБ2-3-2



Рисунок 2.32 – Разрушение балки ЖБ2-3-1

На рисунке 2.33 показана зависимость « $P-\Delta$ » для экспериментальных балок в серии 2.

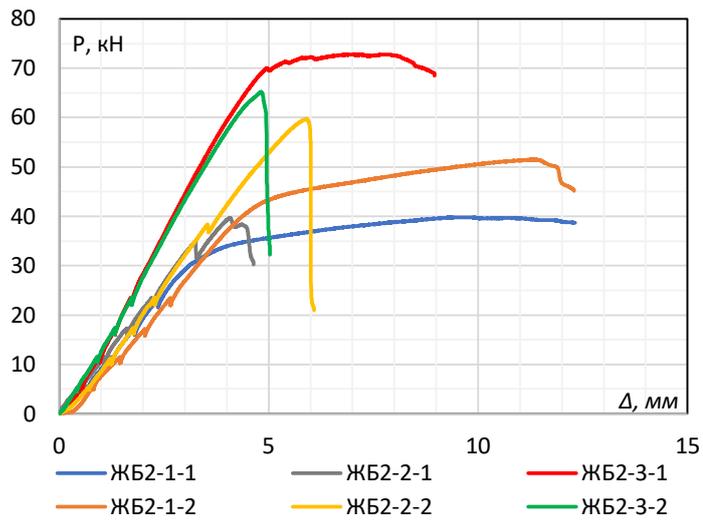


Рисунок 2.33 – График зависимости «P-Δ» экспериментальных балок серии 2

Результаты испытаний балок серии 3.

В экспериментах серии 3 испытываемые балки разрушались по наклонному сечению (рис. 2.34).

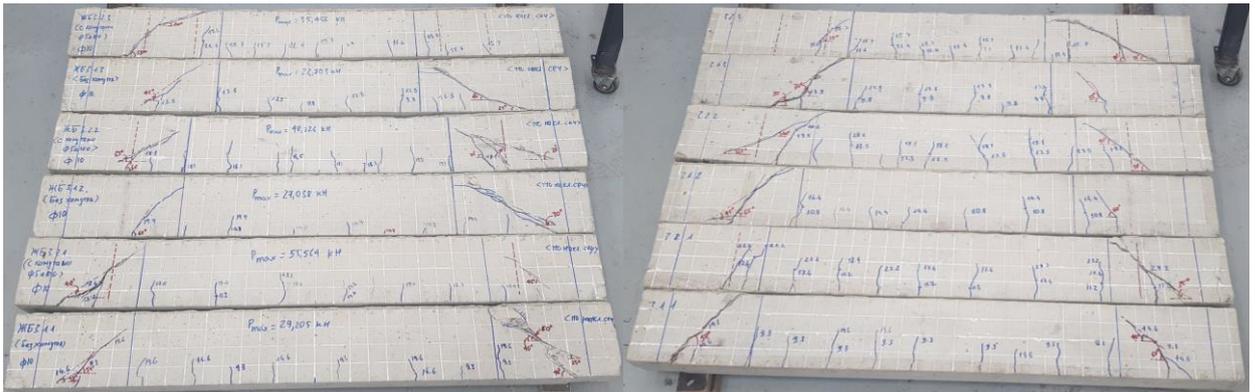


Рисунок 2.34 – Образцы серии 3 после испытания

По мере увеличения пролета среза «a» несущая способность балки уменьшается как для случая балки без поперечной арматуры, так и для случая балки с поперечной арматурой.

Для балок без поперечной арматуры при уменьшении отношения пролета среза к рабочей высоте балки до $a/h_0=1,5$ несущая способность балок снизилась следующим образом:

- при $a/h_0=2,0$ в 1,08 раза;
- при $a/h_0= 2,5$ в 1,29 раза.

Для балок с поперечной арматурой увеличение отношения пролета среза к

рабочей высоте сечения с $a/h_0=1,5$ несущая способность балок снизилась еще больше:

- при $a/h_0=2,0$ в 1,15 раза;
- при $a/h_0=2,5$ в 1,57 раза.

Результаты испытаний представлены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Сводная таблица экспериментальных образцов – серия 3

Шифр балки	a/h_0	Продольная арматура μ_s (%)	Поперечная арматура μ_{sw} (%)	Разрушающее усилие P_{max} (кН)	Тип разрушения при
ЖБЗ-1-1	1,5	1,31 (1 ϕ 10)	0	29,205	срез
ЖБЗ-1-2	2,0	1,31 (1 ϕ 10)	0	27,038	срез
ЖБЗ-1-3	2,5	1,31 (1 ϕ 10)	0	22,703	срез
ЖБЗ-2-1	1,5	1,31 (1 ϕ 10)	0,33 (ϕ 5,s=100)	55,564	срез
ЖБЗ-2-2	2,0	1,31 (1 ϕ 10)	0,33 (ϕ 5,s=100)	48,226	срез
ЖБЗ-2-3	2,5	1,31 (1 ϕ 10)	0,33 (ϕ 5,s=100)	35,456	срез

На рисунке 2.35 показана зависимость « $P-\Delta$ » экспериментальных балок серии 3.

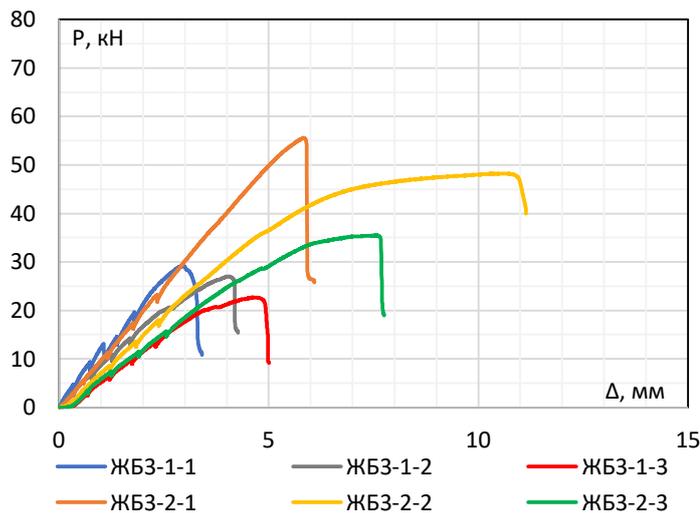


Рисунок 2.35 – График зависимости « $P-\Delta$ » экспериментальных балок серии 3

Б. Появление и развитие трещин в экспериментальных балках

Трещины в экспериментальных балках появляются как на нормальных сечениях (нормальные трещины), так и на наклонных сечениях (наклонные

трещины). Первые трещины наблюдаются при нагрузке $0,3-0,4 \cdot P_{max}$ и обычно представляют собой нормальные трещины в середине пролета балки.

По мере увеличения нагрузки трещины в середине балки расширяются и постепенно растут. Однако у балок с малым содержанием продольной арматуры (0,84%) трещины в середине балки развиваются сильнее и высота трещины больше, чем у балок с большим содержанием продольной арматуры (1,34% и 1,88%) (рис. 2.26 и 2.34).

Трещины в балках, в пролетах среза вблизи точки приложения силы, когда нагрузка мала, выглядят как нормальные трещины в середине пролета, однако при увеличении нагрузки, поперечная сила быстро увеличивается, и в результате этого развиваются наклонные трещины, направленные к точке приложения силы.

Наклонные трещины между точкой приложения силы и опорой появляются в конце 4-й или начале 5-й ступенях процесса нагружения. Они сначала появляются в середине высоты балки, а затем разрастаются в обе стороны до опоры и точки силы. В некоторых случаях, например для испытательных балок ЖБ1–2–1 и ЖБ2–2–1, внезапно появляются крупные наклонные трещины, сопровождающиеся уменьшением силы, что хорошо видно на графиках рисунков 2.25 и 2.33.

В испытаниях балок ЖБ2–2–1, ЖБ2–2–2 и ЖБ3–1–1, имеются также наклонные трещины, которые начинают развиваться из зоны сжатия бетона в точке приложения силы, сопровождающиеся отслаиванием бетона из-за раздробления бетона, как показано на рисунке 2.36.



Рисунок 2.36 – Раздробление бетона по наклонному сечению при испытании балки

Кроме того, существуют и горизонтальные трещины, возникающие наряду с отслаиванием вследствие разрушения бетона в зоне сжатия (рис. 2.24, 2.27 и 2.32). Разрушение, происходящее одновременно как на наклонном сечении, так и на

нормальном сечении, фиксируется в случаях экспериментальных балок марки ЖБ1–1–2, ЖБ2–3–1 (рис. 2.24, 2.26).

В. Зависимости «сила-перемещения»

Согласно графикам на рисунках 2.25, 2.33 и 2.35, видно, что: в случае разрушения балок по наклонным сечениям, и развитие трещин по нормальному сечению значительно меньше, чем развитие наклонных трещин, перемещение балки уменьшается с увеличением содержания продольной арматуры.

В случае разрушения балок по нормальным сечениям (ЖБ2-1-1, ЖБ2-1-2 и ЖБ2-3-1) или разрушения балки по наклонным сечениям, но с разрушением бетона в зоне сжатия (ЖБ1-1-2) или сильным развитием нормальных трещин (ЖБ3-2-2), перемещение балки оказывается значительно большим, чем в приведенном выше случае.

2.5 Выводы главы 2

По результатам экспериментальных исследований по определению несущей способности железобетонных балок при поперечном изгибе сделаны следующие выводы:

1. Разрушение балок при совместном действии поперечной силы и изгибающего момента наступали по наклонному сечению, однако балки ЖБ2–1–1, ЖБ2–1–2 и ЖБ2–3–1 разрушились по нормальному сечению. Разрушение балок ЖБ1–1–2, ЖБ2–3–1 произошло по наклонному и по нормальному сечению одновременно.

2. Результаты экспериментов показали, что увеличение процента армирования продольной арматуры повышает несущую способность балок по наклонным сечениям.

По сравнению с балками с содержанием продольной арматуры $\mu_s=0,84\%$, увеличение прочности составляет:

– для балок без поперечной арматуры несущая способность балки по наклонным сечениям увеличивается в 1,15–1,35 раза, что соответствует содержанию продольной арматуры в балке $\mu_s=1,31\%$ и $\mu_s=1,88\%$ соответственно.

– для балок с поперечной арматурой несущая способность балки по наклонным сечениям увеличивается в 1,08–1,5 раза, что соответствует содержанию продольной арматуры в балке $\mu_s=1,31\%$ и $\mu_s=1,88\%$ соответственно.

Можно констатировать, что научная гипотеза о влиянии продольного армирования на несущую способность по наклонному сечению получила экспериментальное подтверждение.

3. При разрушении балок по наклонным сечениям перемещение балки уменьшается с увеличением содержания продольной арматуры.

При разрушении балок по нормальным сечениям (ЖБ2-1-1, ЖБ2-1-2 и ЖБ2-3-1) и при разрушении балки по наклонному сечению, сопровождающегося разрушением бетона в зоне сжатия (ЖБ1-1-2) или сильным развитием трещин в нормальном сечении (ЖБ3-2-2), прогиб балки увеличивается.

4. Для испытаний серии 2 и 3 (3 балки в серии 3), поперечные арматуры устанавливались с содержанием $\mu_{sw}=0,33\%$ ($\phi 5$, шаг $s=100$ мм $> s_{max}=h_0/2=50$ мм). В этих балках, поперечная арматура не является расчетной. Хотя экспериментально зафиксировано повышение несущей способности.

5. Разрушение железобетонной балки по наклонному сечению происходит внезапно, независимо от наличия или отсутствия поперечной арматуры.

6. Результаты экспериментов по определению прочности бетонных кубов и арматуры использованы в качестве исходных данных для численных расчетов в главах 3 и 4.

ГЛАВА 3. ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ИЗГИБЕ

В третьей главе представлены численные исследования с использованием программного комплекса ABAQUS/Explicit. Физико-механические характеристики бетона и арматуры приняты по результатам экспериментов, приведенных в главе 2

3.1 Моделирование с использованием программного обеспечения ABAQUS

В настоящее время инженерные задачи обычно решаются тремя популярными методами: аналитические методы, численные методы и экспериментальные методы. Точность аналитических методов будет в рамках принятых допущений наибольшей, однако их можно использовать только при решении относительно простых задач.

Экспериментальные методы могут применяться только в лабораторных масштабах и являются дорогостоящими. С помощью численных методов в сочетании с развитием программного обеспечения можно решать самые сложные технические проблемы с допускаемыми погрешностями и материально-финансовыми затратами.

В данной диссертационной работе методом конечных элементов (МКЭ) выполнены численные расчеты с использованием программного комплекса ABAQUS для решения задач определения напряжений и деформаций железобетонных балок под действием поперечных сил с учетом нелинейной работы материалов (бетона и арматуры).

ABAQUS – это многофункциональная программная система для анализа методом конечных элементов мультифизических систем, включающая множество вычислительных методов. Аналитическая система ABAQUS обеспечивает точный, автоматизированный анализ механических и физических параметров исследуемых объектов и позволяет решать сложные задачи, такие как нелинейный анализ напряженно-деформированного состояния конструкций, крупномасштабные линейные динамические приложения и другие. ABAQUS может работать в

параллельных вычислительных системах, позволяя пользователям свести к минимуму допущения в вычислениях, а также позволяя пользователям вмешиваться в основную систему программы для управления через программирование соединений, описанное в командной строке.

Для железобетонных конструкций ABAQUS также позволяет моделировать сложное поведение с помощью расширенных моделей материалов, особенно моделей материалов, которые учитывают разрушение материала (модель поврежденного бетона).

Моделирование железобетонных балок в диссертации с использованием программного обеспечения ABAQUS проводится путем построения геометрических моделей, модели материала, модели нагрузки и граничные условия.

3.1.1 Геометрическое моделирование

Геометрическое моделирование – это дискретное разделение конструкции на конечные элементы, где выбор типа конечных элементов очень важен не только для определения качества анализа, но и с точки зрения эффективности использования времени и емкости памяти компьютера.

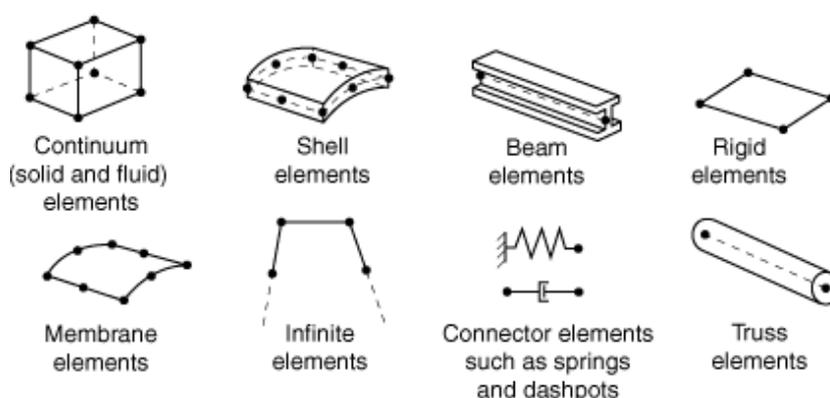


Рисунок 3.1 – Типы элементов в ABAQUS [73]

На рисунке 3.1, показаны некоторые типы элементов, обычно используемые для моделирования структур в ABAQUS. В частности, для моделирования железобетонных конструкций часто используются массивные (solid), балочные (beam) и ферменные (truss) элементы.

Использование 1D, 2D и 3D элементов во многих случаях является обязательным требованием. Учет симметрии конструкции и нагрузок, при котором необходимо моделировать только половину конструкции, также помогает сократить время обработки и повысить производительность моделирования.

При пространственном анализе (3D) бетон обычно моделируется с использованием твердых элементов (тетраэдра, шестигранника, октаэдра...). Между тем, армирование часто моделируют стержневыми элементами (фермой или балкой) через точки пересечения с бетонными элементами, когда необходимо детально рассмотреть сцепление бетона с арматурой. В некоторых продвинутых программах элементы армирования можно моделировать вложенными элементами во встроенной модели.

В диссертации для моделирования бетонных элементов используется элемент C3D8R в библиотеке материалов, который представляет собой трехмерный твердотельный элемент с 8 линейными узлами.

Для моделирования арматурных стержней используют стержневой элемент T3D2, в котором необходимо описать только площадь поперечного сечения без указания геометрического поперечного сечения, что уменьшит объем расчетов (рисунок 3.2).

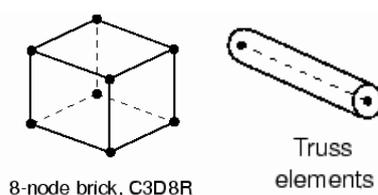


Рисунок 3.2 – Типы элементов C3D8R и T3D2 [73]

3.1.2 Моделирование материалов

Моделирование материалов – это объявление и присвоение характеристических параметров материалов в модели. Параметры материала могут быть определены непосредственно в результате испытаний или основаны на признанных теориях материалов.

А. Моделирование бетона

Трещины в бетоне в рассматриваемой задаче моделируются в программном

комплексе ABAQUS с помощью модели пластичного разрушения бетона с повреждениями (CDP – Concrete damaged plasticity) (рис. 3.3), которая способна отображать неупругое поведение бетона при растяжении и сжатии, включая повреждения [116]. В статьях [43, 46] использование модуля CDP дает результаты, близкие с экспериментальными.

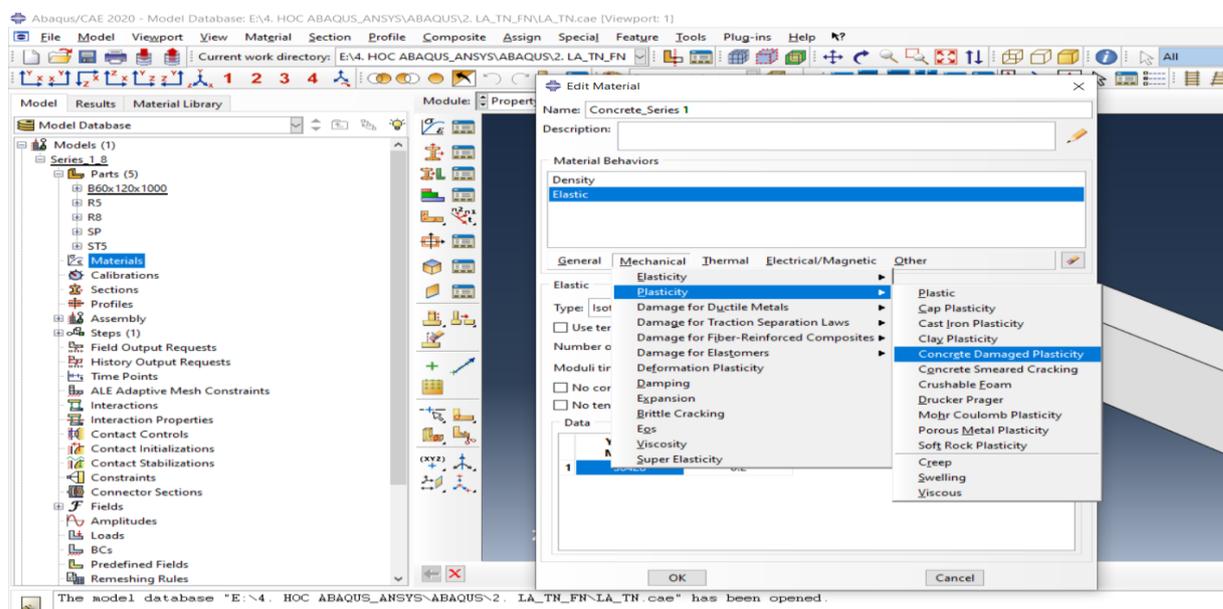


Рисунок 3.3 – Реализация модели CDP в ABAQUS

В модели CDP используется связь между напряжением и неупругой деформацией (ε_c^{in}) и деформацией растрескивания (ε_t^{ck}), которую можно определить по формулам (3.1) и (3.2) [73].

$$\varepsilon_c^{in} = \varepsilon - (\sigma_c / E_0) \quad (3.1)$$

$$\varepsilon_t^{ck} = \varepsilon - (\sigma_t / E_0) \quad (3.2)$$

где: σ_c и σ_t сжимающее и растягивающее напряжение в бетоне, соответствующее сжимающей и растягивающей деформации ε , определяется экспериментально и на основе формул, описывающих зависимость напряжения от деформации бетона при сжатии и растяжении; E_0 – начальный модуль упругости бетона.

Зависимость напряжения от деформации согласно модели CDP для бетона при сжатии и растяжении показана на рисунке 3.4

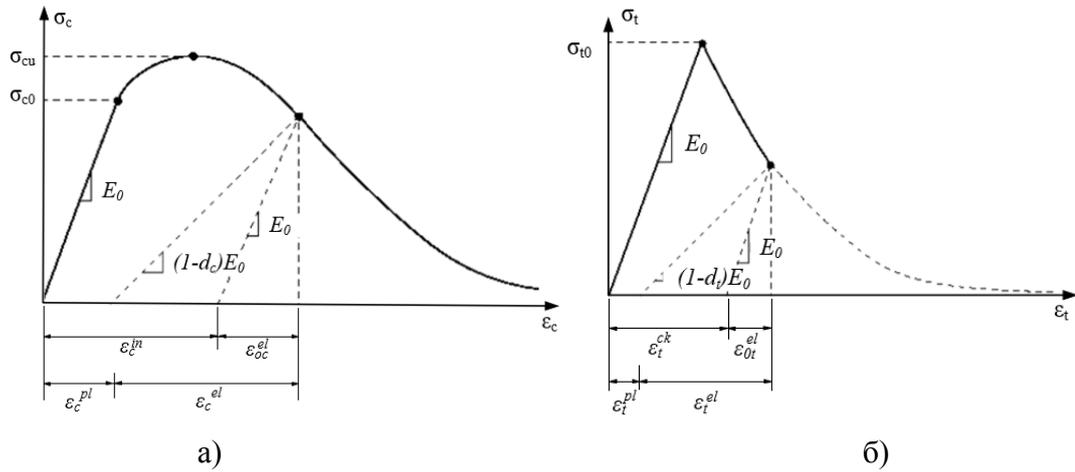


Рисунок 3.4 – Модель CDP для бетона при сжатии (а) и растяжении (б) [73]

Параметр разрушения при сжатии d_c определяется как отношение неупругой деформации к общей деформации. Параметр разрушения при растяжении, d_t определяется как отношение деформации растрескивания к общей деформации [73]. Эти параметры определяются по формулам (3.3) и (3.4).

$$d_c = 1 - (\sigma_c / \sigma_{cu}) \quad (3.3)$$

$$d_t = 1 - (\sigma_t / \sigma_{t0}) \quad (3.4)$$

где σ_{cu} и σ_{t0} – максимальная прочность бетона на сжатие и растяжение.

В таблице 3.1 представлены характеристики бетонных материалов, полученные в результате испытаний согласно главе 2.

Таблица 3.1 – Характеристики механических свойств бетона

Серия	Плотность (кг/м ³)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	ε_{b2} (%)	Коэффициенты Пуассона, ν
1	2399,0	29,484	2,195	29212	3,5	0,2
2	2342,4	29,620	2,202	29271	3,5	0,2
3	2358,0	30,858	2,263	29794	3,5	0,2

Зависимости «напряжения-деформации» (σ – ε) бетона при испытаниях на сжатие (рис. 3.5,а), рассчитываются по Mode Code 2010. Зависимости « d_c – ε_c^{in} » при сжатии бетона показаны на рисунке 3.5,б.

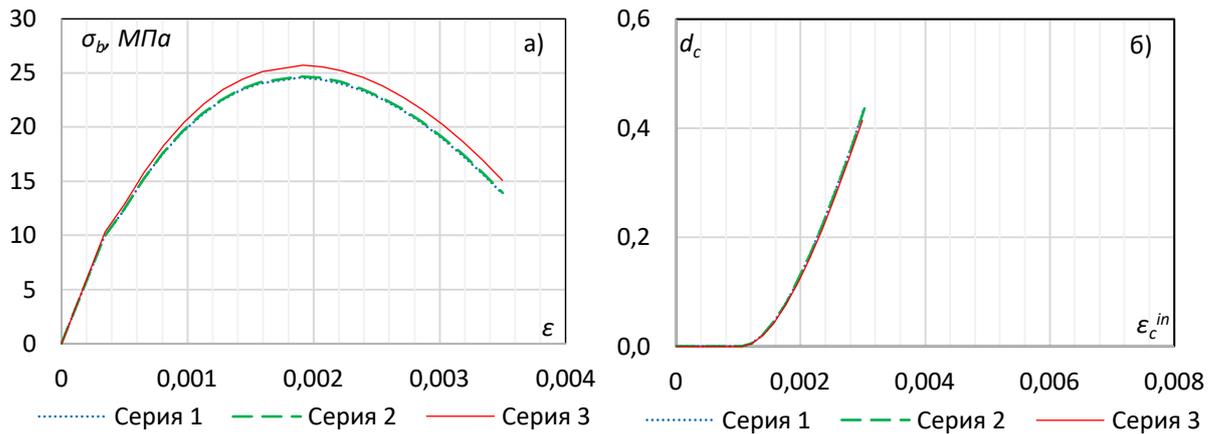


Рисунок 3.5 – Зависимости « σ – ϵ » (а) и « d_c – ϵ_c^{in} » (б) бетона при сжатии

Зависимость «напряжения–раскрытие трещины» (σ – w) бетона строится на основе Mode Code 2010 (рис. 3.6).

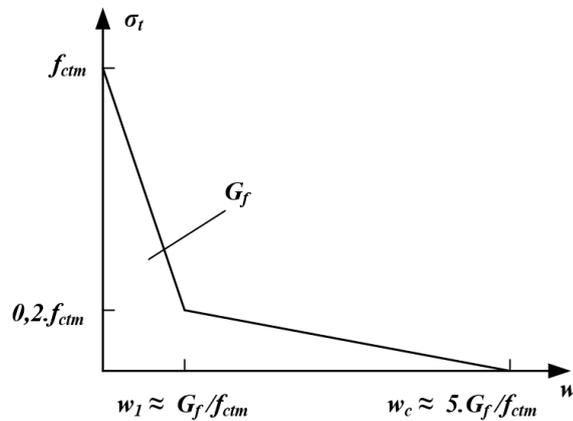


Рисунок 3.6 – Зависимость « σ – w » при одноосном растяжении бетона [86, 102]

Энергетический критерий разрушения экспериментальных бетонных образцов (G_F) при растяжении определяются по формуле (Mode Code 2010):

$$G_F = 73 \cdot f_{cm}^{0,18} \text{ (Н/м)}. \quad (3.5)$$

где, f_{cm} (МПа) – средняя прочность бетона на сжатие при испытаниях образцов–цилиндров (150x300 мм). Средняя цилиндрическая прочность получена исходя из средней кубиковой прочности по ГОСТ 10180-2012:

$$f_{cm} = R_m / 1,2 \text{ (МПа)}. \quad (3.6)$$

f_{ctm} – средняя прочность бетона на растяжение (Еврокод 2) определяется по условиям:

$$f_{ctm} = 0,3 f_{ck}^{2/3} \text{ (МПа)} \quad (3.7)$$

где, f_{ck} – требуемая (нормативная) прочность бетона на сжатие.

$$f_{ck} = f_{cm} - 8 \text{ (МПа)} \quad (3.8)$$

Однако, в диссертации среднее значение прочности бетона на растяжение f_{ctm} заменено значением R_{btm} (табл. 3.1).

Зависимости «напряжения–раскрытие трещины» и « d_t – w » при растяжении бетона показаны на рисунке 3.7.

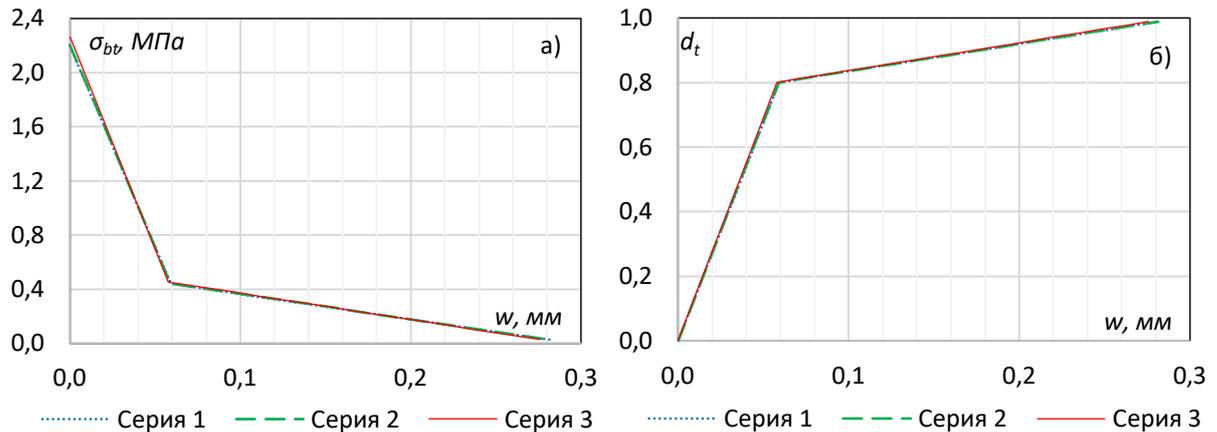


Рисунок 3.7 – Зависимости « σ – w » (а) и « d_t – w » (б) при одноосном растяжении бетона

При численном моделировании в программном комплексе ABAQUS использовались параметры пластичности бетона, согласно рекомендациям руководства пользователя, по модели CDP, представленные в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Параметры пластичности бетона по модели CDP [73]

Угол дилатации (Dilation Angle), ψ	Эксцентриситет (Eccentricity), ϵ	f_{b0}/f_{c0}	K	Параметр вязкости (Viscosity parameter)
30 и 50	0,1	1,16	0,67	0

Угол дилатации описывает пластическую деформацию, вызванную напряжением сдвига после упругой фазы. За счет влияния положения нагрузки (длины пролета среза), согласно [85, 98, 99, 106], при моделировании работы экспериментальных балок серий 1 и 2 угол дилатации бетона принимался $\psi=50^\circ$. Моделирование балок серии 3 выполнено при углах дилатации $\psi=50^\circ$ и $\psi=30^\circ$.

Конкретные параметры бетона представлены в Приложении 3.

Б. Моделирование продольной арматуры и хомутов

Упругопластическая модель используется для моделирования свойств

материала арматуры. Для описания взаимосвязи напряжений и деформаций арматуры использовалась двухлинейная диаграмма по СП 63.13330.2018 (рис. 3.8). В частности, предел прочности арматуры R_s определяется по результатам экспериментов, изложенных главе 2. Для арматуры В500, выполняющей роль поперечной арматуры, значение R_s заменяется на R_{sw} (где $R_{sw}=0,8 \cdot R_s$ [58]). Плотность арматуры принята 7850 кг/м^3 , коэффициент пуассона (ν) 0,3.

Эту модель можно использовать как для растягивающего, так и для сжимающего поведения арматуры.

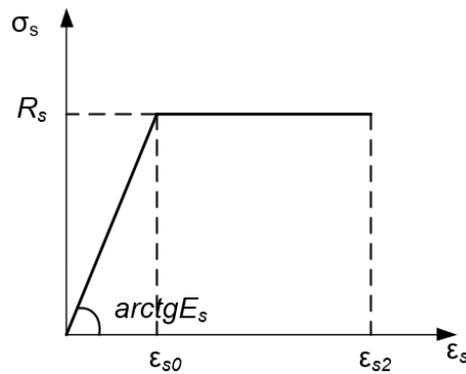


Рисунок 3.8 – Диаграммы состояния растянутой арматуры [62]

Основные параметры арматуры описаны в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Характеристики механических свойств арматуры

№	Образец	R_s (МПа)	R_{sw} (МПа)	Относительные деформации		E_s (МПа)
				ε_{s0} (%)	ε_{s2} (%)	
1	φ8 класса А500С	644,58	–	0,322	2,5	200000
2	φ10 класса А500С	635,38	–	0,318	2,5	200000
3	φ12 класса А500С	529,26	–	0,265	2,5	200000
4	φ5 класса В500С	512,05	409,6	0,258	2,0	200000

Стальные пластины для опорных элементов, считаются абсолютно твердым материалом.

3.1.3 Моделирование нагрузок и граничных условий

Численная модель железобетонной балки собирается из отдельных частей (parts) с помощью, соответствующей команды ввода ограничений (constraint) между частями (рис. 3.9). Арматура моделируется с помощью конечного элемента

«embedded region» в предположении абсолютного сцепления между бетоном и арматурой.

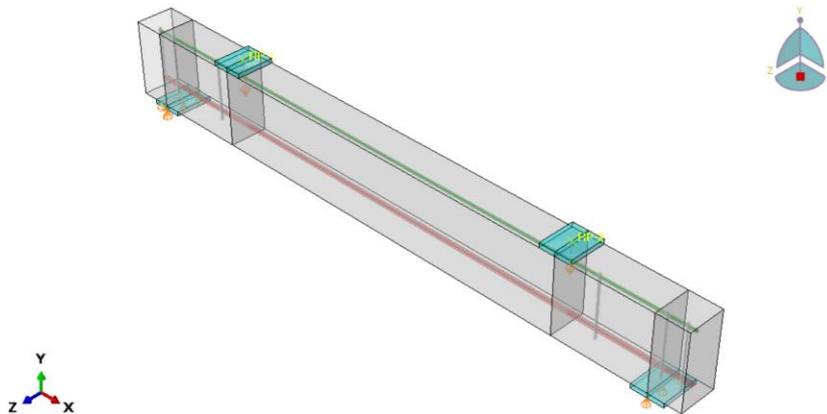


Рисунок 3.9 – Моделирование железобетонной балки в программе ABAQUS

Моделирование нагрузки выполняется на основе характеристик нагрузки. Нагрузка прикладывается в узлах, линиях элемента в соответствии с экспериментом и расчетной схеме.

В диссертации моделируемая нагрузка представлена как вертикальное перемещение вдоль оси Y (равное 5 мм) стальных пластин толщиной 50x7x60 мм, размещенных непосредственно на балке в точке приложения силы аналогично экспериментальной диаграмме.

Граничные условия определяются путем ограничения вертикальных ($U2$) и продольных перемещений оси балки ($U1$) стальной пластины в первом положении опоры и ограничения вертикальных ($U2$) перемещений стальной пластины во втором положении опоры, как показано на рисунке 3.9.

Контактное положение взаимодействия между балкой, опорами и несущими стальными пластинами определяются как жесткие соединения (Tie).

3.1.4 Сетка метода конечных элементов

При анализе задач с использованием численных методов создание правильной сетки конечных элементов важно и напрямую влияет на точность и надежность результатов моделирования МКЭ. Размер сторон конечных элементов при моделировании экспериментальных балок принят не более 10 мм, как показано на рисунке 3.10.

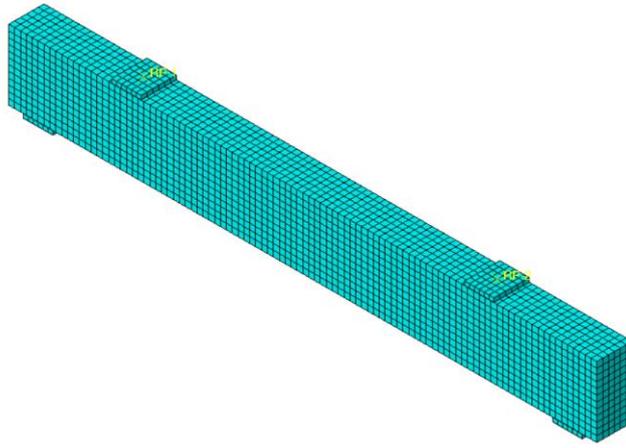


Рисунок 3.10 – Схема разбивки экспериментальных балок на сетки конечных элементов

3.2 Моделирование экспериментальных образцов в программном комплексе ABAQUS и анализ результатов

3.2.1 Моделирование экспериментальных образцов в программном комплексе ABAQUS

Исследование поведения железобетонных балок, подвергающихся сдвигу под действием поперечных сил при изменении параметров продольного армирования, проводились на балках размерами 60x120x1000 мм. Модель балок для численных исследований на программном обеспечении ABAQUS/Explicit построена в соответствии с экспериментальными балками, представленными в разделе 2.1.

При численном моделировании с использованием Abaqus использование Explicit алгоритма позволяет:

- обходиться без итерации и проверки сходимости.
- обеспечить точность благодаря достаточно малым приращением времени ($\Delta t = 0,01$ секунды).

3.2.2 Результаты моделирования и сравнение с результатами экспериментальных испытаний

Результаты численного моделирования работы железобетонных балок в программном комплексе ABAQUS показали, что все балки разрушаются по наклонному сечению. Значения максимальных поперечных сил, определенных экспериментальными и численными методами, приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Результаты экспериментального и численного моделирования балки

Серия	Балки	a/h_0	μ_s (%)	μ_{sw} (%)	Q_{exp} (кН)	$Q_{exp, cp}$ (кН)	Q_{ABQ} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{ABQ}}$	$\frac{Q_{exp, cp}}{Q_{ABQ}}$
1	ЖБ1–1–1	1,5	0,84	–	18,894	20,27	15,75	1,20	1,29
	ЖБ1–1–2	1,5	0,84	–	21,637			1,37	
	ЖБ1–2–1	1,5	1,31	–	21,232	23,23	16,42	1,29	1,41
	ЖБ1–2–2	1,5	1,31	–	25,232			1,54	
	ЖБ1–3–1	1,5	1,88	–	30,811	27,34	16,92	1,82	1,62
	ЖБ1–3–2	1,5	1,88	–	23,874			1,41	
2	ЖБ2–1–1	1,5	0,84	0,33	20,168	22,96	16,72	1,21	1,37
	ЖБ2–1–2	1,5	0,84	0,33	25,742			1,54	
	ЖБ2–2–1	1,5	1,31	0,33	19,818	24,84	17,12	1,16	1,45
	ЖБ2–2–2	1,5	1,31	0,33	29,860			1,74	
	ЖБ2–3–1	1,5	1,88	0,33	36,418	34,50	17,25	2,11	2,00
	ЖБ2–3–2	1,5	1,88	0,33	32,580			1,89	
3 ($\psi=50^\circ$)	ЖБ3–1–1	1,5	1,31	–	14,603	14,603	16,85	0,87	0,87
	ЖБ3–1–2	2,0	1,31	–	13,519	13,519	16,72	0,81	0,81
	ЖБ3–1–3	2,5	1,31	–	11,352	11,352	14,20	0,80	0,80
	ЖБ3–2–1	1,5	1,31	0,33	27,782	27,782	17,47	1,59	1,59
	ЖБ3–2–2	2,0	1,31	0,33	24,113	24,113	17,62	1,37	1,37
	ЖБ3–2–3	2,5	1,31	0,33	17,728	17,728	14,92	1,19	1,19
3 ($\psi=30^\circ$)	ЖБ3–1–1	1,5	1,31	–	14,603	14,603	16,19	0,90	0,90
	ЖБ3–1–2	2,0	1,31	–	13,519	13,519	14,28	0,95	0,95
	ЖБ3–1–3	2,5	1,31	–	11,352	11,352	12,23	0,93	0,93
	ЖБ3–2–1	1,5	1,31	0,33	27,782	27,782	16,46	1,69	1,69
	ЖБ3–2–2	2,0	1,31	0,33	24,113	24,113	14,50	1,66	1,66
	ЖБ3–2–3	2,5	1,31	0,33	17,728	17,728	13,55	1,31	1,31

Примечание: Q_{exp} – реакция балки на опоре при разрушении; $Q_{exp, cp}$ – среднее значение реакции балки на опоре; Q_{ABQ} – реакция балки на опоре при разрушении, полученная численно с использованием программного комплекса ABAQUS.

Результаты численного моделирования работы железобетонных балок показали хорошую сходимость с результатами экспериментальных исследований.

При увеличении процента продольного армирования возрастает несущая способность железобетонных балок по наклонным сечениям (табл. 3.4), что свидетельствует об экспериментальном и численном подтверждении принятой научной гипотезы.

В серии 1, несущая способность балки по наклонному сечению увеличилась с 15,75 кН до 16,92 кН при увеличении содержания продольной арматуры с 0,84% до 1,88%. (рис. 3.11 и табл. 3.4).

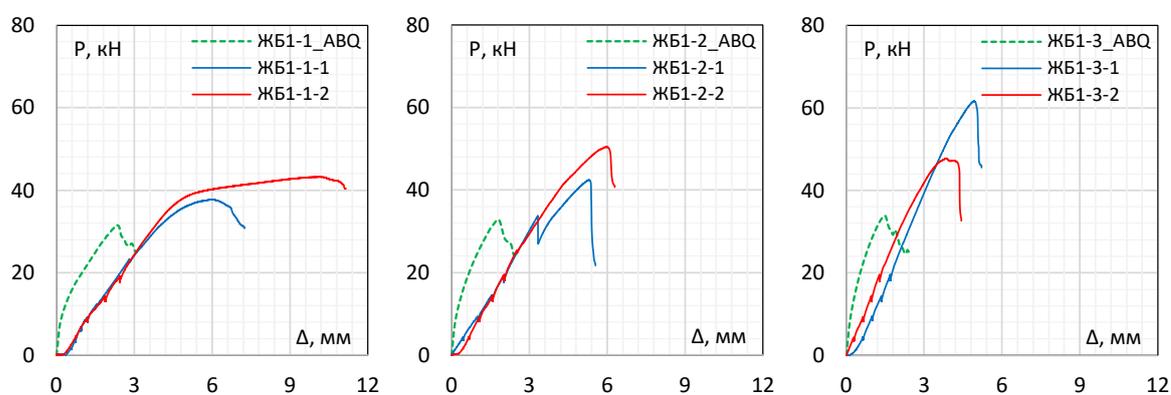


Рисунок 3.11 – Зависимость « $P-\Delta$ » железобетонных балок серии 1 по данным эксперимента и численного моделирования с помощью ABAQUS

В серии 2, несущая способность балки по наклонному сечению увеличилась с 16,72 кН до 17,25 кН при увеличении содержания продольной арматуры с 0,84% до 1,88%. (рис. 3.12 и табл. 3.4).

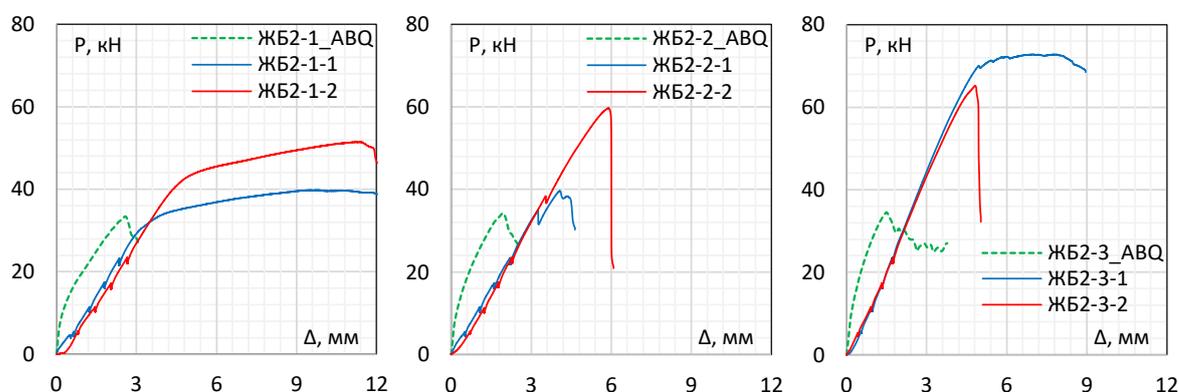


Рисунок 3.12 – Зависимость « $P-\Delta$ » железобетонных балок серии 2 по данным эксперимента и численного моделирования с помощью ABAQUS

Средние значения (Q_{exp}/Q_{ABQ}) составили 1,29–1,62 для серии 1 и 1,37–2,00 для серии 2.

В серии 3, численное моделирование работы железобетонных балок показало, что с увеличением пролета среза несущая способность балок по наклонным сечениям уменьшается.

Значение угла дилатации бетона влияет на результаты численного моделирования работы железобетонных балок по наклонному сечению (рис. 3.13 и

3.14). При угле дилатации бетона $\psi=30^0$ получена лучшая сходимость результатов численного моделирования работы железобетонных балок с результатами экспериментальных исследований.

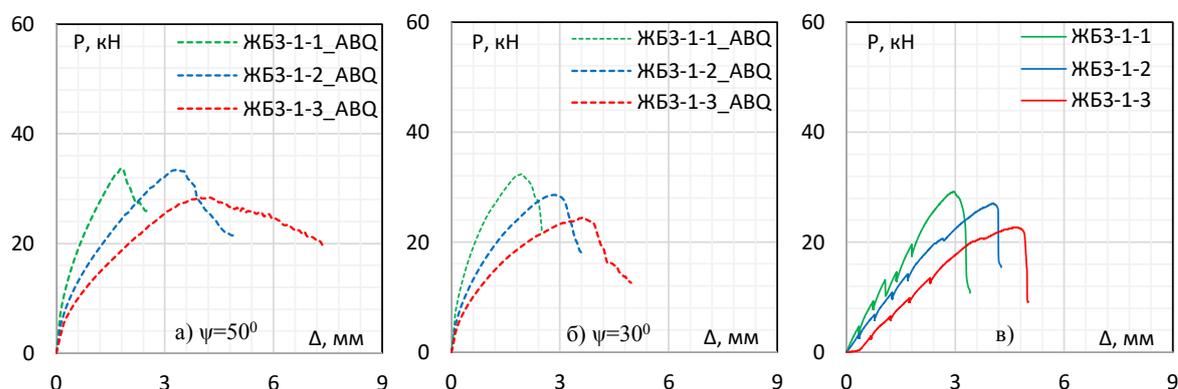


Рисунок 3.13 – Зависимости « $P-\Delta$ » железобетонных балок без поперечной арматуры серии 3 по ABAQUS (а, б) и результатами экспериментов (в)

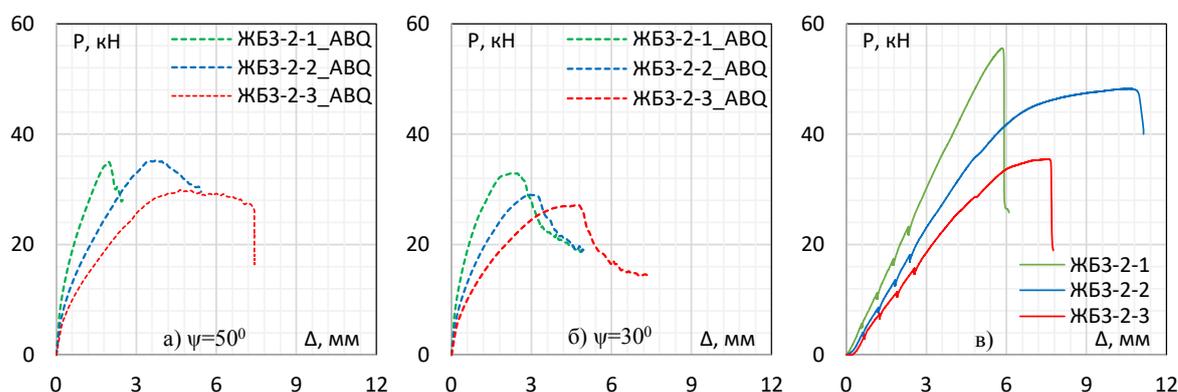


Рисунок 3.14 – Зависимости « $P-\Delta$ » железобетонных балок с поперечной арматурой серии 3 по ABAQUS (а, б) и результатами экспериментов (в)

В серии 3, значения (Q_{exp}/Q_{ABQ}) составили 0,80–0,62 для балок без поперечной арматуры и 1,19–1,69 для балок с поперечной арматурой

В момент разрушения балки (с поперечной арматурой и без неё) напряжение в продольных и поперечных стержнях не достигают предела текучести, разрушение балки начинается по наклонным сечениям (рис. 3.15).

По результатам численного моделирования несущая способность железобетонных балок по наклонным сечениям при учете поперечной арматуры увеличивается незначительно. Это объясняется тем, при расстоянии между поперечными армированиями большое ($s > s_{max}$) разрушение происходило в зоне бетона между поперечными армированиями.

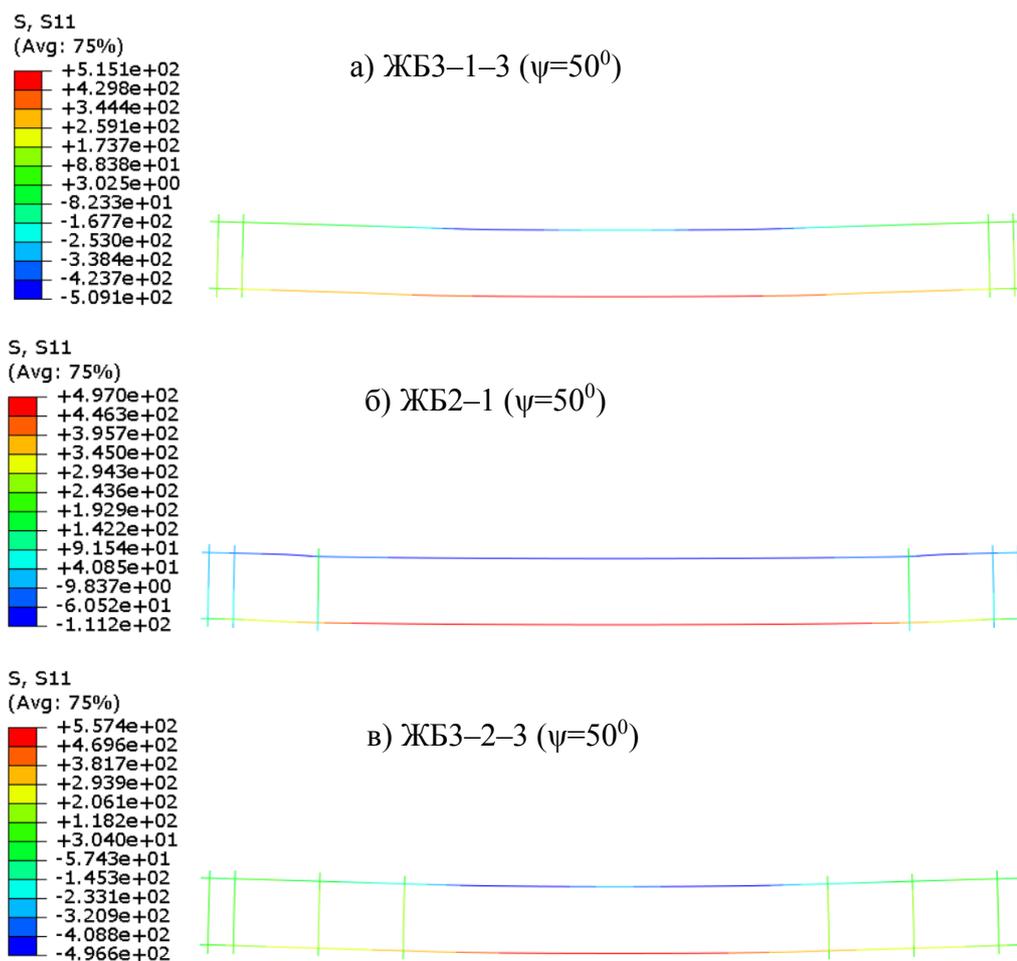


Рисунок 3.15 – Напряжения в продольных и поперечных стержнях в момент разрушения балки (МПа) (балки без (а) и с поперечной арматурой (б, в))

Разница между результатами численного моделирования и эксперимента обусловлена погрешностью эмпирической формулы для определения прочности бетона на растяжение.

Численная модель достоверно описывает процесс образования и развития нормальных и наклонных трещин при угле дилатации бетона $\psi=50^\circ$ и относительном пролете среза $a/h_0=1,5$ (рис. 3.16).

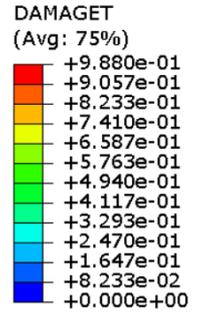
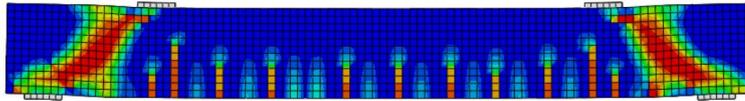
При относительном пролете среза $a/h_0=2,0$ угол дилатации бетона $\psi=50^\circ$ адекватно описывает характеристики наклонных трещин, а для характеристики нормальных трещин более соответствующим является угол дилатации бетона $\psi=30^\circ$ (рис. 3.17).

При относительном пролете среза $a/h_0=2,5$ угол дилатации бетона $\psi=30^\circ$ обеспечивает лучшую сходимость с экспериментальными данными (рис. 3.18).

Эксперимент



ABAQUS (ABQ)
 $\psi=50^0$



ABAQUS (ABQ)
 $\psi=30^0$

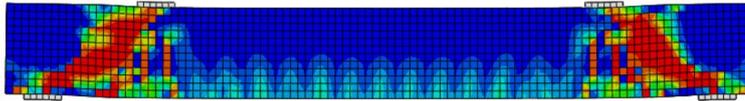
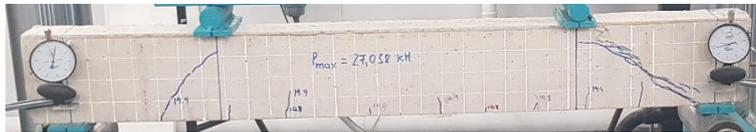
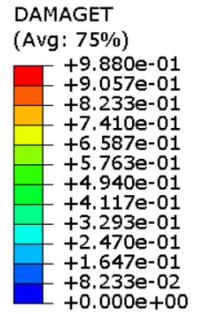
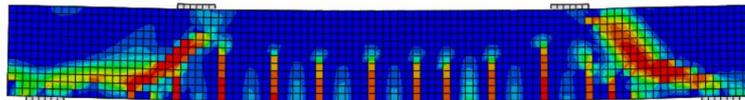


Рисунок 3.16 – Экспериментальные и численные процессы трещинообразования в балке ЖБЗ-1-1

Эксперимент



ABAQUS (ABQ)
 $\psi=50^0$



ABAQUS (ABQ)
 $\psi=30^0$

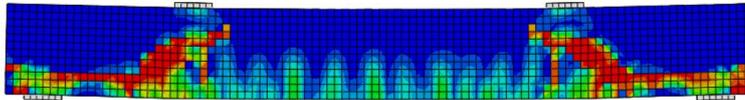
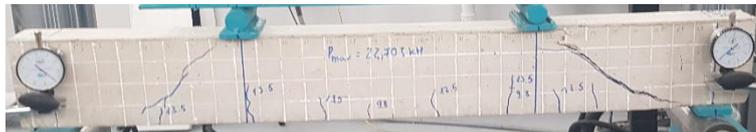
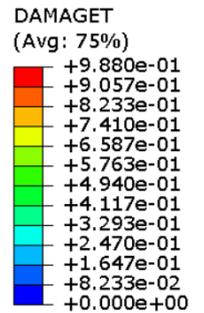
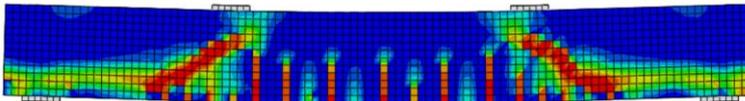


Рисунок 3.17 – Экспериментальные и численные процессы трещинообразования в балке ЖБЗ-1-2

Эксперимент



ABAQUS (ABQ)
 $\psi=50^0$



ABAQUS (ABQ)
 $\psi=30^0$

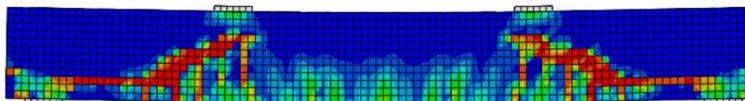


Рисунок 3.18 – Экспериментальные и численные процессы трещинообразования в балке ЖБЗ-1-3

Результаты численного моделирования разрушения железобетонных балок под действием поперечной силы с использованием программы ABAQUS (форма трещин в балках, напряжения в продольных и поперечных стержнях в момент разрушения балки) представлены в Приложении 3.

3.3 Выводы главы 3

1. Результаты численного моделирования в значительной степени зависят от установленных входных параметров, особенно от построения кривой зависимости «напряжение-деформация» в бетонных материалах. С помощью модуля CDP в программном обеспечении ABAQUS невозможно напрямую использовать параметры бетона, определенные в ходе эксперимента по российским стандартам, необходимо выполнить преобразования, как показано в разделе 3.1.

2. Результаты численного моделирования работы железобетонных балок показали:

– при увеличении процента продольного армирования возрастает несущая способность железобетонных балок по наклонным сечениям, что свидетельствует об экспериментальном и численном подтверждении принятой научной гипотезы.

– с увеличением пролета среза несущая способность балок по наклонным сечениям уменьшается.

3. В момент разрушения балки (с поперечной арматурой и без неё) напряжение в продольных и поперечных стержнях не достигает предела текучести, разрушение балки начинается по наклонным сечениям.

4. Разница между результатами численного моделирования и эксперимента обусловлена погрешностью эмпирической формулы для определения прочности бетона на растяжение. Эта разница увеличивается, если балка армируется хомутами.

5. Угол дилатации (ψ) бетона влияет на результаты моделирования работы железобетонных балок.

6. Численное моделирование достаточно точно описывает образование и развитие нормальных и наклонных трещин в железобетонных балках от начала

нагрузки до разрушения балки.

Сходство результатов численного моделирования работы железобетонных балок и результатов экспериментальных исследований доказало влияние продольного армирования и длины пролета среза на несущую способность железобетонных балок по наклонным сечениям.

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ИЗГИБЕ

В четвертой главе представлен метод расчета железобетонных балок по наклонному сечению при действии поперечной силы с учетом процента продольного армирования разработан на основе двухблочной схемы, предложенной профессором А.А. Гвоздевым.

4.1 Принятые допущения метода

Метод определения несущей способности железобетонных балок по наклонным сечениям основан на двухблочной модели, предложенной профессорами А.А. Гвоздевым и А.С. Залесовым [9, 22, 24].

По расчетной схеме железобетонный элемент разделен на два блока (верхний и нижний блоки) наклонной трещиной и нормальным сечением, проходящим через ее вершину, как показано на рисунке 4.1.

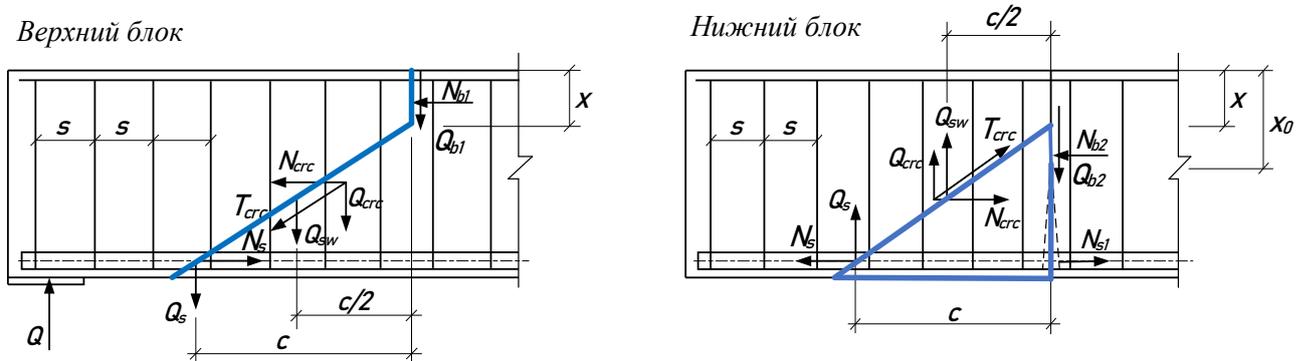


Рисунок 4.1 – Расчетная схема усилий в верхнем и нижнем блоке [22]

Для упрощения процесса расчета прочности изгибаемых железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие поперечных сил, используются следующие допущения:

1. Прочность изгибаемых железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие поперечных сил определяется двумя составляющими:

– первая составляющая – внутренняя поперечная сила, воспринимаемая бетоном в зоне сжатия, которая определяется решением задачи с моделью балки по

двухблочной схеме;

– вторая составляющая – внутренняя поперечная сила, воспринимаемая поперечной арматурой в наклонном сечении. Её находят путём расчета угла наклона θ наклонной трещины для определения проекции наклонного участка при допущении, что напряжение в хомутах, проходящих через критическую наклонную трещину, достигает предельных значений R_{sw} .

2. Разрушение изгибаемых железобетонных элементов может произойти по бетону над наклонной трещиной, либо по продольной арматуре в результате проскальзывания арматуры, либо при достижении в продольной арматуре расчетного сопротивления.

3. Эпюра напряжений бетона в зоне сжатия над вершиной наклонной трещины принимается прямоугольной с ординатой равной сопротивлению бетона R_b . Ниже вершины наклонной трещины эпюра напряжений имеет треугольную форму и имеет наибольшее значение R_b , как показано на рисунке 4.2.

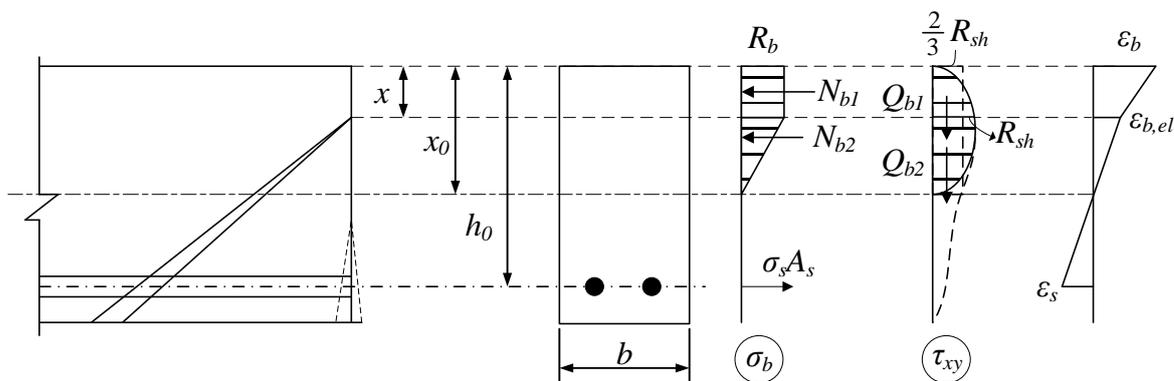


Рисунок 4.2 – Расчетные эпюры напряжений в бетоне и расчетная схема деформирования в нормальном сечении [22]

4. Эпюра распределения касательных напряжений в зоне сжатия бетона нормального сечения (участок бетона выше нейтральной оси), имеет кривую зависимость в виде параболы с максимальным значением, равной сопротивлению бетона сдвигу R_{sh} . Касательное напряжение считается равномерно распределенным по зоне сжатия бетона (прямоугольное распределение), тогда касательное напряжение имеет значение $(2/3) \cdot R_{sh}$ (рис. 4.2).

4.2 Разработка метода расчета прочности железобетонных балок по наклонному сечению при поперечном изгибе

По расчетной схеме железобетонный элемент разделен на два блока (верхний и нижний блоки), разделенных наклонной трещиной и нормальным сечением, проходящим через ее вершину, как показано на рисунке 4.1.

В наклонном сечении рассматриваются следующие усилия: продольное и поперечное усилия в бетоне сжатой зоны над вершиной наклонной трещины (N_{b1} , Q_{b1}) и под ней (N_{b2} , Q_{b2}), осевая сила в хомутах, пересекающих наклонную трещину (Q_{sw}), продольное и поперечное усилия в продольной арматуре (N_s , N_{s1} , Q_s). Сила зацепления в наклонной трещине T_{crc} может быть разделена на две составляющие – продольное и поперечное усилия (N_{crc} , Q_{crc}). Высота участка бетона над вершиной наклонной трещины (x) и высота участка сжатого бетона в нормальном сечении (x_0) показаны на рисунках 4.1 и 4.2 соответственно.

На основе расчетных эпюр нормальных и касательных напряжений (рис. 4.2) определяют продольные усилия N_{b1} , N_{b2} в бетоне сжатой зоны для верхнего и нижнего блоков по формулам:

$$N_{b1} = R_b b x \quad (4.1)$$

$$N_{b2} = 0,5 R_b b (x_0 - x) \quad (4.2)$$

Согласно [24], критерии прочности бетона при плоском напряженном состоянии представлены на рисунке 4.4.

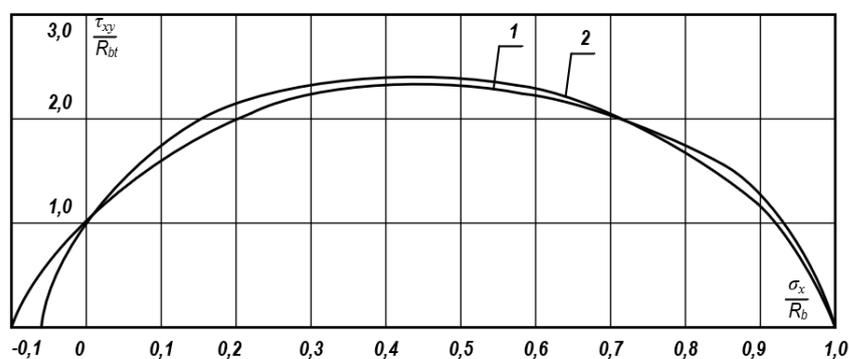


Рисунок 4.3 – Критерий прочности бетона при плоском напряженном состоянии [24]

1 – бетон класса В30; 2 – бетон класса В60.

Согласно [9], распределение напряжений и усилий в бетоне по нормальному

сечению проходящему через вершину наклонной трещины представлено на рисунке 4.3.

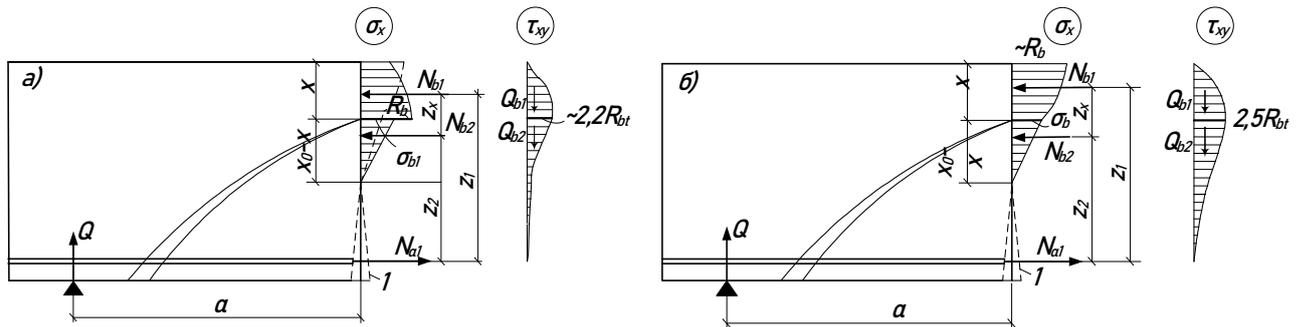


Рисунок 4.4 – Распределение напряжений и усилий в бетоне по нормальному сечению, проходящему через вершину наклонной трещины [9]

а) в балках без хомутов; б) в балках с хомутами;

1 – условное положение нормальной трещины

Сопротивление бетона сдвигу можно определить по формуле:

– балка без хомутов:

$$R_{sh} = \tau_{\max}^{xy} = 2,2R_{bt} \quad (4.3)$$

– балка с хомутами:

$$R_{sh} = \tau_{\max}^{xy} = 2,5R_{bt} \quad (4.4)$$

Таким образом, поперечные усилия в бетоне для верхнего и нижнего блоков можно определить по формуле:

$$Q_{b1} = \frac{2}{3} \tau_{\max}^{xy} bx = \frac{2}{3} R_{sh} bx \quad (4.5)$$

– балка без хомутов

$$Q_{b2} = \frac{2}{3} R_{sh} b(x_0 - x) \approx 1,5R_{bt} b(x_0 - x) \quad (4.6-1)$$

– балка с хомутами

$$Q_{b2} = \frac{2}{3} R_{sh} b(h_0 - x) \approx 1,7R_{bt} b(h_0 - x) \quad (4.6-2)$$

Стержни поперечной арматуры располагаются перпендикулярно оси балки, сила, действующая на них, определяется по формуле:

$$Q_{sw} = q_{sw} \cdot c \quad (4.7)$$

где, c – длина проекции наклонного сечения на продольную ось элемента,

$q_{sw} = \frac{R_{sw} A_{sw}}{s}$ – предельное усилие на единицу длины.

По мнению А.А. Гвоздева и А.С. Залесова, нагельную силу в продольной арматуре и усилие зацепления бетона по обе стороны наклонной трещины можно рассматривать как одну силу с точкой приложения на пересечении продольной арматуры и наклонной трещины. Поперечная и продольная составляющие этой силы определяются по формулам:

$$Q_{s,crs} = Q_s + Q_{crs} \quad (4.8)$$

$$N_{s,crs} = N_s - N_{crs} \quad (4.9)$$

Расчет прочности железобетонных балок по наклонному сечению осуществляется на основе совместного решения уравнений равновесия изгибающего момента, продольной и поперечной сил для верхнего блока:

$$M = N_{b1} (h_0 - 0,5x) + Q_{sw} \frac{c}{2} + Q_{s,crs} c \quad (4.10)$$

$$N_{b1} - N_{s,crs} = 0 \quad (4.11)$$

$$Q = Q_{b1} + Q_{sw} + Q_{s,crs} \quad (4.12)$$

для нижнего блока:

$$Q_{sw} \frac{c}{2} + Q_{s,crs} c - N_{b2} \left[h_0 - x - \frac{1}{3}(x_0 - x) \right] = 0 \quad (4.13)$$

$$N_{s1} - N_{s,crs} - N_{b2} = 0 \quad (4.14)$$

$$Q_{sw} + Q_{s,crs} - Q_{b2} = 0 \quad (4.15)$$

Когда балки без хомутов, $Q_{sw}=0$.

Поперечная сила, действующая в наклонном сечении, не должна превышать поперечные составляющие внутренних предельных усилий:

$$Q \leq Q_{b1} + Q_{sw} + Q_{s,crs} \quad (4.16)$$

Подставив (4.5), (4.6–1), (4.6–2), (4.12) и (4.15) в выражение (4.16), получим:

– балка без хомутов

$$Q \leq Q_b = Q_{b1} + Q_{b2} = 1,5R_{bt} b (x_0 - x + x) = 1,5R_{bt} b x_0 \quad (4.17)$$

– балка с хомутами

$$Q \leq Q_b = Q_{b1} + Q_{b2} = 1,7R_{bt}b(h_0 - x + x) = 1,7R_{bt}bh_0 \quad (4.18)$$

Согласно предложению А.С. Залесова, условие (4.15) выражено аналогично случаю балки без хомутов, то есть:

$$Q_{s,crc} - Q_{b2} = 0 \quad (4.19)$$

где, Q_{b2} , – сила, определяемая по формуле (4.6–1).

Из двухблочной модели следует, (4.15) и (4.19), что компоненты, которые создают сопротивление сдвигу железобетонных балок, такие как нагельная сила (Q_s) и сила зацепления (Q_{crc}) учитываются косвенно через поперечную силу, воспринимаемую бетоном сжатой зоны в нижнем блоке (Q_{b2}).

С учетом этого предположения выражение (4.18) можно записать следующим образом:

$$Q \leq Q_b + Q_{sw} = 1,5R_{bt}bx_0 + \frac{R_{sw}A_{sw}}{s}c \quad (4.20)$$

Значение длины проекции наклонной трещины c определяется из уравнений (4.13) и (4.19) по формуле:

$$c = -\frac{Q_{b2}}{q_{sw}} + \sqrt{\left(\frac{Q_{b2}}{q_{sw}}\right)^2 + 2\frac{N_{b2}\left[h_0 - \frac{1}{3}(x_0 + 2x)\right]}{q_{sw}}} \quad (4.21)$$

С другой стороны, из выражений (4.3), (4.4) (4.10) и (4.13) имеем:

$$\begin{aligned} M &= N_{b1}(h_0 - 0,5x) + N_{b2}\left[h_0 - x - \frac{1}{3}(x_0 - x)\right] \\ \Leftrightarrow M &= R_bbx(h_0 - 0,5x) + 0,5R_b b(x_0 - x)\left[h_0 - \frac{1}{3}(x_0 + 2x)\right] \\ \Leftrightarrow M &= 0,5R_b b\left\{x_0\left(h_0 - \frac{1}{3}x_0\right) + x\left[h_0 - \frac{1}{3}(x_0 + x)\right]\right\} \end{aligned} \quad (4.22)$$

Зависимость несущей способности от пролета среза выражается формулой:

$$\begin{aligned} M = Qa &= 0,5R_b b\left\{x_0\left(h_0 - \frac{1}{3}x_0\right) + x\left[h_0 - \frac{1}{3}(x_0 + x)\right]\right\} \\ \Leftrightarrow Q = \frac{M}{a} &= \frac{0,5R_b b\left\{x_0\left(h_0 - \frac{1}{3}x_0\right) + x\left[h_0 - \frac{1}{3}(x_0 + x)\right]\right\}}{a} \end{aligned} \quad (4.23)$$

Таким образом, для определения сопротивления поперечной силе железобетонных элементов ее можно определить по выражениям (4.20) или (4.23).

Определение значений x и x_0 основано на зависимости напряжений и деформаций бетона на нормальном сечении. Согласно [17, 50] при разрушении балки по наклонному сечению деформация верхней поверхности сжатого участка бетона и растянутой продольной арматуры будет выражаться соотношением:

$$\varepsilon_{b,el} \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b,ult} \quad (4.24)$$

$$\varepsilon_s \leq \varepsilon_{s,el} \quad (4.25)$$

где, $\varepsilon_{b,el}$, ε_b и $\varepsilon_{b,ult}$ – предельные упругие, осевые и предельные деформации бетона; $\varepsilon_{s,el}$ и ε_s – предельные упругие и осевые деформации растянутой арматуры.

При этом показательное напряжение в вершине сжатой зоны бетона равны расчетным сопротивлениям бетона сжатию R_b , а показательное напряжение в растянутой продольной арматуре меньше или равны расчетным сопротивлениям растянутой арматуры.

В результате получим квадратное уравнение высоты сжатой зоны [17]:

$$x_0^2 + \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \mu_s h_0 x_0 - \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \mu_s h_0^2 = 0 \quad (4.26)$$

$$\text{где } \alpha_1 = \frac{E_s}{R_b} \varepsilon_{b,ult}; \quad \alpha_2 = \frac{1 + \frac{x}{x_0 - x}}{1 + \frac{x}{x_0 - x}} \varepsilon_{b,ult}; \quad \mu_s = \frac{A_s}{bh_0}$$

откуда

$$x_0 = \left[\sqrt{\left(\frac{\alpha_1 \mu_s}{\alpha_2} \right)^2 + \frac{\alpha_1 \mu_s}{\alpha_2}} - \frac{\alpha_1 \mu_s}{\alpha_2} \right] h_0 \quad (4.27)$$

$$x = \alpha_2 (1 + \alpha_2) x_0 \quad (4.28)$$

Определение значений x и x_0 , из уравнений (4.27) и (4.28), достаточно сложно, когда значение x является случайной величиной, зависящей от многих факторов, таких как содержание продольной растянутой арматуры, прочность бетона, длина пролета среза и т.д.

Профессор А.А. Гвоздев и А.С. Залесов использовали итерационный метод расчета для определения значений x и x_0 [9, 22, 24]. Однако этот метод потребует большого объема расчета.

С другой стороны, по А.С. Залесову [22, 24], если при расчете $x < 0$, в нормальном сечении напряжения и деформации в бетоне и арматуре пропорциональны друг другу. Диаграмма нормальных напряжений в зоне сжатого бетона имеет треугольную форму с максимальным значением напряжения, равным сопротивлению бетона R_b , как показано на рисунке 4.5. При этом значение x будет принято равным 0 ($x=0$).

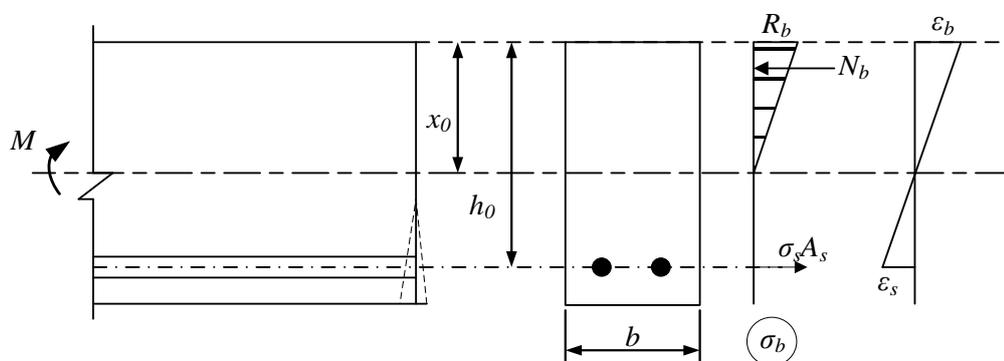


Рисунок 4.5 – Расчетные эпюры напряжений и деформаций в нормальном сечении при $x=0$

В нормальном сечении, при $x=0$, определяется высота сжатой зоны x_0 по формуле:

$$x_0 = \alpha_s \mu_s h_0 \left(\sqrt{1 + \frac{2}{\alpha_s \mu_s}} - 1 \right) \quad (4.29)$$

здесь, $\alpha_s = \frac{E_s}{E_b}$.

В исследованиях Крылова А.С. [38], распределение напряжений в зоне сжатия бетона показано на рисунке 4.6.

По мере увеличения нагрузки высота зоны сжатия бетона x_0 уменьшается. Фактически, при расчете значение высоты зоны сжатия бетона x_0 , соответствующее диаграмме напряжений на рисунках 4.6 (в), (г), (д) будет описываться следующим соотношением:

$$x_0(\text{в}) \leq x_0(\text{г}) \leq x_0(\text{д})$$

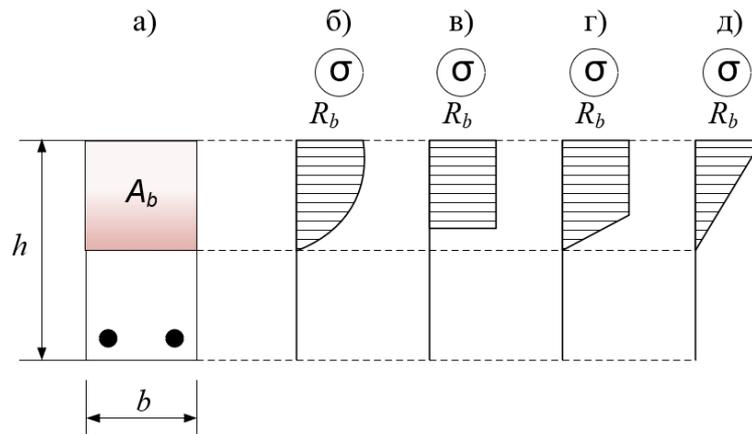


Рисунок 4.6 – Варианты эпюры напряжений в бетоне сжатой зоны [38]

а – общий вид поперечного сечения железобетонного элемента; б – истинная эпюра (общий вид); в – эпюра по СП 63.13330; г – трапециевидная эпюра; д – треугольная эпюра

Разница при определении значений x_0 по графикам (д) – треугольного распределения и (в) – прямоугольного распределения по А.С. Крылову [38] составляет в 1,16. Следует отметить, что при разрушении балки по наклонному сечению эпюра напряжений в бетоне в зоне сжатия будет иметь трапециевидную или треугольную форму, то есть эта разница дополнительно уменьшается.

Таким образом, по формуле (4.29) можно определить высоту участка сжатой зоны бетона по нормальному сечению без необходимости специально определять значение высоты участка бетона над наклонной трещиной x .

В связи с этим, выражения (4.20) и (4.23) можно представить следующим образом:

$$Q \leq Q_b + Q_{sw} = 1,5R_{bt}bh_0\alpha_s\mu_s \left(\sqrt{1 + \frac{2}{\alpha_s\mu_s}} - 1 \right) + \frac{R_{sw}A_{sw}}{s}c \quad (4.30)$$

где,

$$Q_b = 1,5R_{bt}bh_0\alpha_s\mu_s \left(\sqrt{1 + \frac{2}{\alpha_s\mu_s}} - 1 \right) \quad (4.31)$$

$$Q_{sw} = \frac{R_{sw}A_{sw}}{s}c \quad (4.32)$$

и формулы (4.23), то

$$\Rightarrow Q = \frac{M}{a} = \frac{0,5R_b b h_0^2 \alpha_s \mu_s \left(\sqrt{1 + \frac{2}{\alpha_s \mu_s}} - 1 \right) \left[1 - \frac{1}{3} \alpha_s \mu_s \left(\sqrt{1 + \frac{2}{\alpha_s \mu_s}} - 1 \right) \right]}{a} \quad (4.33)$$

При использовании выражения (4.33) несущая способность по наклонному сечению железобетонного элемента не будет зависеть от хомутов, как и условие (4.18), поэтому в диссертации это условие не используется.

Из приведенных выше формул следует, что значения x и x_0 зависят от содержания продольной растянутой арматуры. Таким образом, содержание продольной арматуры влияет на способность балки по наклонному сечению.

Комментарии и предложения:

Согласно СП 63.13330.2018 длина проекции наклонной трещины при учете поперечной арматуры принимается $h_0 \leq c \leq 2h_0$. Если в целях безопасности примем $c=h_0$, то уравнение (4.32) запишем в виде:

$$Q_{sw} = q_{sw} h_0 = \frac{R_{sw} A_{sw}}{s} h_0. \quad (4.34)$$

В сочетании с формулой (4.30), допускается производить расчет наклонных сечений, не рассматривая наклонные сечения при определении поперечной силы от внешней нагрузки, из условия:

$$Q \leq Q_b + Q_{sw} = 1,5R_{br} b h_0 \alpha_s \mu_s \left(\sqrt{1 + \frac{2}{\alpha_s \mu_s}} - 1 \right) + q_{sw} h_0. \quad (4.35)$$

в СП 63.13330.2018, из условия:

$$Q_l \leq Q_{bl} + Q_{sw,1} = 0,5R_{br} b h_0 + q_{sw} h_0, \quad (4.36)$$

где, Q_l – поперечная сила в нормальном сечении от внешней нагрузки;

$$Q_{bl} = 0,5R_{br} b h_0, \quad (4.37)$$

$$Q_{sw,1} = q_{sw} h_0. \quad (4.38)$$

Поперечная сила Q_b в выражении (4.31) является функцией из процента армирования продольной растянутой арматуры. При $Q_{bl}=Q_b$, имеем:

$$0,5R_{br} b h_0 = 1,5R_{br} b h_0 \alpha_s \mu_s \left(\sqrt{1 + \frac{2}{\alpha_s \mu_s}} - 1 \right), \quad (4.39)$$

$$\Rightarrow \alpha_s \mu_s = \frac{1}{12}. \quad (4.40)$$

Расчет изгибаемых железобетонных элементов по наклонному сечению производится по методическим требованиям пособия к СП 63.13330.2012:

$$Q \leq Q_b + Q_{sw} = \frac{1,5R_{bt}bh_0^2}{c} + 0,75q_{sw}c_0, \quad (4.41)$$

при

$$Q_b = \frac{1,5R_{bt}bh_0^2}{c}, \quad (4.42)$$

и

$$0,5R_{bt}bh_0 \leq Q_b \leq 2,5R_{bt}bh_0. \quad (4.43)$$

По сравнению с расчетом несущей способности изгибаемых железобетонных элементов по наклонному сечению по условиям (4.35) и (4.36), при расчете по (4.41) необходимо определять длину проекции «с» и длину проекции опасного наклонного сечения «с₀» на продольную ось элемента.

Таким образом, несущая способность железобетонных балок по наклонному сечению определяется по следующим формулам: СП1 – по условию (4.41); СП2 – по условию (4.36); МТ1 – по условию (4.35); МТ2 – по условиям (4.35) и (4.43); *exp* – результаты по экспериментальным исследованиям.

В балках без хомутов, при содержании арматуры около $\mu_s=1,0\%$ (класс бетона В40) и $\mu_s=1,51\%$ (В15), результаты расчета по формулам (4.35) и (4.36) дают близкие результаты. При увеличении коэффициента армирования μ_s , Q_b , рассчитанная по формуле (4.35), будет больше, чем Q_{b1} , рассчитанная по формуле (4.36) (рис. 4.7).

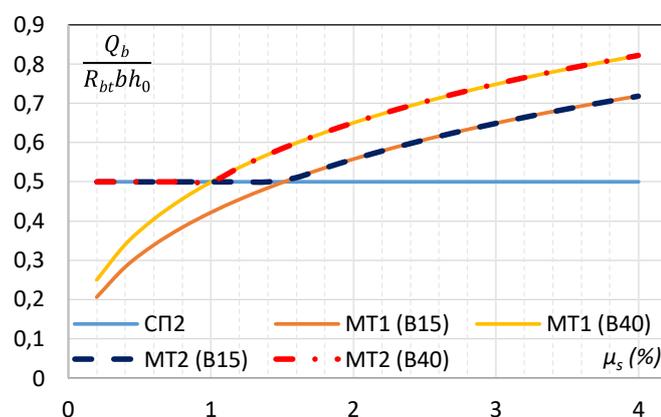


Рисунок 4.7 – График зависимости относительной несущей способности от процента армирования продольного арматуры

При проценте армирования $\mu_s=2,0\%$ разница результатов расчетов по предлагаемой формуле (4.35) и по формуле (4.36) (СП 63.13330.2018) составляет 11% (при бетоне В15) и 30% (при бетоне В40) (рис. 4.7). Эта разница будет увеличиваться по мере увеличения коэффициента армирования.

График зависимости относительной несущей способности от относительного пролета среза « a/h_0 » представлен на рисунке 4.8. Следует отметить, что коэффициент $2,5h_0/a$ необходимо умножить на значение Q_b в условии (4.35) и Q_{bl} в условии (4.36), при $a < 2,5h_0$.

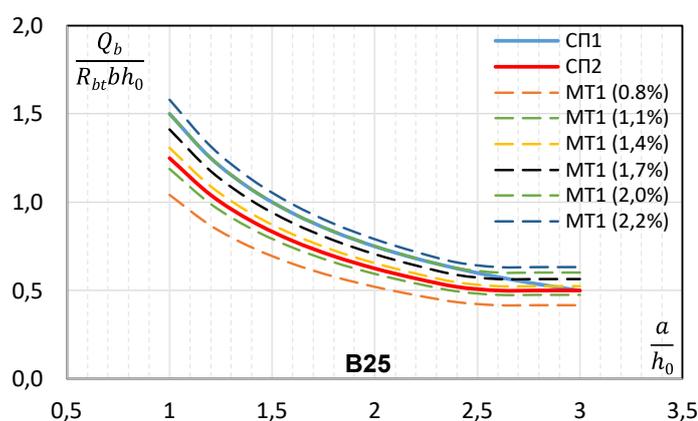


Рисунок 4.8 – График зависимости относительной несущей способности от относительного пролета среза

На рисунке 4.8, условие (4.41) показывает снижение прочности наклонного сечения при увеличении длины пролета среза. При классе бетона В25, когда содержание продольной арматуры примерно $\mu_s=2\%$, значение усилия сдвига Q_b , определенное по предложенной формуле, дает результаты, близкие к рассчитанным по условию (4.41) в стандарте СП 63.13330.2018.

Таким образом, предлагается использовать следующие формулы:

$$Q \leq Q_b + Q_{sw} = 1,5R_{bt}bh_0\alpha_s\mu_s \left(\sqrt{1 + \frac{2}{\alpha_s\mu_s}} - 1 \right) + q_{sw}h_0$$

где Q_b поперечная сила в нормальном сечении от внешней нагрузки;

$$Q_b = 1,5R_{bt}bh_0\alpha_s\mu_s \left(\sqrt{1 + \frac{2}{\alpha_s\mu_s}} - 1 \right) \text{ и } 0,5R_{bt}bh_0 \leq Q_b \leq 2,5R_{bt}bh_0$$

для замены условия (4.36) в СП 63.13330.2018 при расчете изгибаемых элементов по наклонному сечению на действие поперечных сил. В предлагаемой

формуле влияние продольного армирования учитывается коэффициентом армирования μ_s и отношением модуля упругости арматуры к бетону – α_s .

4.3 Анализ и оценка результатов экспериментальных и теоретических исследований

4.3.1 Сравнение результатов экспериментально–теоретических исследований

Схема нагружения и эпюры внутренних усилий железобетонной балки прямоугольного сечения, опирающейся на две опоры, представлены на рисунке 4.9.

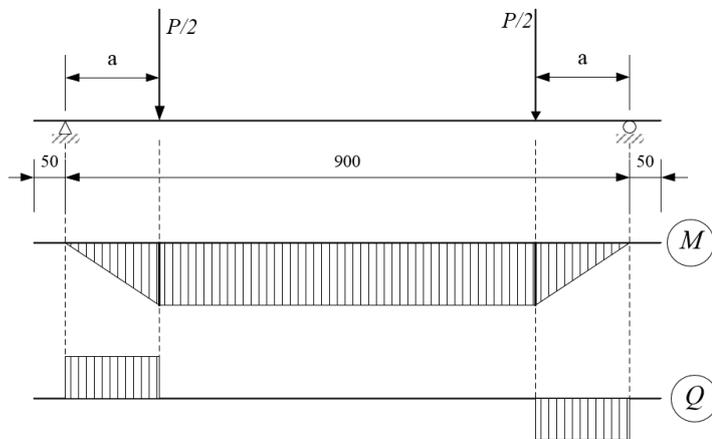


Рисунок 4.9 – Схема нагружения и распределения усилий по сечениям балки

Экспериментальные и теоретические исследования позволили определить несущую способность железобетонных балок по наклонным сечениям при действии поперечных сил. Основным параметром для сравнения несущей способности железобетонных балок является значение разрушающей нагрузки P_{max} (несущая способность балки) или значение силы реакции на опоре балки при разрушении балки ($Q_{exp}=P_{max}/2$).

Основные параметры экспериментальных балок приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Общие характеристики экспериментальных образцов

Балки	b мм	h мм	h_0 мм	a/h_0	Бетон			Арматура				
					R_m МПа	R_{btm} МПа	E_b МПа	μ_s %	R_s МПа	μ_{sw} %	шаг s мм	R_{sw} МПа
ЖБ1–1–1	60	120	100	1,5	29,484	2,195	29212	0,84	644,58	–	–	–

Балки	b мм	h мм	h_0 мм	a/h_0	Бетон			Арматура				
					R_m МПа	R_{btm} МПа	E_b МПа	μ_s %	R_s МПа	μ_{sw} %	шаг s мм	R_{sw} МПа
ЖБ1-1-2	60	120	100	1,5	29,484	2,195	29212	0,84	644,58	–	–	–
ЖБ1-2-1	60	120	100	1,5	29,484	2,195	29212	1,31	635,38	–	–	–
ЖБ1-2-2	60	120	100	1,5	29,484	2,195	29212	1,31	635,38	–	–	–
ЖБ1-3-1	60	120	100	1,5	29,484	2,195	29212	1,88	529,26	–	–	–
ЖБ1-3-2	60	120	100	1,5	29,484	2,195	29212	1,88	529,26	–	–	–
ЖБ2-1-1	60	120	100	1,5	29,620	2,202	29271	0,84	644,58	0,33	100	409,6
ЖБ2-1-2	60	120	100	1,5	29,620	2,202	29271	0,84	644,58	0,33	100	409,6
ЖБ2-2-1	60	120	100	1,5	29,620	2,202	29271	1,31	635,38	0,33	100	409,6
ЖБ2-2-2	60	120	100	1,5	29,620	2,202	29271	1,31	635,38	0,33	100	409,6
ЖБ2-3-1	60	120	100	1,5	29,620	2,202	29271	1,88	529,26	0,33	100	409,6
ЖБ2-3-2	60	120	100	1,5	29,620	2,202	29271	1,88	529,26	0,33	100	409,6
ЖБ3-1-1	60	120	100	1,5	30,858	2,263	29794	1,31	635,38	–	–	–
ЖБ3-1-2	60	120	100	2,0	30,858	2,263	29794	1,31	635,38	–	–	–
ЖБ3-1-3	60	120	100	2,5	30,858	2,263	29794	1,31	635,38	–	–	–
ЖБ3-2-1	60	120	100	1,5	30,858	2,263	29794	1,31	635,38	0,33	100	409,6
ЖБ3-2-2	60	120	100	2,0	30,858	2,263	29794	1,31	635,38	0,33	100	409,6
ЖБ3-2-3	60	120	100	2,5	30,858	2,263	29794	1,31	635,38	0,33	100	409,6

В таблице 4.2 представлены результаты несущей способности железобетонных балок по наклонным сечениям, полученные экспериментально – Q_{exp} , по формуле (4.41) – $Q_{СП1}$, по (4.36) – $Q_{СП2}$, по (4.35) – $Q_{МТ1}$, по (4.35) и (4.43) – $Q_{МТ2}$.

Таблица 4.2. Результаты несущей способности балки по экспериментам, расчету по СП 63.13330.2018 и предлагаемым формулам

Балки	Q_{exp} (кН)	$Q_{СП1}$ (кН)	$Q_{СП2}$ (кН)	$Q_{МТ1}$ (кН)	$Q_{МТ2}$ (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{СП1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{СП2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{МТ1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{МТ2}}$	Тип разрушения
ЖБ1-1-1	18,894	13,17	10,98	9,43	10,98	1,43	1,72	2,00	1,72	срез
ЖБ1-1-2	21,637	13,17	10,98	9,43	10,98	1,64	1,97	2,29	1,97	срез

Балки	Q_{exp} (кН)	$Q_{СП1}$ (кН)	$Q_{СП2}$ (кН)	$Q_{МТ1}$ (кН)	$Q_{МТ2}$ (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{СП1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{СП2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{МТ1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{МТ2}}$	Тип разрушения
ЖБ1-2-1	21,232	13,17	10,98	11,30	11,30	1,61	1,93	1,88	1,88	срез
ЖБ1-2-2	25,232	13,17	10,98	11,30	11,30	1,92	2,30	2,23	2,23	срез
ЖБ1-3-1	30,811	13,17	10,98	13,00	13,00	2,34	2,81	2,37	2,37	срез
ЖБ1-3-2	23,874	13,17	10,98	13,00	13,00	1,81	2,18	1,84	1,84	срез
ЖБ2-1-1	20,168	13,21	11,01	9,45	11,01	1,53	1,83	2,13	1,83	изгиб
ЖБ2-1-2	25,742	13,21	11,01	9,45	11,01	1,95	2,34	2,72	2,34	изгиб
ЖБ2-2-1	19,818	13,21	11,01	11,33	11,33	1,50	1,80	1,75	1,75	срез
ЖБ2-2-2	29,860	13,21	11,01	11,33	11,33	2,26	2,71	2,64	2,64	срез
ЖБ2-3-1	36,418	13,21	11,01	13,03	13,03	2,76	3,31	2,80	2,80	изгиб
ЖБ2-3-2	32,580	13,21	11,01	13,03	13,03	2,47	2,96	2,50	2,50	срез
ЖБ3-1-1	14,603	13,58	11,31	11,56	11,56	1,08	1,29	1,26	1,26	срез
ЖБ3-1-2	13,519	10,18	8,49	8,67	8,67	1,33	1,59	1,56	1,56	срез
ЖБ3-1-3	11,352	8,15	6,79	6,94	6,94	1,39	1,67	1,64	1,64	срез
ЖБ3-2-1	27,782	13,58	11,31	11,56	11,56	2,05	2,46	2,40	2,40	срез
ЖБ3-2-2	24,113	10,18	8,49	8,67	8,67	2,37	2,84	2,78	2,78	срез
ЖБ3-2-3	17,728	8,15	6,79	6,94	6,94	2,18	2,61	2,56	2,56	срез

В серии 2, экспериментальные балки ЖБ2–1–1, ЖБ2–1–2, ЖБ2–3–1 разрушились по нормальным сечениям. В остальных случаях балки разрушились по наклонным сечениям. При увеличении продольной арматуры несущая способность балок возрастала не только по нормальному, но и по наклонному сечениям. В теоретических расчетах величина силы, вызывающей разрушение балок по нормальным и наклонным сечениям, мало отличается. Поэтому, величина разрушающей силы определяет несущую способность балки по наклонному сечению.

Использование предложенных формул (МТ1. МТ2) лучше отражает влияние продольной арматуры и пролета среза (рис. 4.10, 4.11 и табл. 4.2).

Объединение условий (4.35) и (4.43) в МТ2 повысило точность результатов

для балок с поперечной арматурой и без неё.

Зависимости относительной несущей способности от процента продольного армирования и относительного пролета среза для балок без и с поперечной арматурой представлены в рисунках 4.10 и 4.11.

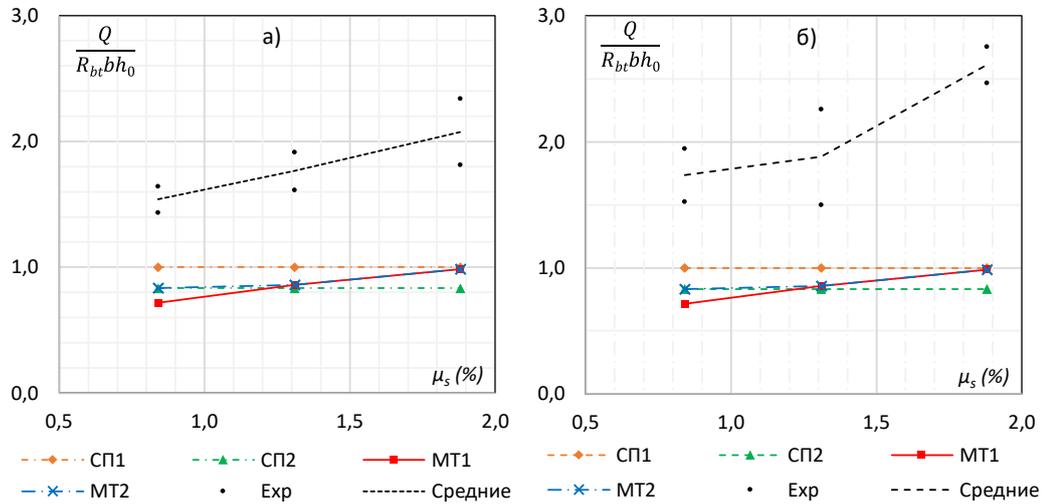


Рисунок 4.10 – Зависимости относительной несущей способности от процента продольного армирования для балок без (а) и с поперечной арматурой (б)

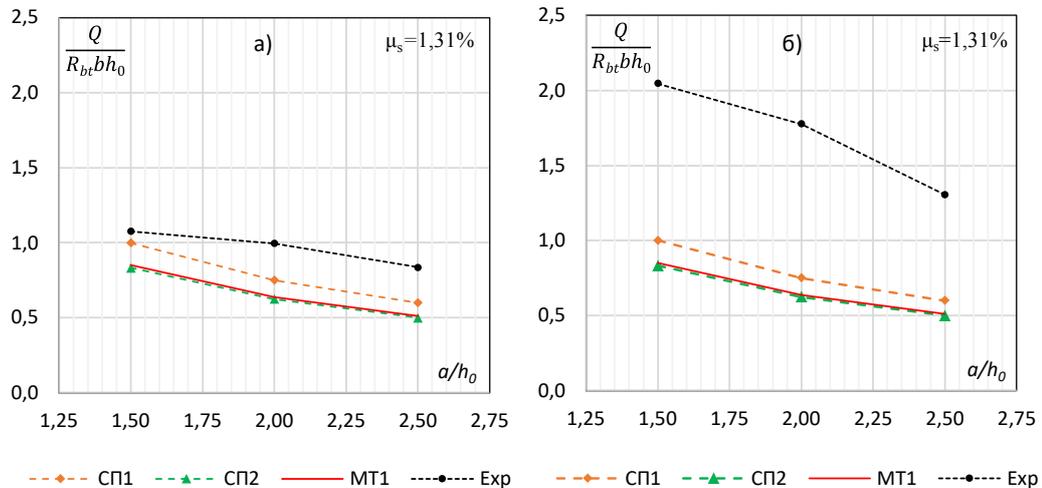


Рисунок 4.11 – Зависимости относительной несущей способности от относительного пролета среза для балок без (а) и с поперечной арматурой (б)

4.3.2 Сравнительный анализ результатов расчетов по предлагаемому методу и экспериментальным исследованиям других авторов

Для верификации предложенного инженерного метода, проанализированы результаты экспериментальных исследований 1132 балок без хомутов и 90 балок с хомутами на основе баз данных М.Р. Collins, Е.С. Bentz и Е.Г. Sherwood

опубликованных в 2008 году [89], А.М. Абдалкадер опубликованных в 2011 году [74], N. Tošić, S. Marinković, I. Ignjatović опубликованных в 2016 году [112].

Все проанализированные балки имеют прямоугольное поперечное сечение, прочность арматуры на растяжение менее 800 МПа ($R_s < 800$ МПа) и разрушаются по наклонным сечениям. Параметры аналитических данных представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3. Характеристики экспериментальных образцов

Параметры	1132 балки без хомутов		90 балки с хомутами	
	Мин	Макс	Мин	Макс
b (мм)	21	706	76	375
h_0 (мм)	41	600	95	655
a/h_0	0,25	8,52	2,00	5,05
μ_s (%)	0,36	6,00	0,93	4,76
μ_{sw} (%)	–	–	0,06	0,84
f_c (МПа)	12,2	58,6	18,49	59,51

При анализе данных условие (4.41) не учитывается из-за сложности определения значения длины проекции наклонного сечения «с»

В процессе расчета прочность бетона переводится из стандартов АСІ 318 (f'_c) [75] в российские стандарты по средней кубиковой прочности (R_m). Следует отметить, что требуемая (нормативная) прочность бетона на сжатие f'_c пересчитывается в среднюю прочность на сжатие f'_{cr} (f_{cm} – Еврокод 2) по формулам.

По АСІ 318 [76], если $f'_c < 21$ МПа:

$$f'_{cr} = f'_c + 7 \text{ (МПа)} \quad (4.44)$$

$21 \leq f'_c \leq 35$ МПа:

$$f'_{cr} = f'_c + 8 \text{ (МПа)} \quad (4.45)$$

$35 < f'_c$ МПа:

$$f'_{cr} = 1,1f'_c + 5 \text{ (МПа)} \quad (4.46)$$

Использование коэффициента 0,18 вместо 0,23 снижает прочность бетона на растяжение, тем самым повышает обеспеченность этого параметра, что необходимо при проектировании железобетонных конструкций. Поэтому, средняя прочность

бетона на растяжение определяется по формуле (5.2) по СП 27.13330.2011 [61]:

$$R_{btm} = 0,18\sqrt[3]{R_m^2} \text{ (МПа)}. \quad (4.47)$$

Модуль упругости бетона определяется по формуле (Еврокод 2):

$$E_b = E_{cm} = 22(f_{cm} / 10)^{0,3} \text{ (ГПа)}, \quad (4.48)$$

Результаты расчета представлены в **приложении 4**.

В таблице 4.4 представлены результаты статистической обработки $Q_{exp}/Q_{расчет}$ для балок с хомутами и без них.

Таблица 4.4. Результаты статистической обработки $Q_{exp}/Q_{расчет}$ для балок с хомутами и без хомутов

$Q_{exp}/Q_{расчет}$	1132 балок без хомутов			90 балок с хомутами		
	$\frac{Q_{exp}}{Q_{СП2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{МТ1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{МТ2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{СП2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{МТ1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{МТ2}}$
Среднее	1,31	1,11	1,09	1,62	1,38	1,38
Медиана	1,22	1,04	1,01	1,40	1,20	1,20
Стандартное отклонение	0,44	0,32	0,32	0,45	0,38	0,37
Коэффициент вариации (%)	33,74	28,41	29,44	28,14	27,82	27,23
Минимум	0,46	0,45	0,45	1,09	0,88	0,88
$(Q_{exp}/Q_{расчет})$ 5%	0,77	0,74	0,72	1,13	0,94	0,94
Максимум	3,81	2,71	2,71	2,03	1,58	1,58
$(Q_{exp}/Q_{расчет})$ 95%	2,19	1,75	1,71	2,62	2,16	2,11

Если значение $(Q_{exp}/Q_{расчет})$ больше 1, то результаты расчета несущей способности изгибаемых железобетонных балок по наклонному сечению, обеспечит безопасность. Чем ближе это значение к 1, тем точнее метод расчета. Из результатов анализа следует, что предложенная формула (МТ2) лучше коррелируется с экспериментом, поскольку имеет меньшее среднее значение (1,09 и 1,38), отклонение (0,32 и 0,37) и коэффициент вариации (29,44% и 27,23%), чем расчет по формуле СП 63.13330.2018 (СП2) (табл. 4.4) в случае балок без хомутов, так и в случае балок с хомутами.

Корреляция между расчетными и экспериментальными результатами по содержанию продольной растянутой арматуры и по отношению пролета среза к рабочей высоте балки представлена на рисунке 4.12.

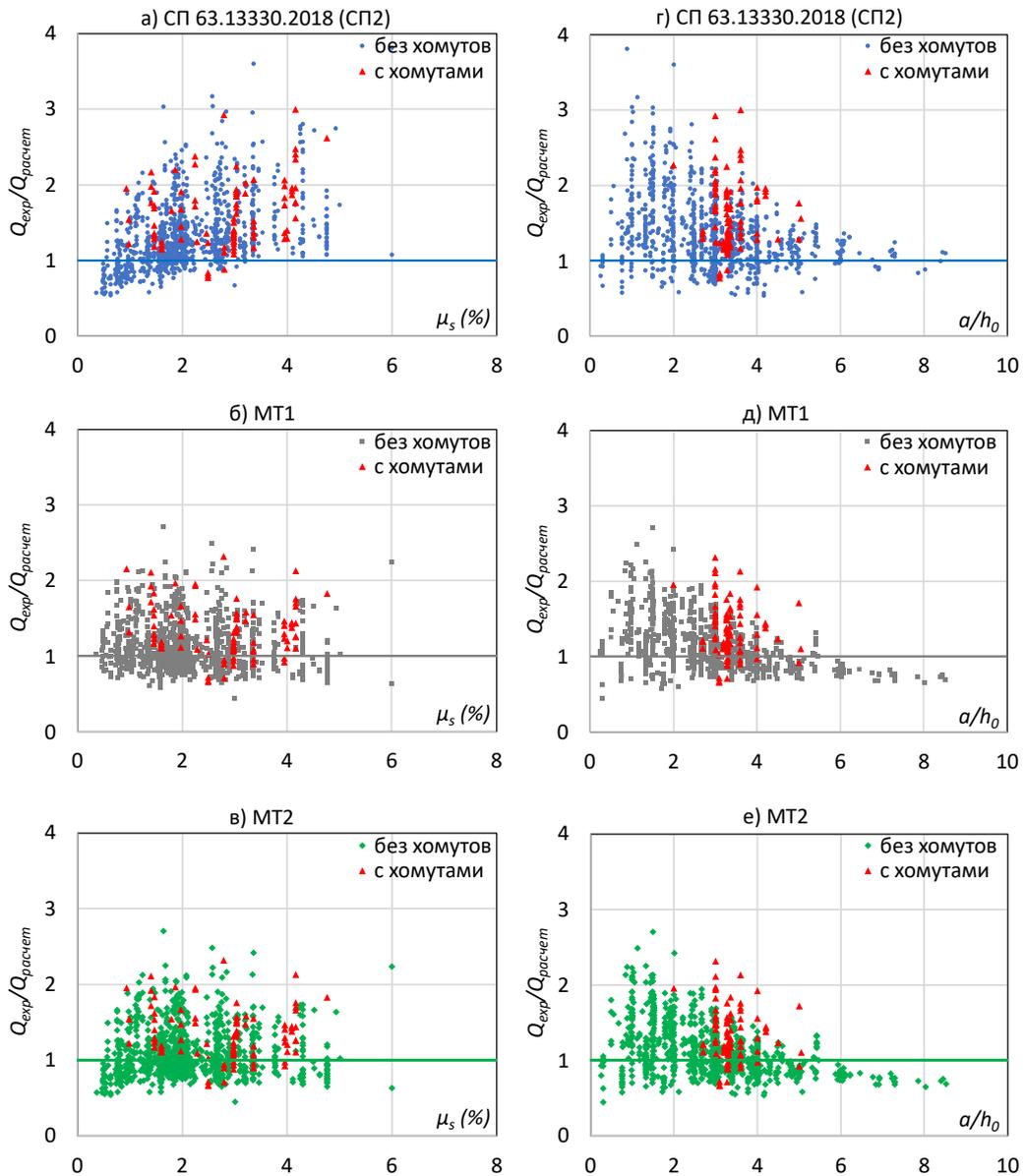


Рисунок 4.12 – Корреляция между расчетными и экспериментальными результатами по μ_s (%) (а, б, в) и по a/h_0 (г, д, е)

Результаты расчета по предлагаемому методу показывают, что отношение ($Q_{exp}/Q_{расчет}$) не зависит от процента продольной арматуры (рис. 4.12,б и 4.12,в), тогда как по СП 63.13330.2018 (СП2) повышение содержания продольной арматуры приводит к увеличению погрешности (рис. 4.12,а).

При изменении относительного пролета среза a/h_0 отклонение результатов расчета от экспериментальных по предлагаемому методу меньше (рис. 4.12,д и 4.12,е), чем по СП 63.13330.2018 (СП2) (рис. 4.12,г, табл. 4.4).

4.4 Выводы главы 4

Научная гипотеза о влиянии продольного армирования на несущую способность по наклонному сечению получила теоретическое и экспериментальное подтверждение.

Представлены формулы для расчета прочности железобетонных балок по наклонным сечениям на основе двухблочной модели. По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1. Используемая модель расчета основана на принципах строительной механики с допущениями, которые были приняты и использованы многими исследователями и в стандартах. Предлагаемая расчетная модель наглядно показывает влияние содержания продольной растянутой арматуры на несущую способность железобетонных балок по наклонным сечениям.

2. Двухблочная модель упрощает процесс расчета за счет преобразования уравнений равновесия сил на двух блоках. Такие параметры, как зацепление и нагельные силы, которые сложно определить, заменяются поперечной силой, воспринимаемой сжатым бетоном под наклонной трещиной (Q_{b2}).

3. Виды случайных разрушений, возникающих при испытаниях, показывают сложность определения значений высоты зоны сжатия бетона над наклонной трещиной, а также зависимости напряженно–деформированного состояния бетона и арматуры как в наклонном, так и в нормальном сечении, проходящем через вершину наклонной трещины.

4. На основании как теоретического, так и экспериментального анализа предложенная формула (4.35) показывает адекватные результаты, согласующиеся с результатами испытаний как для случая балок без хомутов, так и для балок с хомутами.

Таким образом, для расчета прочности наклонных сечений предлагается использовать формулы (4.35) и (4.43) взамен условия (4.36) приведенных в СП 63.13330.2018.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты диссертационного исследования:

1. Выполненный анализ теоретических и экспериментальных исследований подтвердил влияние продольного армирования на несущую способность по наклонному сечению изгибаемых железобетонных элементов и показал отсутствие простого метода расчета.

2. Предложена упрощенная модель расчетов работы железобетонных балок по наклонному сечению на действие поперечных сил с учетом коэффициента продольного армирования.

3. Метод разработан на основе двухблочной схемы путем решения уравнений равновесия поперечных сил с учетом принятых допущений.

Валидность метода подтверждается экспериментальными данными автора, численным моделированием и сравнением с экспериментальными исследованиями других авторов (1132 балок без хомутов и 90 балок с хомутами).

Предлагаемый метод адаптирован к действующим нормативным документам при учете влияния длины пролета среза. Полученные результаты подтвердили более высокую точность и надежность предлагаемого метода по сравнению с методом, используемым в российских нормативных документах.

4. При проценте армирования $\mu_s=2,0\%$ разница результатов расчетов по предлагаемой формуле и по формуле (8.60) СП 63.13330.2018 составляет 11% (при бетоне В15) и 30% (при бетоне В40). Эта разница будет увеличиваться по мере увеличения коэффициента армирования.

5. Экспериментально подтверждено, что при увеличении содержания продольной арматуры несущая способность балки по наклонным сечениям увеличивается.

При сравнении с балками с содержанием продольной арматуры $\mu_s=0,84\%$ составило:

– для балок без поперечной арматуры, прочность балки увеличивалась от 15% при $\mu_s=1,31\%$ до 35% при $\mu_s=1,88\%$;

При сравнении с балками с содержанием продольной арматуры $\mu_s=1,31\%$ составило:

– для балок с поперечной арматурой, прочность балки увеличивалась на 31% при изменении μ_s до 1,88%.

6. Экспериментально также подтверждено, что при увеличении пролета среза несущая способность балки по наклонным сечениям уменьшается. Сравнение несущей способности при отношениях a/h_0 , (1,5, 2,0 и 2,5):

– для балок без поперечной арматуры при увеличении относительного пролета среза a/h_0 с 1,5 до 2,0 прочность балки по наклонным сечениям уменьшилась на 8%, а при увеличении a/h_0 с 1,5 до 2,5 несущая способность уменьшилась на 29%;

– для балок с поперечной арматурой, прочность уменьшилась соответственно, на 15% и 57%.

7. Для испытаний серии 2 и 3 (3 балки в серии 3), поперечные арматуры устанавливались с содержанием $\mu_{sw}=0,33\%$ ($\phi 5, s=100 > s_{max}=h_0/2=50$ мм). В этих балках, поперечная арматура не является расчетной. Хотя экспериментально зафиксировано повышение несущей способности.

8. Численное исследование несущей способности железобетонных балок с использованием ABAQUS подтвердило влияние продольной арматуры и пролета среза на их прочность по наклонным сечениям.

В данной диссертации рассматривались железобетонные балки прямоугольного сечения, без предварительного напряжения и осевой силы, из бетонов средней прочности, нагрузка представляет собой две сосредоточенные силы, расположенные симметрично.

Дальнейшие исследования предполагают следующие направления:

– определить верхний предел процента армирования продольной арматуры для предлагаемой формулы (4.31) (поскольку некоторые стандарты BS 8110 ограничивают значение содержания продольной арматуры до 3%, Еврокод 2 до 2%);

– определить влияние таких факторов, как форма поперечного сечения балки;

- определить влияние рабочей высоты балки (h_0);
- определить действие продольной силы в балке;
- определить возможность применения для конструкций с использованием таких материалов, как высокопрочный бетон и фибробетон;
- развить метод для расчета железобетонных балок по наклонным сечениям при действии изгибающего момента.
- ИИ можно было бы использовать в дальнейших исследованиях для проверки предложения о новом коэффициенте в исследовательской формуле с целью повышения точности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байков В.Н. Железобетонные конструкции (Общий курс) / В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов. – Москва: Стройиздат, 1991. – 767 с.
2. Барановский Л. Влияние формы сечения на несущую способность изгибаемых элементов при действии поперечных сил / Л. Барановский. – Варшава: Институт строительной техники, 1970. – 261 с.
3. Белов Ю.А. Международные рекомендации для расчета и осуществления обычных и предварительно напряженных железобетонных конструкций / Ю.А. Белов, А.А. Гвоздев и др. – Москва: НИИЖБ Госстроя СССР, 1970. – 234 с.
4. Бондаренко В.М. Железобетонные и каменные конструкции / В.М. Бондаренко, Д.Г. Суворкин. – Москва: Высшая школа, 1987. – 384 с.
5. Боришанский М.С. Расчет отогнутых стержней и хомутов в изгибаемых железобетонных элементах по стадии разрушения / М.С. Боришанский. – Москва: Стройиздат, 1946. – 79 с.
6. Боришанский М.С. Новые данные о сопротивлении изгибаемых элементов действию поперечных сил / М.С. Боришанский // Вопросы современного железобетонного строительства. – 1952. – С. 136–152.
7. Боришанский М.С. Образование косых трещин в стенках предварительно напряженных балок и влияние предварительного напряжения на прочность под действием поперечных сил / М.С. Боришанский, Ю.К. Николаев // Прочность и жесткость железобетонных конструкций. – 1968. – С. 5–56.
8. Васильев П.И. Железобетонные конструкции гидротехнических сооружений / П.И. Васильев, Ю.И. Кононов, Я.Н. Чирков. – Киев; Донецк: Вища школа, 1982. – 320 с.
9. Гвоздев А.А. Новое о прочности железобетона / А.А. Гвоздев, С.А. Дмитриев, С.М. Крылов и др. – Москва: Стройиздат, 1977. – 272 с.
10. ГОСТ 10180–2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: Стандартиформ, 2013. – 29 с.

11. ГОСТ 12004–81. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение. – М.: Стандартиформ, 2009. – 10 с.
12. Дау Тьеколо. Влияние продольного армирования на несущую способность наклонных сечений железобетонных балок : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Дау Тьеколо. – Москва:, 1998. – 19 с.
13. Залесов А.С. Расчет прочности железобетонных элементов при действии поперечных сил и кручения / А.С. Залесов // Бетон и железобетон. – 1976. – № 6. – С. 22–24.
14. Залесов А.С. Новый метод расчета прочности железобетонных элементов по наклонным сечениям / А.С. Залесов // Расчет и проектирование железобетонных конструкций : труды института. – М.: НИИЖБ. – 1977. – № 39. – С. 16–28.
15. Залесов А.С. Сопротивление железобетонных элементов при действии поперечных сил. Теория и новые методы расчета прочности : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.23.01. / А.С. Залесов. – М.: НИИЖБ, 1979. – 358 с.
16. Залесов А.С. Расчет железобетонных конструкций по прочности, трещиностойкости и деформациям / А.С. Залесов, И.К. Никитин, Л.Л. Лемыш, Э.Н. Кодыш. – М.: Стройиздат, 1988. – 320 с.
17. Залесов А.С. Краткие заметки о расчете железобетонных конструкций на действие изгибающих моментов и продольных сил / А.С. Залесов. – Москва: ОАО «ЦПП», 2008. – 26 с.
18. Залесов А.С. Краткие заметки о расчете железобетонных конструкций на действие поперечных сил / А.С. Залесов. – Москва: ОАО «ЦПП», 2008. – 34 с.
19. Залесов А.С. Несущая способность элементов при действии поперечных сил / А.С. Залесов, О.Ф. Ильин // Бетон и железобетон. – 1973. – № 6. – С. 19–21.
20. Залесов А.С. Работа элементов на действие поперечных сил при изгибе / А.С. Залесов, О.Ф. Ильин // Сборные железобетонные конструкции из высокопрочного бетона. – М.: Стройиздат. – 1976. – С. 116–142.

21. Залесов А.С. Трещиностойкость наклонных сечений железобетонных элементов / А.С. Залесов, О.Ф. Ильин // Предельные состояния элементов железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат. – 1976. – С. 56–68.

22. Залесов А.С. Отчет: Разработка и внедрение алгоритмов и программ для расчета на ЭВМ элементов железобетонных конструкций (разделы 6 и 7). / А.С. Залесов, О.Ф. Ильин, А.В. Петросян. – Москва:, 1989. – 174 с.

23. Залесов А.С. Опыт построения новой теории прочности балок в зоне действия поперечных сил / А.С. Залесов, О.Ф. Ильин, И.А. Титов // Новое о прочности железобетона. – 1977. – С. 115–130.

24. Залесов А.С. Прочность железобетонных конструкций при действии поперечных сил / А.С. Залесов, Ю.А. Климов – К.: Будивэльнык, 1989. – 104 с.

25. Залесов А.С. Прочность элементов при поперечном изгибе с продольными сжимающими силами высокого уровня / А.С. Залесов, Р.Л. Маилян, С.Г. Шеина // Бетон и железобетон. – 1984. – № 3. – С. 34–35.

26. Залесов А.С. Прочность тавровых элементов по наклонным сечениям / А.С. Залесов, Э.Е. Сигалов, И. Т. Тунгушбаев // Исследование сейсмостойкости сооружений и конструкций. Алма-Ата. – 1977. – № 9. – С. 18–24.

27. Залесов А.С. Исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов в зоне действия поперечных сил / А.С. Залесов, И.А. Титов // Строительные конструкции и теория сооружений. – Минск: БПИ. – 1977. – № 2. – С. 42–47.

28. Зенин С.А. Влияние сжимающих напряжений на прочность наклонных сечений внецентренно сжатых железобетонных элементов / С.А. Зенин, Р.Ш. Шарипов, О.В. Кудинов // Бетон и железобетон. – 2021. – № 1 (603). – С. 44–52.

29. Зорич А.С. К вопросу о несущей способности обычных и предварительно напряженных балок при поперечном изгибе / А.С. Зорич // Строительные конструкции. Сборник трудов ЮжНИИ. – Харьков: Харьковское книжное издательство. – 1959. (3). – С. 64–75.

30. Игнатавичус Ч.Б. Исследование прочности железобетонных прямоугольных и тавровых балок по наклонному сечению : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Ч.Б. Игнатавичус. – Вильнюс:, 1973. – 198 с.

31. Изотов Ю.Л. Повышение уровня надежности железобетонных конструкций, применяемых в строительстве / Ю.Л. Изотов // Надежность железобетонных конструкций сельскохозяйственных зданий и сооружений. – Киев: Будівельник. – 1975. – С. 14–96.

32. Ильин О.Ф. Исследование железобетонных балок из высокопрочного бетона при действии поперечных сил : дис. ... канд. техн. наук : 05.00.00 / О.Ф. Ильин. – М.: НИИЖБ, 1973. – 117 с.

33. Ильин О.Ф. Образование наклонных трещин / О.Ф. Ильин // Исследования по бетону и железобетонным конструкциям : материалы конференции молодых специалистов. – М. : Стройиздат. – 1974. – С. 32–41.

34. Карпенко С.Н. Модели деформирования железобетона в приращениях и методы расчёта конструкций : автореф. дис. ... д-ра. техн. наук : 05.23.01 / С.Н. Карпенко. – Москва:, 2010. – 48 с.

35. Клименко Е.В. Прочность наклонного сечения косоизгибаемых железобетонных тавровых элементов : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Е.В. Клименко. – Полтава:, 1984. – 227 с.

36. Климов Ю. А. Теория и разработка мощности, трещиностойкости и деформативности железобетонных элементов при воздействии поперечных сил : автореферат дис. ... доктора технических наук : 05.23.01. / Ю. А. Климов. – Киев:, 1992. – 40 с.

37. Краснощеков Ю.В. Расчетная модель сопротивления поперечной силе железобетонных изгибаемых элементов / Ю.В. Краснощеков // Вестник СибАДИ. – 2019. – № 66 (16, № 2). – С. 182–192.

38. Крылов А.С. Прочность железобетонных балок с жесткой арматурой из высокопрочных бетонов : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / А.С. Крылов. – Москва:, 2019. – 187 с.

39. Крылов С.Б. Модель прочности наклонных сечений балок произвольной формы / С.Б. Крылов, В.И. Травуш, А.С. Крылов // Вестник НИЦ «Строительство». – 2020. – № 4 (27). – С. 46–64.

40. Кудзис А.П. Железобетонные и каменные конструкции. Часть 1. Материалы, конструирование, теория и расчет / А.П. Кудзис. – Москва: Высшая школа, 1988. – 287 с.

41. Курбатов Л.Г. Использование бетона, армированного отрезками проволоки в тонкостенных оболочках / Л.Г. Курбатов, В.П. Вылегжанин // Бетон и железобетон. – 1974. – № 2. – С. 10–12.

42. Ле К.Х. Расчет прочности наклонных сечений изгибаемых железобетонных элементов без поперечной арматуры / К.Х. Ле // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 7 (115). – С. 568–582.

43. Ле К.Х. Анализ сопротивления сдвигу железобетонных балок без хомутов методом численного моделирования в программе ABAQUS / К.Х. Ле // Материалы XVI Международной научно–технической конференции. Актуальные вопросы архитектуры и строительства. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2023. – С. 3–9.

44. Ле К.Х. Оценка влияния продольной арматуры на несущую способность железобетонных балок без хомутов по наклонному сечению при действии поперечной силы / К.Х. Ле, В.М. Попов, А.О. Хегай // Вестник гражданских инженеров. – 2024. – № 6 (107). – С. 45–51.

45. Морозов А. Н. О некоторых концепциях по расчету прочности железобетонных элементов по наклонным сечениям при действии поперечных сил (на примере исследования работы газобетона) / А. Н. Морозов // Проблемы современной науки и образования. – 2015. – № 4. – С. 41–51.

46. Морозов В. И. Анализ влияния продольного армирования на сопротивление сдвигу в железобетонных балках без хомутов / В. И. Морозов, К.Х. Ле // Вестник гражданских инженеров. – 2023. – № 6 (101). – С. 13–23.

47. Мурашев В. И. Железобетонные конструкции (Общий курс) / В. И. Мурашев, В. Н. Байков, Э. Е. Сигалов. – Москва: Государственное издательство

литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1962. – 662 с.

48. Мухамедиев Т.А. О расчете прочности наклонных сечений железобетонных элементов с различной формой поперечного сечения / Т.А. Мухамедиев, С.А. Зенин // Строительные материалы. – 2022. – № 8. – С. 70–74.

49. Мухамедиев Т.А. Оценка надежности метода расчета прочности наклонных сечений железобетонных элементов с различной формой поперечного сечения / Т.А. Мухамедиев, С.А. Зенин, А.С. Жарких // Вестник НИЦ Строительство. – 2022. – № 2 (33). – С. 139–149.

50. Опбул Э.К.О. Деформационная модель прочности изгибаемого элемента в среде Matlab / Э.К.О. Опбул, А.Х.Б. Калдар–Оол, К.Х. Ле // Вестник Томского государственного архитектурно–строительного университета. – 2022. – Т. 24, № 4. – С. 110–129.

51. Подшивалов С.Ф. Исследование прочности сталефибробетонных балок при действии поперечных сил: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / С.Ф. Подшивалов. – Ленинград:, 1976. – 151 с.

52. Польской П.П. Прочность и трещиностойкость наклонных сечений изгибаемых железобетонных элементов при различных видах бетона и формах сечения : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / П.П. Польской. – Ростов–на–Дону:, 1998. – 25 с.

53. Попов Н.Н. Железобетонные и каменные конструкции / Н.Н. Попов, М. Чарыев. – Москва: Высшая школа, 1996. – 254 с.

54. Раукас У.В. Исследование работы железобетонных балок прямоугольного сечения на изгиб с поперечной силой : дис. ... канд. техн. наук : 05.00.00 / У.В. Раукас. – Свердловск:, 1955. – 262 с.

55. Сахновский К.В. Железобетонные конструкции / К.В. Сахновский. – Москва: Государственное Издательство – Литературы по Строительству, Архитектуре и Строительным Материалам, 1959. – 840 с.

56. Силантьев А.С. Сопротивление изгибаемых железобетонных элементов по наклонным сечениям с учетом влияния продольного армирования : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / А.С. Силантьев. – Москва:, 2012. – 24 с.

57. СНиП 2.03.01–84. Бетонные и железобетонные конструкции /Госстрой СССР – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с.

58. СНиП 52–01–2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 31 с.

59. СНиП II–21–75. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 1976. – 89 с.

60. СНиП II–В.1–62. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 1970. – 102 с.

61. СП 27.13330.2011. Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур. – М.: Минрегион России, 2011. – 116 с.

62. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения СНиП 52–01–2003. – Москва: Стандартиформ, 2019. – 124 с.

63. Старишко И.Н. Результаты экспериментальных исследований влияния основных факторов на несущую способность по наклонным сечениям в изгибаемых железобетонных балках прямоугольного и таврового профиля / И.Н. Старишко // Вестник МГСУ. – 2016. – № 7. – С. 18–33.

64. Старишко И.Н. Новое направление по расчету прочности изгибаемых железобетонных элементов по наклонным сечениям с примером расчета опытной балки / И.Н. Старишко // Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings. – 2021. – № 5 (17). – С. 479–499.

65. Старишко И.Н. Несущая способность по наклонным сечениям предварительно–напряжённых изгибаемых железобетонных элементов / И.Н. Старишко, А.С. Залесов, Э.Е. Сигалов // Известия ВУЗов. Строительство и архитектура. – 1976. – № 4. – С. 21–26.

66. Страхов Д.А. Железобетонные конструкции. Расчеты по несущей способности: учебное пособие / Д.А. Страхов, В.А. Соколов. – Санкт–Петербург: Издательство Политехнического университета, 2009. – 86 с.

67. Титов И.А. Исследование напряженно–деформированного состояния железобетонных элементов в зоне действия поперечных сил : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / И.А. Титов. – Москва:, 1975. – 22 с.

68. Филатов В.Б. Анализ расчетных моделей при расчете прочности наклонных сечений железобетонных балок на действие поперечных сил / В.Б. Филатов, А.С. Арцыбасов, М.А. Багаутдинов, Д.И. Гордеев, А.И. Кортунов и др. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – № 4 (3). – С. 642–645.

69. Филатов В.Б. Моделирование работы сборно–монолитной железобетонной балки в зоне поперечного изгиба / В.Б. Филатов // Вестник Евразийской науки. – 2020. – № 3 (12). – С. 1–12.

70. Филатов В.Б. Расчетная модель наклонного сечения изгибаемого железобетонного элемента без поперечной арматуры / В.Б. Филатов, Е.В. Блинкова // Известия Самарского научного центра РАН. – 2013. – № 6 (2). – С. 517–520.

71. Шеина С.Г. Прочность и трещиностойкость наклонных сечений железобетонных элементов при совместном действии продольных сжимающих и поперечных сил : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / С.Г. Шеина. – Ростов–на–Дону:, 1984. – 188 с.

72. Шипулин С.А. Расчет железобетонных элементов по прочности наклонных сечений при двухосевом действии поперечных сил / С.А. Шипулин, З.В. Беляева, Л.И. Миронова // Bulletin of Belgorod State Technological University named after. V. G. Shukhov. – 2023. – № 8 (8). – С. 16–30.

73. ABAQUS 2016. Analysis User's Guide. / ABAQUS 2016. – Dassault Systèmes, 2016. – 707 p.

74. Abdalkader A.M. Shear strength of reinforced concrete beams without stirrups / A.M. Abdalkader // Conference: 3rd Annual scientific conference of the college of engineering. – Iraq: Babylon University, 2011. – P. 700–714.

75. ACI 214R–11. Guide to evaluation of strength test results of concrete – American Concrete Institute, 2011. – 16 p.
76. ACI 318–11. Building code requirements for structural concrete (ACI 318–11) and commentary – American Concrete Institute, 2011. – 503 p.
77. ACI 318–19. Building code requirements for structural concrete and commentary. – American Concrete Institute, 2019. – 628 p.
78. ACI–ASCE Committee 326. Shear and diagonal tension / ACI–ASCE Committee 326. // ACI Journal. – 1962. – No. 59. – P. 1–30.
79. Antonio C.B. Shear design of reinforced high–strength concrete beams : Thesis for Ph.D. / C.B. Antonio. – Barcelona:, 2002. – 325 p.
80. Bentz E.C. Simplified modified compression field theory for calculating shear strength of reinforced concrete elements / E.C. Bentz, F.J. Vecchio, M.P. Collins // ACI Structural Journal. – 2006. – P. 614–624.
81. Berlabi A. Constitutive laws of concrete in tension and reinforcing bars stiffened by concrete / A. Berlabi, T.T.C. Hsu // ACI Structural Journal. – 1994. – No. 4, Vol. 91. – P. 465–474.
82. Berlabi A. Constitutive Laws of Softened Concrete in Biaxial Tension–Compression / A. Berlabi, T.T.C. Hsu // ACI Structural Journal. – 1995. – No. 5, Vol. 92. – P. 562–573.
83. Bresler B. Review of concrete beams failing in shear / B. Bresler, J.G. MacGregor // Journal of the Structural Division. – 1967. – No. 1, Vol. 93. – P. 343–372.
84. BS 8110–1: 1997. Structural use of concrete. Part 1: Code of practice for design and construction. – 2nd–e., 1997. – 160 p.
85. Ceberg E. Degree project in concrete structures numerical simulations of impact–loaded reinforced concrete beams / E. Ceberg, E. Holm. – 2024. – 151 p.
86. CEB–FIP Task Group 8.2. Constitutive modelling of high strength/high performance concrete. – International Federation for Structural Concrete, 2008. – 130 p.
87. Collins M.P. Toward a rational theory for RC members in shear / M.P. Collins // Journal of the Structural Division. – 1978. – No. 4, Vol. 104. – P. 649–666.

88. Collins M.P. The challenge of predicting the shear strength of very thick slabs / M.P. Collins, E.C. Bentz, Phillip T. Quach, Giorgio T. Proestos // *ACI Concrete International*. – 2015. – No. 37, Vol. 11. – P. 29–37.

89. Collins M.P. Where is shear reinforcement required? Review of research results and design procedures / M.P. Collins, E.C. Bentz, E.G. Sherwood // *ACI Structural Journal*. – 2008. – No. 105. – P. 590–600.

90. Collins M.P. *Prestressed Concrete Structures* / M.P. Collins, D. Mitchell – Response Publications, 1997. – 766 p.

91. EN 1992–1–1: Eurocode 2. Design of concrete structures – Part 1–1: General rules and rules for buildings. – 2004. – 227 p.

92. Fenwick R.C. Mechanisms of shear resistance of concrete beams / R.C. Fenwick, T. Paulay // *Journal of the Structural Division*. – 1968. – No. 10, Vol. 94. – P. 2325–2350.

93. Hamadi Y.D. Behavior in shear of beams with flexural cracks / Y.D. Hamadi, P.E. Regan // *Magazine of Concrete Research*. – 1980. – No. 1, Vol. 32. – P. 67–77.

94. Kani G.N.J. The riddle of shear failure and its solution / G.N.J. Kani // *ACI Journal*. – 1964. – No. 4, Vol. 61. – P. 441–467.

95. Kani G.N.J. A rational theory for the function of web reinforcement / G.N.J. Kani // *ACI Journal*. – 1969. – No. 3, Vol. 66. – P. 185–197.

96. Kupfer H. Eiweiterung der Mörsch'schen Fachwerkanalogie mit Hilfe des Prinzips vom Minimum der Formänderungsarbeit (Generalization of Mörsch's truss analogy using the principle of minimum strain energy) / H. Kupfer // *Committee Euro-International du Béton*. – Paris: Bulletin d'Information, 1964. – P. 44–57.

97. Leonhardt F. *The Stuttgart shear tests, 1961*. Cement and Concrete Association, Library Translation No. 111 / F. Leonhardt, R. Walther. – London., 1964. – 134 p.

98. Malm R. Shear cracks in concrete structures subjected to in-plane stresses : Thesis for Licentiate / R. Malm. – Stockholm., 2006. – 148 p.

99. Malm R. Predicting shear type crack initiation and growth in concrete with non-linear finite element method : Thesis for Ph.D. / R. Malm. – Stockholm., 2009. – 124 p.

100. Mattock A.H. Diagonal tension cracking in concrete beams with axial forces / A.H. Mattock // *Journal of the Structural Division*. – 1969. – No. 9, Vol. 95. – P. 1887–1900.
101. Mitchell D. Diagonal Compression Field Theory – A Rational Model for Structural Concrete in Pure Torsion / D. Mitchell, M.P. Collins // *ACI Journal*. – 1974. – Vol. 71. – P. 396–408.
102. Model Code 2010. First complete draft, Volume 1 / Model Code 2010. International Federation for Structural Concrete, 2010. – 318 p.
103. Mörsch E. Concrete steel construction / E. Mörsch. – New York: The engineering news publishing company, 1909. – 368 p.
104. Phan Q. M. Reinforced concrete structure. Basic components / Q. M. Phan, T. P. Ngo. – Hanoi: Science and Technology Publishing House, 2006. – 400 p.
105. Placas A. Shear failure of reinforced concrete beams / A. Placas, P. Regan, A. Baker // *ACI Journal*. – 1974. – No. 10, Vol. 68. – P. 763–773.
106. Poliotti M. A new concrete plastic–damage model with an evolutive dilatancy parameter / M. Poliotti, J. M. Bairán // *Engineering Structures*. – 2019. – Vol. 189. – P. 541–549.
107. Regan P.E. Shear in reinforced concrete beams / P.E. Regan // *Magazine of Concrete Research*. – 1969. – No. 66, Vol. 21. – P. 31–42.
108. Reineck K.H. Ultimate shear force of structural concrete members without transverse reinforcement derived from a mechanical model / K.H. Reineck // *ACI Structural Journal*. – 1991. – No. 5, Vol. 88. – P. 592–602.
109. Ritter W. Die bauweise hennebique. / W. Ritter // *Schweizerische Bauzeitung*. – 1899. – Vol. 33/34. – P. 41–43.
110. Talbot A.N. Test of reinforced concrete beams: resistance of web stresses series of 1907 and 1908 / A.N. Talbot. – Illinois: Urbana, Ill., The University, 1909. – 100 p.
111. Taylor H.P.J. The shear strength of large beams / H.P.J. Taylor // *Journal of the Structural Division*. – 1972. – No. 11, Vol. 98. – P. 2473–2490.

112. Tošić N. A database on flexural and shear strength of reinforced recycled aggregate concrete beams and comparison to Eurocode 2 predictions / N. Tošić, S. Marinković, I. Ignjatović // *Construction and Building Materials*. – 2016. – Vol. 127. – P. 932–944.

113. Vecchio F.J. Disturbed Stress Field Model for Reinforced Concrete: Formulation / F.J. Vecchio // *Journal of Structural Engineering*. – 2000. – No. 9, Vol. 126. – P. 1070–1077.

114. Vecchio F.J. Disturbed Stress Field Model for Reinforced Concrete: Implementation / F.J. Vecchio // *Journal of Structural Engineering*. – 2001. – No. 1, Vol. 127. – P. 12–20.

115. Vecchio F.J. The Modified Compression Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear / F.J. Vecchio, M.P. Collins // *ACI Structural Journal*. – 1986. – No. 2, Vol. 83. – P. 219–231.

116. Wahalathantri B.L. A material model for flexural crack simulation in reinforced concrete elements using ABAQUS / B.L. Wahalathantri, D. Thambiratnam, T. Chan, S. Fawzia // *In Proceedings of the First International Conference on Engineering, Designing and Developing the Built Environment for Sustainable Wellbeing*, Queensland University of Technology, Brisbane, Qld. – 2011. – P. 260–264.

117. Zhenhai Guo. *Principles of reinforced concrete* / Guo Zhenhai. Butterworth–Heinemann, 2014. – 606 p.

118. Zsutty T. Shear strength prediction for separate categories of simple beam tests / T. Zsutty // *ACI Journal*. – 1971. – No. 2, Vol. 68. – P. 138–143.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Испытаний прочности образцов бетона кубов для определения прочности на сжатие

Испытания проведены согласно ГОСТ 10180-2012

Дата бетонирования	Дата испытания	Маркировка образцов	№ куб	Возраст дн.	Размеры	Площадь	Масса	Средняя плотность	Разрушающая нагрузка	Прочность на сжатие	Средняя прочность
					<i>axb^xh</i> , мм	<i>A</i> , см ²	<i>m</i> , г	кг/м ³	<i>P</i> , кН	<i>R</i> , МПа	<i>R_m</i> , МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15.5.2024	27.9.2024	С1	1	> 28	100x100x100,1	100,0	2427,9	2399,0	301,36	28,63	29,484
			2	> 28	100x100x100	100,0	2400,4		356,12	33,83	
			3	> 28	100x100x100,1	100,0	2373,5		273,59	25,99	
29.5.2024	27.9.2024	С2	1	> 28	100x100x100,1	100,0	2362,6	2342,4	346,82	32,95	29,620
			2	> 28	99x100x100,1	99,0	2304,4		320,45	30,75	
			3	> 28	99x100x100,1	99,0	2320,4		262,23	25,16	
14.6.2024	27.9.2024	С3	1	> 28	100,1x100,1x100	100,2	2384,7	2358,0	319,00	30,24	30,858
			2	> 28	100x100,1x100	100,1	2373,0		372,05	35,31	
			3	> 28	100,1x100x100	100,1	2325,7		284,71	27,02	

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

1. Результаты испытаний балки

Прогиб экспериментальной балки определяется по формуле, мм: $f = \sum \Delta I_2 - \frac{(\sum \Delta I_1 + \sum \Delta I_3)}{2}$ (мм)

Серия	Балка	Номер ступени	Поперечная сила	Нагрузка	Показания по приборам									Прогиб
					Индикаторы									
			Q (кН)	P (кН)	1			2			3			f (мм)
					И1	ΔИ1	ΣΔИ1	И2	ΔИ2	ΣΔИ2	И3	ΔИ3	ΣΔИ3	
Серия 1	ЖБ1-1-1		0	0	260,5	0,5	0,5	441,0	11,0	11,0	729,5	5,0	5,0	0,1
		1	0,927	1,853	260,0	1,5	2,0	452,0	8,5	19,5	724,5	2,5	7,5	0,1
		2	1,916	3,832	258,5	4,5	6,5	460,5	17,5	37,0	722,0	5,5	13,0	0,3
		3	3,422	6,844	254,0	2,0	8,5	478,0	32,0	69,0	716,5	3,0	16,0	0,6
		4	4,648	9,296	252,0	0,0	8,5	510,0	0,0	69,0	713,5	0,0	16,0	0,6
		5	18,894	37,788										
	ЖБ1-1-2		0	0	245,0	3,0	3,0	437,0	5,0	5,0	565,0	2,0	2,0	0,0
		1	2,272	4,544	242,0	4,0	7,0	442,0	33,5	38,5	563,0	5,5	7,5	0,3
		2	4,538	9,075	238,0	3,0	10,0	475,5	91,0	129,5	557,5	3,5	11,0	1,2
		3	7,145	14,289	235,0	1,0	11,0	566,5	71,0	200,5	554,0	0,0	11,0	1,9
		4	9,612	19,223	234,0	0,0	11,0	637,5	0,0	200,5	554,0	0,0	11,0	1,9
5		21,637	43,274											

Серия	Балка	Номер ступени	Поперечная сила	Нагрузка	Показания по приборам									Прогиб
					Индикаторы									
			Q (кН)	P (кН)	1			2			3			f (мм)
					И1	Δ И1	Σ Δ И1	И2	Δ И2	Σ Δ И2	И3	Δ И3	Σ Δ И3	
Серия 1	ЖБ1-2-1	0	0	287,0	2,0	2,0	434,0	20,0	20,0	520,5	3,0	3,0	0,2	
		1	2,152	4,304	285,0	4,0	6,0	454,0	55,5	75,5	517,5	4,5	7,5	0,7
		2	4,691	9,381	281,0	2,0	8,0	509,5	58,5	134,0	513,0	1,0	8,5	1,3
		3	7,281	14,561	279,0	1,0	9,0	568,0	57,0	191,0	512,0	0,5	9,0	1,8
		4	9,589	19,178	278,0	0,0	9,0	625,0	0,0	191,0	511,5	0,0	9,0	1,8
		5	21,232	42,464										
	ЖБ1-2-2	0	0	385,0	0,0	0,0	18,5	20,5	20,5	822,5	6,5	6,5	0,2	
		1	2,234	4,467	385,0	0,0	0,0	39,0	34,5	55,0	816,0	7,5	14,0	0,5
		2	4,634	9,267	385,0	1,0	1,0	73,5	63,0	118,0	808,5	9,5	23,5	1,1
		3	7,233	14,466	384,0	1,0	2,0	136,5	55,5	173,5	799,0	7,5	31,0	1,6
		4	9,779	19,558	383,0	0,0	2,0	192,0	0,0	173,5	791,5	0,0	31,0	1,6
		5	25,232	50,464										
	ЖБ1-3-1	0	0	330,0	1,5	1,5	418,5	23,5	23,5	488,0	4,0	4,0	0,2	
		1	2,217	4,433	328,5	2,0	3,5	442,0	28,0	51,5	484,0	3,0	7,0	0,5
		2	4,768	9,535	326,5	3,0	6,5	470,0	35,0	86,5	481,0	1,5	8,5	0,8
		3	7,216	14,432	323,5	3,5	10,0	505,0	37,0	123,5	479,5	3,5	12,0	1,1
		4	9,806	19,612	320,0	0,0	10,0	542,0	0,0	123,5	476,0	0,0	12,0	1,1
		5	30,811	61,622										

Серия	Балка	Номер ступени	Поперечная сила	Нагрузка	Показания по приборам									Прогиб
					Индикаторы									
			Q (кН)	P (кН)	1			2			3			f (мм)
					И1	Δ И1	Σ Δ И1	И2	Δ И2	Σ Δ И2	И3	Δ И3	Σ Δ И3	
Серия 1	ЖБ1-3-2		0	0	568,5	3,5	3,5	370,0	22,5	22,5	597,0	2,0	2,0	0,2
		1	2,154	4,307	565,0	3,0	6,5	392,5	37,0	59,5	595,0	0,5	2,5	0,6
		2	4,669	9,337	562,0	2,0	8,5	429,5	36,5	96,0	594,5	0,0	2,5	0,9
		3	7,216	14,432	560,0	1,0	9,5	466,0	36,5	132,5	594,5	0,5	3,0	1,3
		4	9,793	19,586	559,0	0,0	9,5	502,5	0,0	132,5	594,0	0,0	3,0	1,3
		5	23,874	47,747										
Серия 2	ЖБ2-1-1		0	0	565,0	2,5	2,5	51,0	81,0	81,0	306,0	15,0	15,0	0,7
		1	2,771	5,541	562,5	0,0	2,5	132,0	79,0	160,0	291,0	11,5	26,5	1,5
		2	5,769	11,537	562,5	0,0	2,5	211,0	82,0	242,0	279,5	9,0	35,5	2,2
		3	8,768	17,536	562,5	0,5	3,0	293,0	178,5	420,5	270,5	6,0	41,5	4,0
		4	11,663	23,325	562,0	0,0	3,0	471,5	0,0	420,5	264,5	0,0	41,5	4,0
		5	20,168	40,336										
	ЖБ2-1-2		0	0	505,5	6,0	6,0	68,0	27,0	27,0	491,5	14,5	14,5	0,2
		1	2,809	5,617	499,5	5,0	11,0	95,0	78,0	105,0	477,0	8,0	22,5	0,9
		2	5,764	11,527	494,5	1,0	12,0	173,0	83,0	188,0	469,0	15,5	38,0	1,6
		3	8,611	17,222	493,5	1,0	13,0	256,0	84,5	272,5	453,5	14,5	52,5	2,4
		4	11,754	23,507	492,5	0,0	13,0	340,5	0,0	272,5	439,0	0,0	52,5	2,4
		5	25,742	51,484										

Серия	Балка	Номер ступени	Поперечная сила	Нагрузка	Показания по приборам									Прогиб
					Индикаторы									
			Q (кН)	P (кН)	1			2			3			f (мм)
					И1	Δ И1	Σ Δ И1	И2	Δ И2	Σ Δ И2	И3	Δ И3	Σ Δ И3	
Серия 2	ЖБ2-2-1		0,000	0,000	164,5	0,5	0,5	67,5	48,5	48,5	89,5	11,0	11,0	0,4
		1	2,767	5,534	164,0	0,5	1,0	116,0	69,0	117,5	78,5	16,0	27,0	1,0
		2	5,776	11,552	163,5	0,0	1,0	185,0	67,0	184,5	62,5	17,5	44,5	1,6
		3	8,671	17,341	163,5	0,0	1,0	252,0	87,5	272,0	45,0	28,0	72,5	2,4
		4	11,736	23,472	163,5	0,0	1,0	339,5	0,0	272,0	17,0	0,0	72,5	2,4
		5	19,818	39,635										
	ЖБ2-2-2		0	0	539,0	2,5	2,5	59,0	24,0	24,0	555,5	2,5	2,5	0,2
		1	2,763	5,526	536,5	2,5	5,0	83,0	46,5	70,5	553,0	11,0	13,5	0,6
		2	5,663	11,325	534,0	2,0	7,0	129,5	70,0	140,5	542,0	13,0	26,5	1,2
		3	8,720	17,440	532,0	1,5	8,5	199,5	66,5	207,0	529,0	14,0	40,5	1,8
		4	11,795	23,589	530,5	0,0	8,5	266,0	0,0	207,0	515,0	0,0	40,5	1,8
		5	29,860	59,719										
	ЖБ2-3-1		0	0	501,0	5,5	5,5	78,5	23,0	23,0	185,0	0,0	0,0	0,2
		1	2,878	5,755	495,5	3,5	9,0	101,5	35,0	58,0	185,0	0,5	0,5	0,5
		2	5,753	11,505	492,0	2,0	11,0	136,5	42,0	100,0	184,5	0,5	1,0	0,9
		3	8,621	17,242	490,0	1,5	12,5	178,5	50,5	150,5	184,0	1,0	2,0	1,4
		4	11,772	23,544	488,5	0,0	12,5	229,0	0,0	150,5	183,0	0,0	2,0	1,4
		5	36,418	72,836										

Серия	Балка	Номер ступени	Поперечная сила	Нагрузка	Показания по приборам									Прогиб
					Индикаторы									
			Q (кН)	P (кН)	1			2			3			f (мм)
					И1	Δ И1	Σ Δ И1	И2	Δ И2	Σ Δ И2	И3	Δ И3	Σ Δ И3	
Серия 2	ЖБ2-3-2		0	0	569,0	2,5	2,5	95,0	22,0	22,0	458,0	4,5	4,5	0,2
		1	2,635	5,269	566,5	5,5	8,0	117,0	53,5	75,5	453,5	5,5	10,0	0,7
		2	5,798	11,595	561,0	2,5	10,5	170,5	50,5	126,0	448,0	6,0	16,0	1,1
		3	8,693	17,385	558,5	4,5	15,0	221,0	50,0	176,0	442,0	5,0	21,0	1,6
		4	11,794	23,588	554,0	0,0	15,0	271,0	0,0	176,0	437,0	0,0	21,0	1,6
		5	32,580	65,160										
Серия 3	ЖБ3-1-1		0	0	198,5	1,5	1,5	119,0	43,5	43,5	171,0	9,0	9,0	0,4
		1	2,350	4,699	197,0	1,5	3,0	162,5	52,0	95,5	162,0	9,0	18,0	0,9
		2	4,667	9,334	195,5	1,5	4,5	214,5	72,5	168,0	153,0	44,0	62,0	1,3
		3	7,309	14,618	194,0	0,0	4,5	287,0	53,0	221,0	109,0	4,0	66,0	1,9
		4	9,799	19,598	194,0	0,0	4,5	340,0	0,0	221,0	105,0	0,0	66,0	1,9
		5	14,603	29,205										
	ЖБ3-1-2		0	0	98,5	0,0	0,0	203,5	23,0	23,0	358,0	0,0	0,0	0,2
		1	1,621	3,242	98,5	0,0	0,0	226,5	45,5	68,5	358,0	0,0	0,0	0,7
		2	3,428	6,855	98,5	0,5	0,5	272,0	54,5	123,0	358,0	6,0	6,0	1,2
		3	5,431	10,861	98,0	0,5	1,0	326,5	46,5	169,5	352,0	7,0	13,0	1,6
		4	7,112	14,224	97,5	0,0	1,0	373,0	0,0	169,5	345,0	0,0	13,0	1,6
		5	13,519	27,038										

Серия	Балка	Номер ступени	Поперечная сила	Нагрузка	Показания по приборам									Прогиб
					Индикаторы									
			Q (кН)	P (кН)	1			2			3			f (мм)
					И1	Δ И1	Σ Δ И1	И2	Δ И2	Σ Δ И2	И3	Δ И3	Σ Δ И3	
Серия 3	ЖБЗ-1-3		0	0	739,0	10,0	10,0	641,5	14,0	14,0	595,0	18,0	18,0	0,0
		1	1,459	2,918	749,0	7,0	17,0	655,5	56,5	70,5	613,0	14,0	32,0	0,5
		2	3,268	6,536	742,0	4,0	21,0	712,0	59,0	129,5	599,0	3,0	35,0	1,0
		3	4,918	9,836	738,0	2,0	23,0	771,0	67,0	196,5	596,0	24,0	59,0	1,6
		4	6,765	13,529	736,0	0,0	23,0	838,0	0,0	196,5	572,0	0,0	59,0	1,6
		5	11,352	22,703										
	ЖБЗ-2-1		0	0	539,5	3,0	3,0	15,5	37,0	37,0	439,5	10,0	10,0	0,3
		1	2,837	5,674	536,5	2,5	5,5	52,5	76,0	113,0	429,5	13,0	23,0	1,0
		2	5,618	11,235	534,0	4,0	9,5	128,5	81,5	194,5	416,5	20,0	43,0	1,7
		3	8,720	17,440	530,0	1,5	11,0	210,0	76,0	270,5	396,5	17,0	60,0	2,4
		4	11,623	23,246	528,5	0,0	11,0	286,0	0,0	270,5	379,5	0,0	60,0	2,4
		5	27,782	55,564										
	ЖБЗ-2-2		0	0	362,5	3,5	3,5	209,0	29,0	29,0	189,0	2,5	2,5	0,3
		1	1,998	3,995	359,0	0,5	4,0	238,0	62,0	91,0	186,5	2,5	5,0	0,9
		2	4,311	8,622	358,5	0,5	4,5	300,0	72,5	163,5	184,0	10,5	15,5	1,5
		3	6,778	13,555	358,0	0,0	4,5	372,5	1,0	164,5	173,5	4,5	20,0	1,5
		4	9,054	18,108	358,0	0,0	4,5	373,5	0,0	164,5	169,0	0,0	20,0	1,5
		5	24,113	48,226										

Серия	Балка	Номер ступени	Поперечная сила	Нагрузка	Показания по приборам									Прогиб
					Индикаторы									
			Q (кН)	P (кН)	1			2			3			f (мм)
					И1	Δ И1	$\Sigma\Delta$ И1	И2	Δ И2	$\Sigma\Delta$ И2	И3	Δ И3	$\Sigma\Delta$ И3	
Серия 3	ЖБЗ-2-3		0	0	364,0	0,0	0,0	626,5	25,0	25,0	262,5	5,0	5,0	0,2
		1	1,770	3,540	364,0	0,0	0,0	651,5	62,0	87,0	257,5	3,5	8,5	0,8
		2	3,732	7,464	364,0	0,0	0,0	713,5	52,5	139,5	254,0	4,5	13,0	1,3
		3	5,728	11,455	364,0	0,0	0,0	766,0	38,0	177,5	249,5	4,0	17,0	1,7
		4	7,847	15,693	364,0	0,0	0,0	804,0	0,0	177,5	245,5	0,0	17,0	1,7
		5	17,728	35,456										

2. Отчет о результатах испытаний балки (из программного обеспечения Bluehill машины UT-05-1000)

Балка ЖБ1-1-1



BiSS Labs
49/E, 14th Cross, 4th Phase
Peenya, Bengaluru - 58

Flexural Test Report

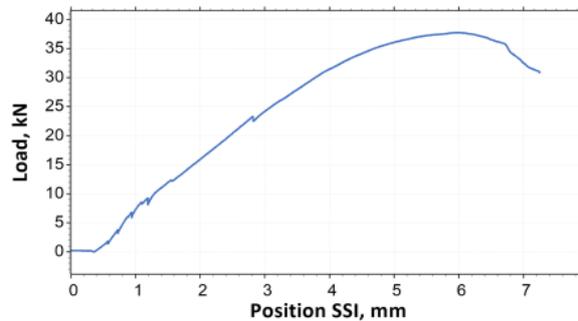
Test summary

Test date	25-Oct-2024	Operator	Shiva
Specimen ID	AI	Control rate, mm/min	1.000
Control mode	Stroke		

Specimen details

Specimen type	Flat	Thickness, mm	120.000
Width, mm	60.000	1000kN System	
Gauge length, mm	900.000		

Load vs Position SSI plot



Балка ЖБ1-1-2



BiSS Labs
49/E, 14th Cross, 4th Phase
Peenya, Bengaluru - 58

Flexural Test Report

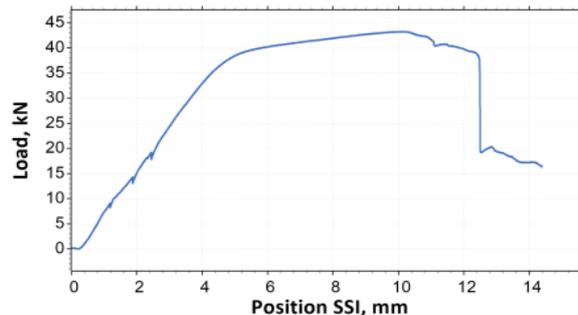
Test summary

Test date	25-Oct-2024	Operator	Shiva
Specimen ID	AI	Control rate, mm/min	1.000
Control mode	Stroke		

Specimen details

Specimen type	Flat	Thickness, mm	120.000
Width, mm	60.000	1000kN System	
Gauge length, mm	900.000		

Load vs Position SSI plot



Балка ЖБ1-2-1



BiSS Labs
49/E, 14th Cross, 4th Phase
Peenya, Bengaluru - 58

Flexural Test Report

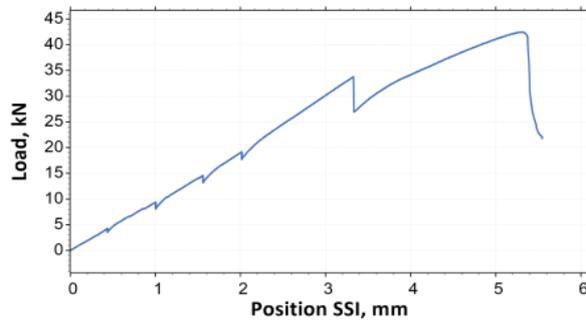
Test summary

Test date	25-Oct-2024	Operator	Shiva
Specimen ID	AI		
Control mode	Stroke	Control rate, mm/min	1.000

Specimen details

Specimen type	Flat		
Width, mm	60.000	Thickness, mm	120.000
Gauge length, mm	900.000	1000kN System	

Load vs Position SSI plot



Балка ЖБ1-2-2



BiSS Labs
49/E, 14th Cross, 4th Phase
Peenya, Bengaluru - 58

Flexural Test Report

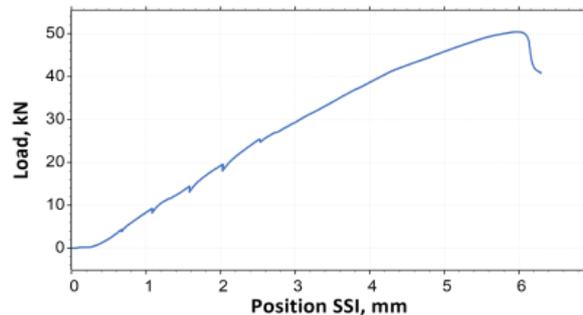
Test summary

Test date	25-Oct-2024	Operator	Shiva
Specimen ID	AI		
Control mode	Stroke	Control rate, mm/min	1.000

Specimen details

Specimen type	Flat		
Width, mm	60.000	Thickness, mm	120.000
Gauge length, mm	900.000	1000kN System	

Load vs Position SSI plot



Балка ЖБ1-3-1



BISS Labs
497E, 14th Cross, 4th Phase
Peenya, Bengaluru - 58

Flexural Test Report

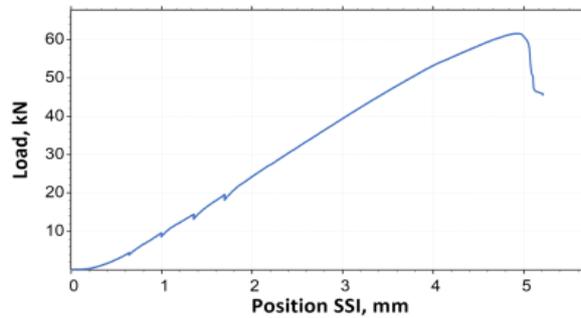
Test summary

Test date	25-Oct-2024	Operator	Shiva
Specimen ID	AI	Control rate, mm/min	1.000
Control mode	Stroke		

Specimen details

Specimen type	Flat	Thickness, mm	120.000
Width, mm	60.000	1000kN System	
Gauge length, mm	900.000		

Load vs Position SSI plot



Балка ЖБ1-3-2



BISS Labs
497E, 14th Cross, 4th Phase
Peenya, Bengaluru - 58

Flexural Test Report

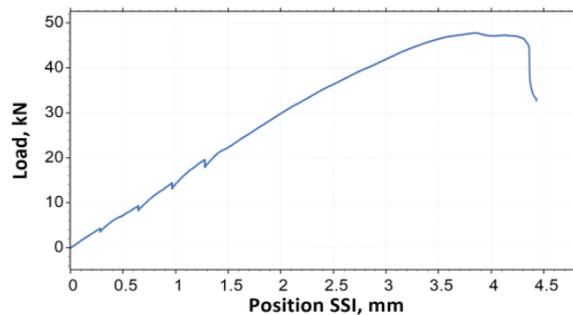
Test summary

Test date	25-Oct-2024	Operator	Shiva
Specimen ID	AI	Control rate, mm/min	1.000
Control mode	Stroke		

Specimen details

Specimen type	Flat	Thickness, mm	120.000
Width, mm	60.000	1000kN System	
Gauge length, mm	900.000		

Load vs Position SSI plot



Балка ЖБ2-1-1



BiSS Labs
497E, 14th Cross, 4th Phase
Peenya, Bengaluru - 58

Flexural Test Report

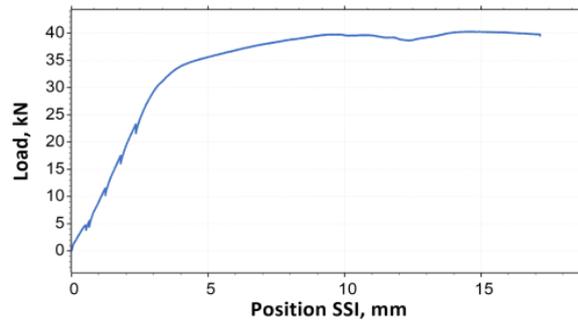
Test summary

Test date	29-Oct-2024	Operator	Shiva
Specimen ID	AI	Control rate, mm/min	1.000
Control mode	Stroke		

Specimen details

Specimen type	Flat	Thickness, mm	120.000
Width, mm	60.000	1000kN System	
Gauge length, mm	900.000		

Load vs Position SSI plot



Балка ЖБ2-1-2



BiSS Labs
497E, 14th Cross, 4th Phase
Peenya, Bengaluru - 58

Flexural Test Report

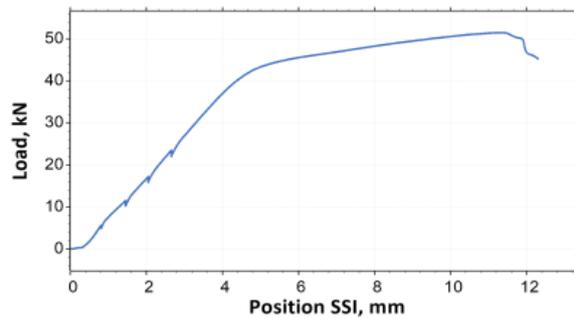
Test summary

Test date	29-Oct-2024	Operator	Shiva
Specimen ID	AI	Control rate, mm/min	1.000
Control mode	Stroke		

Specimen details

Specimen type	Flat	Thickness, mm	120.000
Width, mm	60.000	1000kN System	
Gauge length, mm	900.000		

Load vs Position SSI plot



Балка ЖБ2-2-1



BiSS Labs
497E, 14th Cross, 4th Phase
Peenya, Bengaluru - 58

Flexural Test Report

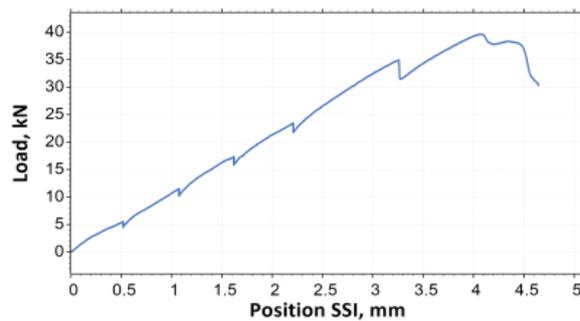
Test summary

Test date	29-Oct-2024	Operator	Shiva
Specimen ID	AI	Control rate, mm/min	1.000
Control mode	Stroke		

Specimen details

Specimen type	Flat	Thickness, mm	120.000
Width, mm	60.000	1000kN System	
Gauge length, mm	900.000		

Load vs Position SSI plot



Балка ЖБ2-2-2



BiSS Labs
497E, 14th Cross, 4th Phase
Peenya, Bengaluru - 58

Flexural Test Report

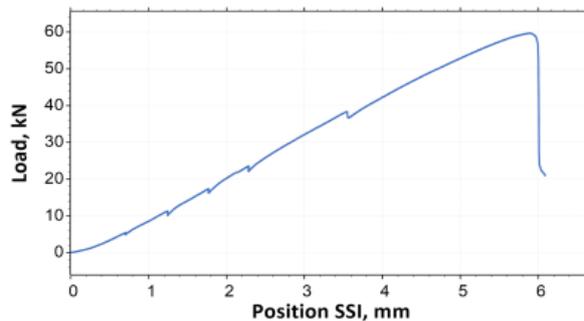
Test summary

Test date	29-Oct-2024	Operator	Shiva
Specimen ID	AI	Control rate, mm/min	1.000
Control mode	Stroke		

Specimen details

Specimen type	Flat	Thickness, mm	120.000
Width, mm	60.000	1000kN System	
Gauge length, mm	900.000		

Load vs Position SSI plot



Балка ЖБ2-3-1



BiSS Labs
49/E, 14th Cross, 4th Phase
Peenya, Bengaluru - 58

Flexural Test Report

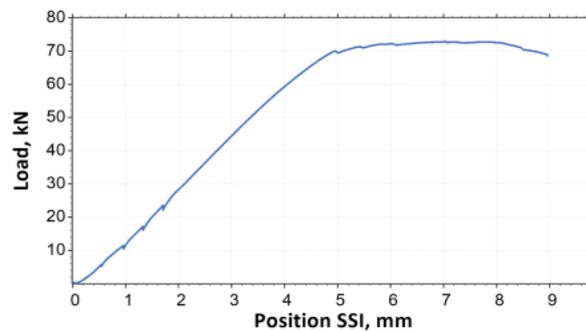
Test summary

Test date	29-Oct-2024	Operator	Shiva
Specimen ID	AI		
Control mode	Stroke	Control rate, mm/min	1.000

Specimen details

Specimen type	Flat		
Width, mm	60.000	Thickness, mm	120.000
Gauge length, mm	900.000	1000kN System	

Load vs Position SSI plot



Балка ЖБ2-3-2



BiSS Labs
49/E, 14th Cross, 4th Phase
Peenya, Bengaluru - 58

Flexural Test Report

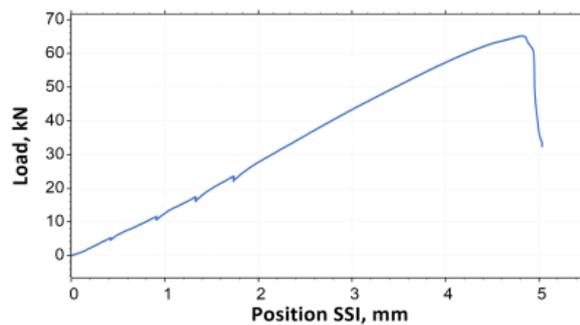
Test summary

Test date	29-Oct-2024	Operator	Shiva
Specimen ID	AI		
Control mode	Stroke	Control rate, mm/min	1.000

Specimen details

Specimen type	Flat		
Width, mm	60.000	Thickness, mm	120.000
Gauge length, mm	900.000	1000kN System	

Load vs Position SSI plot



Балка ЖБЗ-1-1



BiSS Labs
497/E, 14th Cross, 4th Phase
Peenya, Bengaluru - 58

ASTM C393 Отчет испытания на изгиб

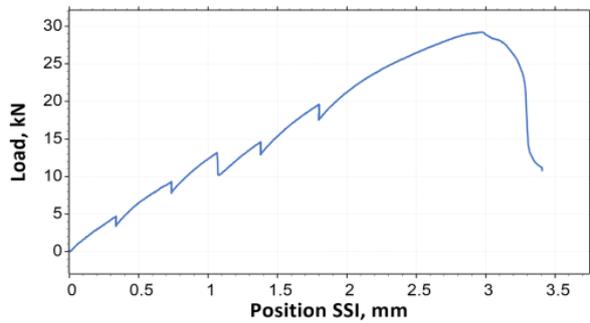
Test summary

Test date	02-Nov-2024	Operator	Shiva
Specimen ID	A1		
Control mode	????	Control rate, ??/???	1.000

Specimen details

Specimen type	????????		
???????, mm	60.000	???????, mm	120.000
???.?????, mm	900.000	1000kN System	

Load vs Position SSI plot



Балка ЖБЗ-1-2



BiSS Labs
497/E, 14th Cross, 4th Phase
Peenya, Bengaluru - 58

ASTM C393 Отчет испытания на изгиб

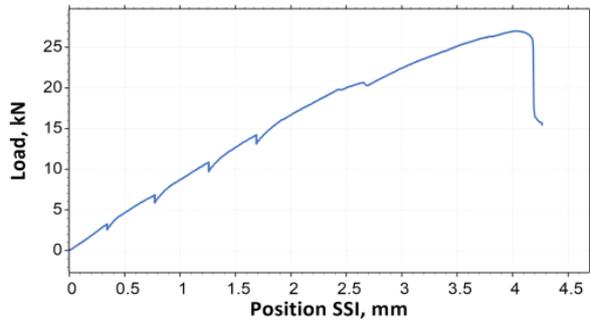
Test summary

Test date	02-Nov-2024	Operator	Shiva
Specimen ID	A1		
Control mode	????	Control rate, ??/???	1.000

Specimen details

Specimen type	????????		
???????, mm	60.000	???????, mm	120.000
???.?????, mm	900.000	1000kN System	

Load vs Position SSI plot



Балка ЖБЗ-1-3



BiSS Labs
497 E, 14th Cross, 4th Phase
Peenya, Bengaluru - 58

ASTM C393 Отчет испытания на изгиб

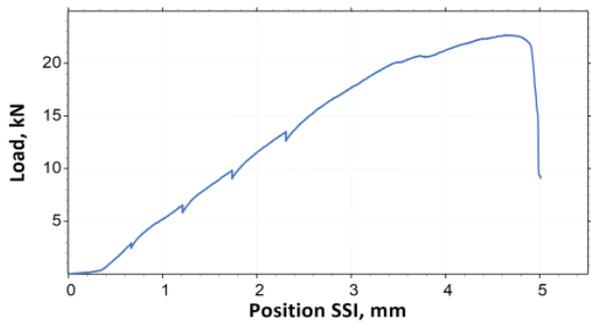
Test summary

Test date	02-Nov-2024	Operator	Shiva
Specimen ID	AI		
Control mode	????	Control rate, ??/???	1.000

Specimen details

Specimen type	???????		
???????, mm	60.000	???????, mm	120.000
???.?????, mm	900.000	1000kN System	

Load vs Position SSI plot



Балка ЖБЗ-2-1



BiSS Labs
497 E, 14th Cross, 4th Phase
Peenya, Bengaluru - 58

ASTM C393 Отчет испытания на изгиб

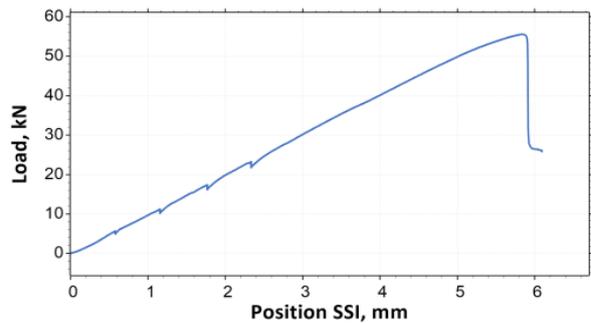
Test summary

Test date	02-Nov-2024	Operator	Shiva
Specimen ID	AI		
Control mode	????	Control rate, ??/???	1.000

Specimen details

Specimen type	???????		
???????, mm	60.000	???????, mm	120.000
???.?????, mm	900.000	1000kN System	

Load vs Position SSI plot



Балка ЖБЗ-2-2



BiSS Labs
49/E, 14th Cross, 4th Phase
Peenya, Bengaluru - 58

ASTM C393 Отчет испытания на изгиб

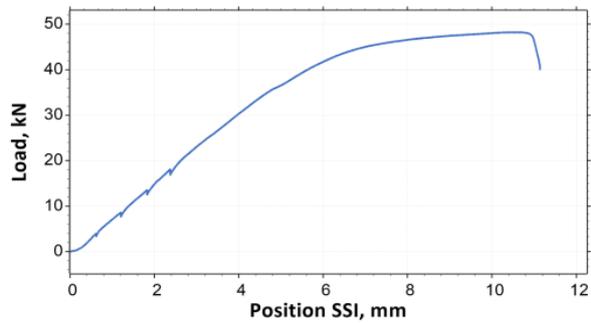
Test summary

Test date	02-Nov-2024	Operator	Shiva
Specimen ID	AI		
Control mode	????	Control rate, ??/???	1.000

Specimen details

Specimen type	????????		
???????, mm	60.000	???????, mm	120.000
???.?????, mm	900.000	1000kN System	

Load vs Position SSI plot



Балка ЖБЗ-2-3



BiSS Labs
49/E, 14th Cross, 4th Phase
Peenya, Bengaluru - 58

ASTM C393 Отчет испытания на изгиб

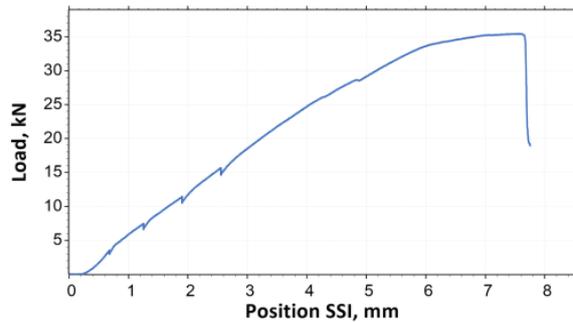
Test summary

Test date	02-Nov-2024	Operator	Shiva
Specimen ID	AI		
Control mode	????	Control rate, ??/???	1.000

Specimen details

Specimen type	????????		
???????, mm	60.000	???????, mm	120.000
???.?????, mm	900.000	1000kN System	

Load vs Position SSI plot



ПРИЛОЖЕНИЕ 3

1. Параметры бетона в модели CDP

Серия 1

Material's parameter		Plasticity parameters	
Серия 1		Dilation angle	30
E (MPa)	29212	Eccentricity	0,1
ν	0,2	f_{b0}/f_{c0}	1,16
Denisty (T/mm ³)	2,399E-09	K	0,67
		Viscosity parameter	0
Concrete compressive behavior		Concrete compression damage	
Yield stress (MPa)	Inelastic strain	Damage parameter C	Inelastic strain
9,828	0	0	0
12,263	0,000071	0	0,000071
15,092	0,000129	0	0,000129
17,490	0,000202	0	0,000202
19,490	0,000288	0	0,000288
21,121	0,000387	0	0,000387
22,408	0,000498	0	0,000498
23,376	0,000619	0	0,000619
24,046	0,000751	0	0,000751
24,570	0,001047	0	0,001047
24,441	0,001213	0,005245	0,001213
24,066	0,001387	0,020530	0,001387
23,459	0,001569	0,045220	0,001569
22,636	0,001758	0,078733	0,001758
21,609	0,001955	0,120534	0,001955
20,390	0,002157	0,170132	0,002157
18,991	0,002366	0,227071	0,002366
17,422	0,002581	0,290932	0,002581
15,692	0,002802	0,361327	0,002802
13,811	0,003027	0,437897	0,003027
Concrete tensile behavior		Concrete tension damage	
Yield stress (MPa)	Displacement (mm)	Damage parameter T	Displacement (mm)
2,195	0	0	0
1,610	0,020	0,267	0,020
1,024	0,039	0,533	0,039
0,439	0,059	0,800	0,059
0,413	0,073	0,812	0,073
0,387	0,087	0,824	0,087
0,362	0,101	0,835	0,101
0,336	0,115	0,847	0,115
0,310	0,129	0,859	0,129

Concrete tensile behavior		Concrete tension damage	
Yield stress (MPa)	Displacement (mm)	Damage parameter T	Displacement (mm)
0,284	0,143	0,871	0,143
0,258	0,157	0,882	0,157
0,232	0,171	0,894	0,171
0,207	0,184	0,906	0,184
0,181	0,198	0,918	0,198
0,155	0,212	0,929	0,212
0,129	0,226	0,941	0,226
0,103	0,240	0,953	0,240
0,077	0,254	0,965	0,254
0,052	0,268	0,976	0,268
0,026	0,282	0,988	0,282

Серия 2

Material's parameter		Plasticity parameters	
Серия 2		Dilation angle	30
E (MPa)	29271	Eccentricity	0,1
ν	0,2	f_{b0}/f_{c0}	1,16
Denisty (T/mm ³)	2,3424E-09	K	0,67
		Viscosity parameter	0
Concrete compressive behavior		Concrete compression damage	
Yield stress (MPa)	Inelastic strain	Damage parameter C	Inelastic strain
9,873	0	0	0
12,326	0,000071	0	0,000071
15,166	0,000129	0	0,000129
17,574	0,000202	0	0,000202
19,582	0,000288	0	0,000288
21,219	0,000387	0	0,000387
22,512	0,000498	0	0,000498
23,484	0,000619	0	0,000619
24,157	0,000751	0	0,000751
24,684	0,001048	0	0,001048
24,555	0,001213	0,005213	0,001213
24,180	0,001387	0,020406	0,001387
23,574	0,001568	0,044948	0,001568
22,752	0,001757	0,078265	0,001757
21,726	0,001953	0,119825	0,001953
20,509	0,002156	0,169140	0,002156
19,111	0,002364	0,225760	0,002364
17,543	0,002579	0,289267	0,002579
15,815	0,002799	0,359277	0,002799
13,936	0,003024	0,435433	0,003024
Concrete tensile behavior		Concrete tension damage	
Yield stress (MPa)	Displacement (mm)	Damage parameter T	Displacement (mm)
2,202	0	0	0
1,615	0,020	0,267	0,020
1,028	0,039	0,533	0,039
0,440	0,059	0,800	0,059
0,414	0,073	0,812	0,073
0,389	0,087	0,824	0,087
0,363	0,101	0,835	0,101
0,337	0,115	0,847	0,115
0,311	0,129	0,859	0,129
0,285	0,142	0,871	0,142
0,259	0,156	0,882	0,156
0,233	0,170	0,894	0,170
0,207	0,184	0,906	0,184

Concrete tensile behavior		Concrete tension damage	
Yield stress (MPa)	Displacement (mm)	Damage parameter T	Displacement (mm)
0,181	0,198	0,918	0,198
0,155	0,212	0,929	0,212
0,130	0,226	0,941	0,226
0,104	0,240	0,953	0,240
0,078	0,254	0,965	0,254
0,052	0,267	0,976	0,267
0,026	0,281	0,988	0,281

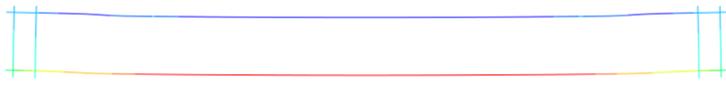
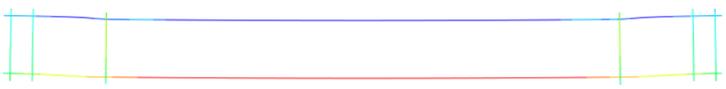
Серия 3

Material's parameter		Plasticity parameters	
Серия 3		Dilation angle	30; 50
E (MPa)	29794	Eccentricity	0,1
ν	0,2	f_{b0}/f_{c0}	1,16
Denisty (T/mm ³)	2,358E-09	K	0,67
		Viscosity parameter	0
Concrete compressive behavior		Concrete compression damage	
Yield stress (MPa)	Inelastic strain	Damage parameter C	Inelastic strain
10,286	0	0	0
12,904	0,000068	0	0,000068
15,844	0,000126	0	0,000126
18,337	0,000199	0	0,000199
20,417	0,000285	0	0,000285
22,114	0,000385	0	0,000385
23,455	0,000496	0	0,000496
24,464	0,000618	0	0,000618
25,164	0,000751	0	0,000751
25,715	0,001052	0	0,001052
25,588	0,001215	0,004934	0,001215
25,218	0,001386	0,019324	0,001386
24,620	0,001564	0,042589	0,001564
23,807	0,001750	0,074197	0,001750
22,792	0,001943	0,113654	0,001943
21,588	0,002142	0,160508	0,002142
20,203	0,002347	0,214339	0,002347
18,650	0,002557	0,274757	0,002557
16,936	0,002773	0,341405	0,002773
15,070	0,002994	0,413946	0,002994
Concrete tensile behavior		Concrete tension damage	
Yield stress (MPa)	Displacement (mm)	Damage parameter T	Displacement (mm)
2,263	0	0	0
1,659	0,019	0,267	0,019
1,056	0,039	0,533	0,039
0,453	0,058	0,800	0,058
0,426	0,071	0,812	0,071
0,399	0,085	0,824	0,085
0,373	0,099	0,835	0,099
0,346	0,112	0,847	0,112
0,319	0,126	0,859	0,126
0,293	0,140	0,871	0,140
0,266	0,153	0,882	0,153
0,240	0,167	0,894	0,167
0,213	0,180	0,906	0,180

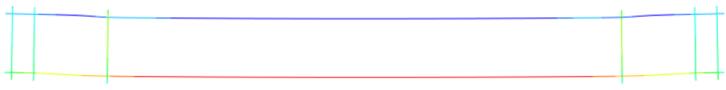
Concrete tensile behavior		Concrete tension damage	
Yield stress (MPa)	Displacement (mm)	Damage parameter T	Displacement (mm)
0,186	0,194	0,918	0,194
0,160	0,208	0,929	0,208
0,133	0,221	0,941	0,221
0,106	0,235	0,953	0,235
0,080	0,249	0,965	0,249
0,053	0,262	0,976	0,262
0,027	0,276	0,988	0,276

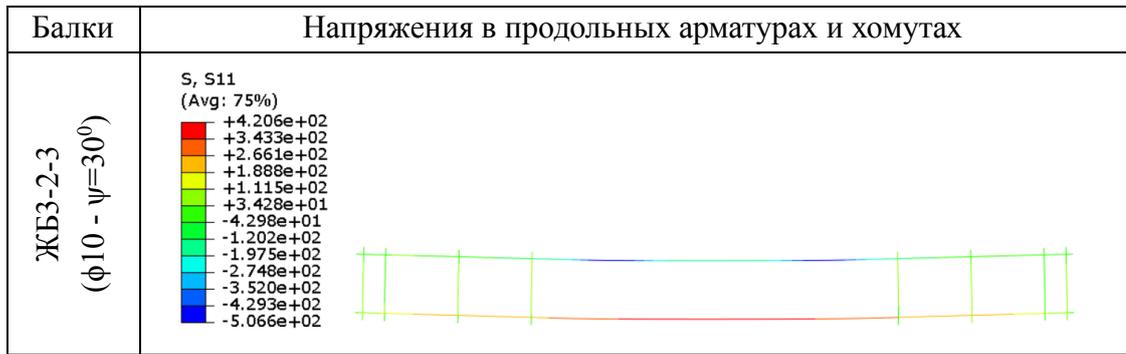
2. Результаты моделирования с использованием ABAQUS

2.1. Напряжения в продольных арматурах и хомутах (МПа)

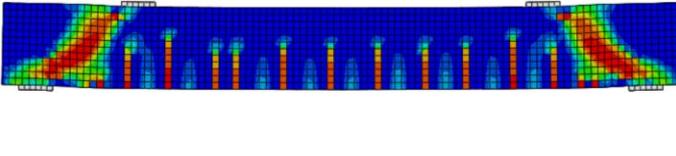
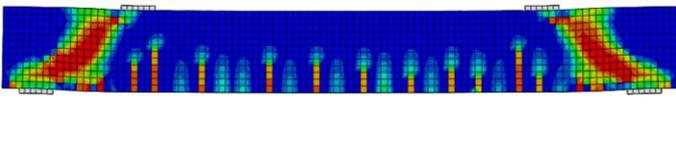
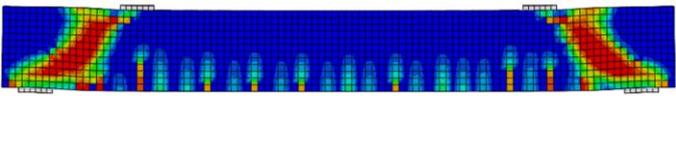
Балки	Напряжения в продольных арматурах и хомутах
ЖБ1-1 ($\phi 8$)	<p>S, S11 (Avg: 75%)</p> <ul style="list-style-type: none"> +4.598e+02 +4.119e+02 +3.639e+02 +3.160e+02 +2.680e+02 +2.201e+02 +1.721e+02 +1.242e+02 +7.623e+01 +2.828e+01 -1.966e+01 -6.761e+01 -1.156e+02 
ЖБ1-2 ($\phi 10$)	<p>S, S11 (Avg: 75%)</p> <ul style="list-style-type: none"> +2.916e+02 +2.588e+02 +2.260e+02 +1.932e+02 +1.604e+02 +1.277e+02 +9.486e+01 +6.207e+01 +2.927e+01 -3.519e+00 -3.631e+01 -6.911e+01 -1.019e+02 
ЖБ1-3 ($\phi 12$)	<p>S, S11 (Avg: 75%)</p> <ul style="list-style-type: none"> +1.963e+02 +1.719e+02 +1.474e+02 +1.230e+02 +9.855e+01 +7.412e+01 +4.969e+01 +2.525e+01 +8.205e-01 -2.361e+01 -4.805e+01 -7.248e+01 -9.691e+01 
ЖБ2-1 ($\phi 8$)	<p>S, S11 (Avg: 75%)</p> <ul style="list-style-type: none"> +4.970e+02 +4.463e+02 +3.957e+02 +3.450e+02 +2.943e+02 +2.436e+02 +1.929e+02 +1.422e+02 +9.154e+01 +4.085e+01 -9.837e+00 -6.052e+01 -1.112e+02 
ЖБ2-2 ($\phi 10$)	<p>S, S11 (Avg: 75%)</p> <ul style="list-style-type: none"> +3.177e+02 +2.832e+02 +2.486e+02 +2.141e+02 +1.796e+02 +1.450e+02 +1.105e+02 +7.598e+01 +4.144e+01 +6.909e+00 -2.763e+01 -6.216e+01 -9.669e+01 

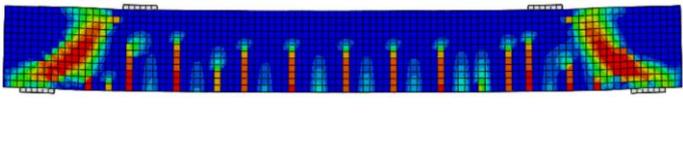
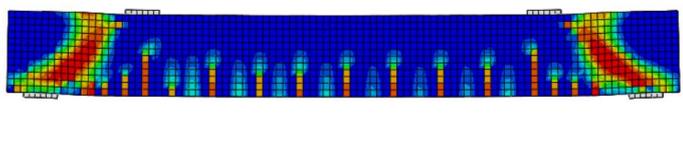
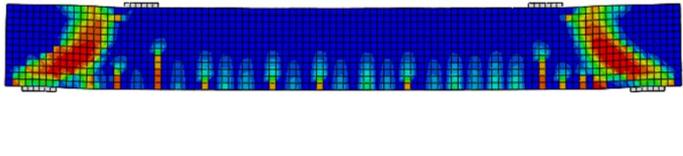
Балки	Напряжения в продольных арматурах и хомутах
ЖБ2-3 ($\phi 12$)	<p>S, S11 (Avg: 75%)</p>
ЖБ3-1-1 ($\phi 10$ - $\psi=50^\circ$)	<p>S, S11 (Avg: 75%)</p>
ЖБ3-1-1 ($\phi 10$ - $\psi=30^\circ$)	<p>S, S11 (Avg: 75%)</p>
ЖБ3-1-2 ($\phi 10$ - $\psi=50^\circ$)	<p>S, S11 (Avg: 75%)</p>
ЖБ3-1-2 ($\phi 10$ - $\psi=30^\circ$)	<p>S, S11 (Avg: 75%)</p>
ЖБ3-1-3 ($\phi 10$ - $\psi=50^\circ$)	<p>S, S11 (Avg: 75%)</p>

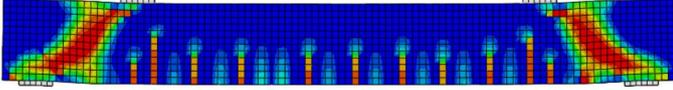
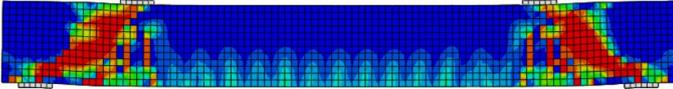
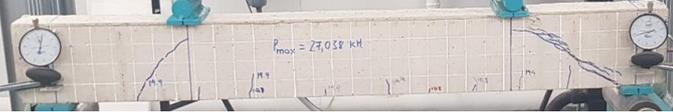
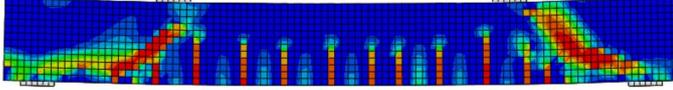
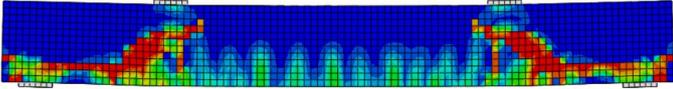
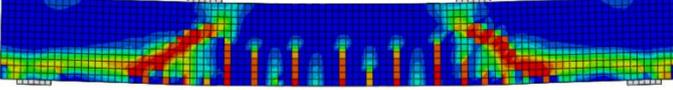
Балки	Напряжения в продольных арматурах и хомутах
ЖБ3-1-3 ($\phi 10$ - $\psi=30^\circ$)	<p>S, S11 (Avg: 75%)</p> <ul style="list-style-type: none"> +3.591e+02 +3.108e+02 +2.626e+02 +2.143e+02 +1.660e+02 +1.178e+02 +6.952e+01 +2.125e+01 -2.701e+01 -7.528e+01 -1.235e+02 -1.718e+02 -2.201e+02 
ЖБ3-2-1 ($\phi 10$ - $\psi=50^\circ$)	<p>S, S11 (Avg: 75%)</p> <ul style="list-style-type: none"> +3.236e+02 +2.884e+02 +2.532e+02 +2.180e+02 +1.828e+02 +1.476e+02 +1.124e+02 +7.725e+01 +4.205e+01 +6.856e+00 -2.834e+01 -6.354e+01 -9.874e+01 
ЖБ3-2-1 ($\phi 10$ - $\psi=30^\circ$)	<p>S, S11 (Avg: 75%)</p> <ul style="list-style-type: none"> +2.613e+02 +2.226e+02 +1.839e+02 +1.453e+02 +1.066e+02 +6.795e+01 +2.929e+01 -9.371e+00 -4.803e+01 -8.669e+01 -1.254e+02 -1.640e+02 -2.027e+02 
ЖБ3-2-2 ($\phi 10$ - $\psi=50^\circ$)	<p>S, S11 (Avg: 75%)</p> <ul style="list-style-type: none"> +5.083e+02 +4.234e+02 +3.386e+02 +2.538e+02 +1.690e+02 +8.415e+01 -6.683e-01 -8.549e+01 -1.703e+02 -2.551e+02 -3.399e+02 -4.248e+02 -5.096e+02 
ЖБ3-2-2 ($\phi 10$ - $\psi=30^\circ$)	<p>S, S11 (Avg: 75%)</p> <ul style="list-style-type: none"> +3.456e+02 +2.935e+02 +2.414e+02 +1.894e+02 +1.373e+02 +8.526e+01 +3.321e+01 -1.885e+01 -7.091e+01 -1.230e+02 -1.750e+02 -2.271e+02 -2.791e+02 
ЖБ3-2-3 ($\phi 10$ - $\psi=50^\circ$)	<p>S, S11 (Avg: 75%)</p> <ul style="list-style-type: none"> +5.574e+02 +4.696e+02 +3.817e+02 +2.939e+02 +2.061e+02 +1.182e+02 +3.040e+01 -5.743e+01 -1.453e+02 -2.331e+02 -3.209e+02 -4.088e+02 -4.966e+02 

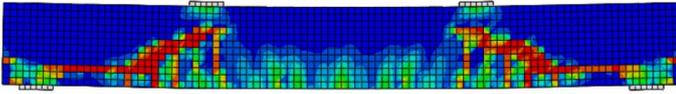
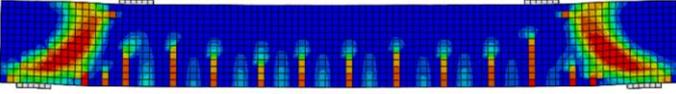
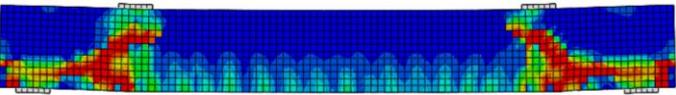
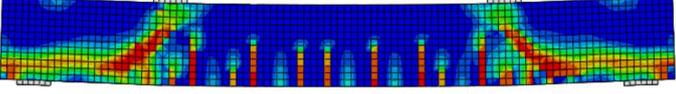
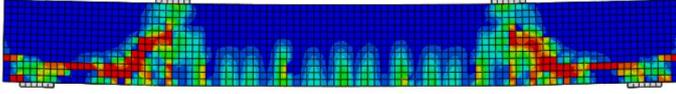


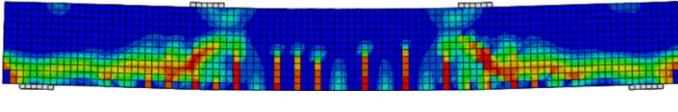
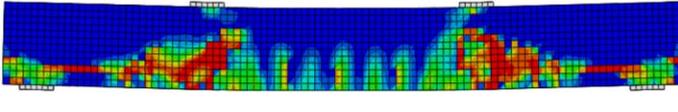
2.2. Форма трещин в балках

Балки	Метод	Разрушение железобетонных балок	Параметр разрушения при растяжении	Q (кН)
ЖБ1-1	Эксперимент			20,27
	ABAQUS			15,75
ЖБ1-2	Эксперимент			23,23
	ABAQUS			16,42
ЖБ1-3	Эксперимент			27,34
	ABAQUS			16,92

Балки	Метод	Разрушение железобетонных балок	Параметр разрушения при растяжении	Q (кН)
ЖБ2-1	Эксперимент			22,96
	ABAQUS		DAMAGET (Avg: 75%) +9.880e-01 +9.057e-01 +8.233e-01 +7.410e-01 +6.587e-01 +5.763e-01 +4.940e-01 +4.117e-01 +3.293e-01 +2.470e-01 +1.647e-01 +8.233e-02 +0.000e+00	16,72
ЖБ2-2	Эксперимент			24,84
	ABAQUS		DAMAGET (Avg: 75%) +9.880e-01 +9.057e-01 +8.233e-01 +7.410e-01 +6.587e-01 +5.763e-01 +4.940e-01 +4.117e-01 +3.293e-01 +2.470e-01 +1.647e-01 +8.233e-02 +0.000e+00	17,12
ЖБ2-3	Эксперимент			34,50
	ABAQUS		DAMAGET (Avg: 75%) +9.880e-01 +9.057e-01 +8.233e-01 +7.410e-01 +6.587e-01 +5.763e-01 +4.940e-01 +4.117e-01 +3.293e-01 +2.470e-01 +1.647e-01 +8.233e-02 +0.000e+00	17,25
ЖБ3-1-1	Эксперимент			14,603

Балки	Метод	Разрушение железобетонных балок	Параметр разрушения при растяжении	Q (кН)
	ABAQUS ($\psi=50^\circ$)		DAMAGE (Avg: 75%) +9.880e-01 +9.057e-01 +8.233e-01 +7.410e-01 +6.587e-01 +5.763e-01 +4.940e-01 +4.117e-01 +3.293e-01 +2.470e-01 +1.647e-01 +8.233e-02 +0.000e+00	16,85
	ABAQUS ($\psi=30^\circ$)		DAMAGE (Avg: 75%) +9.880e-01 +9.057e-01 +8.233e-01 +7.410e-01 +6.587e-01 +5.763e-01 +4.940e-01 +4.117e-01 +3.293e-01 +2.470e-01 +1.647e-01 +8.233e-02 +0.000e+00	16,19
ЖБ3-1-2	Эксперимент			13,519
	ABAQUS ($\psi=50^\circ$)		DAMAGE (Avg: 75%) +9.880e-01 +9.057e-01 +8.233e-01 +7.410e-01 +6.587e-01 +5.763e-01 +4.940e-01 +4.117e-01 +3.293e-01 +2.470e-01 +1.647e-01 +8.233e-02 +0.000e+00	16,72
	ABAQUS ($\psi=30^\circ$)		DAMAGE (Avg: 75%) +9.880e-01 +9.057e-01 +8.233e-01 +7.410e-01 +6.587e-01 +5.763e-01 +4.940e-01 +4.117e-01 +3.293e-01 +2.470e-01 +1.647e-01 +8.233e-02 +0.000e+00	14,28
	Эксперимент			11,352
ЖБ3-1-3	ABAQUS ($\psi=50^\circ$)		DAMAGE (Avg: 75%) +9.880e-01 +9.057e-01 +8.233e-01 +7.410e-01 +6.587e-01 +5.763e-01 +4.940e-01 +4.117e-01 +3.293e-01 +2.470e-01 +1.647e-01 +8.233e-02 +0.000e+00	14,20

Балки	Метод	Разрушение железобетонных балок	Параметр разрушения при растяжении	Q (кН)
ЖБ3-2-1	АВАQUS ($\psi=30^\circ$)		DAMAGET (Avg: 75%) +9.880e-01 +9.057e-01 +8.233e-01 +7.410e-01 +6.587e-01 +5.763e-01 +4.940e-01 +4.117e-01 +3.293e-01 +2.470e-01 +1.647e-01 +8.233e-02 +0.000e+00	12,23
	Эксперимент			27,782
	АВАQUS ($\psi=50^\circ$)		DAMAGET (Avg: 75%) +9.880e-01 +9.057e-01 +8.233e-01 +7.410e-01 +6.587e-01 +5.763e-01 +4.940e-01 +4.117e-01 +3.293e-01 +2.470e-01 +1.647e-01 +8.233e-02 +0.000e+00	17,47
	АВАQUS ($\psi=30^\circ$)		DAMAGET (Avg: 75%) +9.880e-01 +9.057e-01 +8.233e-01 +7.410e-01 +6.587e-01 +5.763e-01 +4.940e-01 +4.117e-01 +3.293e-01 +2.470e-01 +1.647e-01 +8.233e-02 +0.000e+00	16,46
ЖБ3-2-2	Эксперимент			24,113
	АВАQUS ($\psi=50^\circ$)		DAMAGET (Avg: 75%) +9.880e-01 +9.057e-01 +8.233e-01 +7.410e-01 +6.587e-01 +5.763e-01 +4.940e-01 +4.117e-01 +3.293e-01 +2.470e-01 +1.647e-01 +8.233e-02 +0.000e+00	17,62
	АВАQUS ($\psi=30^\circ$)		DAMAGET (Avg: 75%) +9.880e-01 +9.057e-01 +8.233e-01 +7.410e-01 +6.587e-01 +5.763e-01 +4.940e-01 +4.117e-01 +3.293e-01 +2.470e-01 +1.647e-01 +8.233e-02 +0.000e+00	14,50

Балки	Метод	Разрушение железобетонных балок	Параметр разрушения при растяжении	Q (кН)
ЖБ3-2-3	Эксперимент			17,728
	ABAQUS ($\psi=50^\circ$)		DAMAGET (Avg: 75%) +9.880e-01 +9.057e-01 +8.233e-01 +7.410e-01 +6.587e-01 +5.763e-01 +4.940e-01 +4.117e-01 +3.293e-01 +2.470e-01 +1.647e-01 +8.233e-02 +0.000e+00	14,92
	ABAQUS ($\psi=30^\circ$)		DAMAGET (Avg: 75%) +9.880e-01 +9.057e-01 +8.233e-01 +7.410e-01 +6.587e-01 +5.763e-01 +4.940e-01 +4.117e-01 +3.293e-01 +2.470e-01 +1.647e-01 +8.233e-02 +0.000e+00	13,55

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

1. Синтез экспериментальной базы данных железобетонных балок без хомутов

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	$Q_{СП2}$ (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{СП2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$
1	Laupa & Seiss (1953)	S2	152	305	269	4,82	26,9	2,08	42,5	41,88	2,17	29604	44,38	54,31	54,31	0,96	0,78	0,78
2		S3	152	305	265	4,89	32,3	2,52	53,1	48,36	2,39	31274	48,12	61,93	61,93	1,10	0,86	0,86
3		S4	152	305	263	4,92	30,8	3,21	55,6	46,56	2,33	30831	46,56	65,64	65,64	1,19	0,85	0,85
4		S5	152	305	262	4,95	29,9	4,11	49,8	45,48	2,29	30558	45,67	70,18	70,18	1,09	0,71	0,71
5		S11	152	305	267	4,85	14,8	1,90	33,8	26,16	1,59	24746	32,19	40,70	40,70	1,05	0,83	0,83
6		S13	152	305	262	4,95	26,2	4,11	49,8	41,04	2,14	29371	42,64	66,39	66,39	1,17	0,75	0,75
7		T-3average	102	203	178	4,30	23,9	3,16	19,6	38,28	2,04	28572	18,56	26,71	26,71	1,06	0,73	0,73
8		T-5a	102	203	178	4,30	23,9	2,19	22,2	38,28	2,04	28572	18,56	23,45	23,45	1,20	0,95	0,95
9		T-5b	102	203	178	4,30	23,9	2,19	22,7	38,28	2,04	28572	18,56	23,45	23,45	1,22	0,97	0,97
10		T-5c	102	203	178	4,30	23,9	2,19	23,1	38,28	2,04	28572	18,56	23,45	23,45	1,24	0,98	0,98
11		T-6b	102	203	178	4,30	21,6	1,40	17,3	35,52	1,95	27718	17,66	19,05	19,05	0,98	0,91	0,91
12		T-12a	147	203	178	4,30	33,7	2,20	35,6	50,04	2,44	31675	31,98	38,97	38,97	1,11	0,91	0,91
13		T-12b	147	203	178	4,30	33,7	2,20	33,8	50,04	2,44	31675	31,98	38,97	38,97	1,06	0,87	0,87
14		T-12c	147	203	178	4,30	33,7	2,20	32,0	50,04	2,44	31675	31,98	38,97	38,97	1,00	0,82	0,82
15		T2-Ma	152	305	269	3,40	29,8	1,39	42,3	45,36	2,29	30527	46,80	48,49	48,49	0,90	0,87	0,87
16		T2-Mb	152	305	269	3,50	27,7	1,39	44,5	42,84	2,20	29865	45,05	47,08	47,08	0,99	0,95	0,95
17	Ferguson & Thompson (1953)	A1	432	241	210	3,39	29,7	4,76	29,1	45,24	2,29	30496	24,48	39,46	39,46	1,19	0,74	0,74
18		A2	432	241	210	3,39	27,3	4,76	27,0	42,36	2,19	29735	23,43	38,07	38,07	1,15	0,71	0,71
19		A3	432	241	210	3,39	35,1	4,76	33,6	52,33	2,52	32064	26,97	42,80	42,80	1,25	0,79	0,79
20		A4	432	241	210	3,39	35,0	4,76	31,6	51,60	2,49	32036	26,72	42,41	42,41	1,18	0,75	0,75
21		A5	432	241	210	3,39	45,4	4,76	33,9	65,93	2,94	34637	31,46	48,69	48,69	1,08	0,70	0,70
22		A6	432	241	210	3,39	38,7	4,76	35,6	57,08	2,67	33017	28,58	44,92	44,92	1,25	0,79	0,79
23		D1	432	241	210	3,39	31,3	2,72	48,7	47,16	2,35	30980	43,91	58,29	58,29	1,11	0,84	0,84
24		D2	432	241	210	3,39	29,6	2,72	52,1	45,12	2,28	30466	42,64	56,94	56,94	1,22	0,92	0,92
25		N1	432	191	178	4,00	20,7	2,97	23,8	33,24	1,86	27366	17,89	25,58	25,58	1,33	0,93	0,93
26		N2	432	191	178	4,00	20,6	2,97	23,9	33,12	1,86	27326	17,84	25,53	25,53	1,34	0,94	0,94
27		N3	432	191	178	4,00	17,5	2,97	21,5	29,40	1,71	26022	16,48	23,98	23,98	1,30	0,90	0,90
28		G5	432	140	114	6,22	21,7	4,62	15,8	35,64	1,95	27756	12,00	19,74	19,74	1,32	0,80	0,80
29		G6	432	140	114	6,22	27,2	4,62	17,6	42,24	2,18	29703	13,44	21,64	21,64	1,31	0,81	0,81
30		B1	432	241	210	3,39	35,7	4,76	35,5	53,12	2,54	32227	27,24	43,16	43,16	1,30	0,82	0,82
31		B2	432	241	210	3,39	33,5	4,76	31,6	49,80	2,44	31618	26,09	41,59	41,59	1,21	0,76	0,76

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CH2} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CH2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$
32		B3	432	241	210	3,39	40,0	4,76	39,4	58,80	2,72	33346	29,15	45,67	45,67	1,35	0,86	0,86
33		B4	432	241	210	3,39	43,4	4,76	43,9	63,29	2,86	34172	30,62	47,59	47,59	1,43	0,92	0,92
34		B5	432	241	210	3,39	41,0	4,76	38,3	60,12	2,76	33594	29,59	46,24	46,24	1,29	0,83	0,83
35		C1	432	241	210	3,39	33,5	4,76	50,1	49,80	2,44	31618	26,09	41,59	41,59	1,92	1,20	1,20
36		C2	432	241	210	3,39	33,5	4,76	38,8	49,80	2,44	31618	26,09	41,59	41,59	1,49	0,93	0,93
37		L1	432	191	159	4,48	21,7	3,33	27,4	35,64	1,95	27756	16,74	24,76	24,76	1,64	1,11	1,11
38		L2	432	191	159	4,48	22,6	3,33	29,8	36,72	1,99	28097	17,07	25,16	25,16	1,75	1,18	1,18
39		L3	432	191	159	4,48	22,2	3,33	27,4	36,24	1,97	27947	16,92	24,98	24,98	1,62	1,10	1,10
40		Moody, Viest, Elstner and Hognestad ("Part I" paper) (1954)	III-24a	178	610	533	1,52	17,8	2,72	296,5	29,76	1,73	26155	134,87	190,04	190,04	2,20	1,56
41	III-24b		178	610	533	1,52	20,6	2,72	303,2	33,12	1,86	27326	144,84	200,99	200,99	2,09	1,51	1,51
42	III-25a		178	610	533	1,52	24,3	3,46	267,6	38,76	2,06	28715	160,85	238,32	238,32	1,66	1,12	1,12
43	III-25b		178	610	533	1,52	17,2	3,46	289,8	29,04	1,70	25887	132,68	203,48	203,48	2,18	1,42	1,42
44	III-26a		178	610	533	1,52	21,7	4,25	421,1	35,64	1,95	27756	152,09	243,72	243,72	2,77	1,73	1,73
45	III-26b		178	610	533	1,52	20,6	4,25	396,6	33,12	1,86	27326	144,84	233,25	233,25	2,74	1,70	1,70
46	III-27a		178	610	533	1,52	21,4	2,72	347,7	35,28	1,94	27641	151,07	208,80	208,80	2,30	1,67	1,67
47	III-27b		178	610	533	1,52	22,9	2,72	356,6	37,08	2,00	28208	156,16	214,31	214,31	2,28	1,66	1,66
48	III-28a		178	610	533	1,52	23,3	3,46	303,2	37,56	2,02	28355	157,51	234,37	234,37	1,92	1,29	1,29
49	III-28b		178	610	533	1,52	22,4	3,46	341,0	36,48	1,98	28022	154,47	230,76	230,76	2,21	1,48	1,48
50	III-29a		178	610	533	1,52	21,7	4,25	389,9	35,64	1,95	27756	152,09	243,72	243,72	2,56	1,60	1,60
51	III-29b		178	610	533	1,52	25,0	4,25	436,6	39,60	2,09	28960	163,16	257,94	257,94	2,68	1,69	1,69
52	A-A1		178	305	262	3,06	30,3	2,17	60,7	45,96	2,31	30680	53,85	66,07	66,07	1,13	0,92	0,92
53	A-A2		178	305	267	3,00	31,0	2,15	67,4	46,80	2,34	30891	55,55	67,74	67,74	1,21	0,99	0,99
54	A-A3		178	305	268	2,99	31,0	2,22	76,3	46,80	2,34	30891	55,76	68,81	68,81	1,37	1,11	1,11
55	A-A4		178	305	270	2,96	31,5	2,37	71,8	47,40	2,36	31040	56,65	71,49	71,49	1,27	1,00	1,00
56	A-B1		178	305	267	3,00	21,2	1,62	56,9	35,04	1,93	27563	45,80	52,40	52,40	1,24	1,09	1,09
57	A-B2		178	305	268	2,99	21,6	1,63	60,7	35,52	1,95	27718	46,39	53,09	53,09	1,31	1,14	1,14
58	A-B3		178	305	270	2,96	19,2	1,60	56,3	31,44	1,79	26755	43,09	49,62	49,62	1,31	1,13	1,13
59	A-B4		178	305	272	2,95	16,8	1,66	56,3	28,56	1,68	25705	40,71	48,28	48,28	1,38	1,17	1,17
60	A-C1		178	305	268	2,99	6,3	0,81	20,7	15,96	1,14	19152	27,22	27,38	27,38	0,76	0,76	0,76
61	A-C2		178	305	272	2,94	6,1	0,83	25,1	15,72	1,13	18968	27,34	27,88	27,88	0,92	0,90	0,90
62	A-C3		178	305	273	2,93	6,9	0,80	26,0	16,68	1,18	19682	28,55	28,27	28,55	0,91	0,92	0,91
63	A-C4		178	305	274	2,92	6,8	0,82	25,8	16,56	1,17	19596	28,52	28,57	28,57	0,90	0,90	0,90
64	B-B1		152	305	268	3,41	36,7	1,89	58,5	54,44	2,59	32495	52,66	60,01	60,01	1,11	0,97	0,97
65	B-B2		152	305	268	3,41	16,7	1,89	36,3	28,44	1,68	25659	34,16	42,54	42,54	1,06	0,85	0,85
66	B-B3		152	305	268	3,41	25,8	1,89	53,0	40,56	2,12	29235	43,28	51,34	51,34	1,22	1,03	1,03
67	B-B4		152	305	268	3,41	15,4	1,89	41,2	26,88	1,62	25043	32,90	41,34	41,34	1,25	1,00	1,00

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CH2} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CH2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$	
68		B-B5	152	305	268	3,41	30,7	1,89	52,7	46,44	2,33	30801	47,37	55,09	55,09	1,11	0,96	0,96	
69		B-B6	152	305	268	3,41	15,8	1,89	35,2	27,36	1,63	25236	33,29	41,71	41,71	1,06	0,84	0,84	
70		B-B7	152	305	268	3,41	30,9	1,89	51,9	46,68	2,33	30861	47,53	55,24	55,24	1,09	0,94	0,94	
71		B-B8	152	305	268	3,41	12,2	1,89	31,8	23,04	1,46	23352	29,69	38,27	38,27	1,07	0,83	0,83	
72		B-B9	152	305	268	3,41	41,2	1,89	54,1	60,38	2,77	33643	56,43	63,45	63,45	0,96	0,85	0,85	
73		B-B10	152	305	268	3,41	24,0	1,89	49,6	38,40	2,05	28608	41,73	49,91	49,91	1,19	0,99	0,99	
74		B-B11	152	305	268	3,41	38,1	1,89	60,8	56,29	2,64	32862	53,85	61,10	61,10	1,13	1,00	1,00	
75		B-B12	152	305	268	3,41	20,2	1,89	47,9	32,64	1,84	27166	37,44	45,66	45,66	1,28	1,05	1,05	
76		B-B13	152	305	268	3,41	37,8	1,89	56,3	55,90	2,63	32785	53,60	60,87	60,87	1,05	0,92	0,92	
77		B-B14	152	305	268	3,41	22,6	1,89	43,9	36,72	1,99	28097	40,50	48,77	48,77	1,08	0,90	0,90	
78		B-B15	152	305	268	3,41	37,4	1,89	51,9	55,37	2,61	32680	53,26	60,56	60,56	0,97	0,86	0,86	
79		B-B16	152	305	268	3,41	16,3	1,89	38,5	27,96	1,66	25473	33,77	42,17	42,17	1,14	0,91	0,91	
80		Ferguson (1956)	F2	101	210	189	3,23	29,3	2,10	22,2	44,76	2,27	30373	21,66	26,35	26,35	1,03	0,84	0,84
81			F3	103	210	183	1,45	24,0	2,12	36,9	38,40	2,05	28608	33,29	41,55	41,55	1,11	0,89	0,89
82			F5	95	210	181	1,97	25,9	2,33	34,2	40,68	2,13	29269	23,23	29,76	29,76	1,47	1,15	1,15
83			F7	102	210	184	1,93	27,2	2,14	33,9	42,24	2,18	29703	26,54	32,78	32,78	1,28	1,03	1,03
84	Moody, Viest, Elstner and Hognestad ("Part II" paper) (1955)	I-g	178	381	298	1,36	30,6	0,95	133,4	46,32	2,32	30771	113,19	100,19	113,19	1,18	1,33	1,18	
85		I-h	178	381	298	1,36	24,4	1,47	132,0	38,88	2,07	28750	100,72	109,20	109,20	1,31	1,21	1,21	
86		I-i	178	381	305	1,33	22,9	2,10	146,8	37,08	2,00	28208	102,13	127,69	127,69	1,44	1,15	1,15	
87		I-1a	178	381	305	1,33	17,3	2,86	114,2	29,16	1,71	25932	87,01	125,11	125,11	1,31	0,91	0,91	
88		I-1b	178	381	305	1,33	19,3	2,86	129,0	31,56	1,80	26797	91,72	130,40	130,40	1,41	0,99	0,99	
89		I-2a	178	381	305	1,33	16,3	3,76	111,2	27,96	1,66	25473	84,61	134,00	134,00	1,31	0,83	0,83	
90		I-2b	178	381	305	1,33	18,8	3,76	140,9	30,96	1,77	26587	90,56	141,46	141,46	1,56	1,00	1,00	
91		I-2c	178	381	305	1,33	26,1	3,76	139,4	40,92	2,14	29337	109,06	164,96	164,96	1,28	0,85	0,85	
92		I-3a	178	381	305	1,33	15,8	4,76	132,0	27,36	1,63	25236	83,39	142,54	142,54	1,58	0,93	0,93	
93		I-3b	178	381	305	1,33	20,5	4,76	149,7	33,00	1,85	27287	94,49	157,72	157,72	1,58	0,95	0,95	
94		I-j	178	381	305	1,33	33,4	1,47	155,7	49,68	2,43	31590	124,12	129,69	129,69	1,25	1,20	1,20	
95		I-k	178	381	305	1,33	26,6	2,10	161,6	41,52	2,16	29504	110,13	135,42	135,42	1,47	1,19	1,19	
96		I-4a	178	381	305	1,33	29,8	2,86	148,3	45,36	2,29	30527	116,82	158,69	158,69	1,27	0,93	0,93	
97		I-4b	178	381	305	1,33	27,9	2,86	132,0	43,08	2,21	29930	112,87	154,40	154,40	1,17	0,85	0,85	
98		I-5a	178	381	305	1,33	28,0	3,76	177,9	43,20	2,22	29962	113,08	169,84	169,84	1,57	1,05	1,05	
99		I-5b	178	381	305	1,33	27,9	3,76	163,1	43,08	2,21	29930	112,87	169,58	169,58	1,45	0,96	0,96	
100		I-6a	178	381	305	1,33	31,4	4,76	170,5	47,28	2,35	31010	120,09	192,59	192,59	1,42	0,89	0,89	
101		I-6b	178	381	305	1,33	24,6	4,76	177,9	39,12	2,07	28821	105,84	173,69	173,69	1,68	1,02	1,02	
102		I-l	178	381	305	1,33	35,2	1,47	158,6	52,46	2,52	32091	128,71	133,66	133,66	1,23	1,19	1,19	
103		I-m	178	381	305	1,33	30,3	2,10	155,7	45,96	2,31	30680	117,84	142,81	142,81	1,32	1,09	1,09	

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CH2} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CH2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$
104		I-7a	178	381	305	1,33	33,0	2,86	170,5	49,20	2,42	31476	123,32	165,72	165,72	1,38	1,03	1,03
105		I-7b	178	381	305	1,33	34,5	2,86	148,3	51,00	2,48	31898	126,31	168,93	168,93	1,17	0,88	0,88
106		I-8a	178	381	305	1,33	33,0	3,76	215,0	49,20	2,42	31476	123,32	182,19	182,19	1,74	1,18	1,18
107		I-8b	178	381	305	1,33	32,3	3,76	163,1	48,36	2,39	31274	121,91	180,50	180,50	1,34	0,90	0,90
108		I-9a	178	381	305	1,33	36,3	4,76	192,7	53,92	2,57	32389	131,08	207,31	207,31	1,47	0,93	0,93
109		I-9b	178	381	305	1,33	32,1	4,76	192,7	48,12	2,38	31216	121,51	194,45	194,45	1,59	0,99	0,99
110		I-n	178	381	305	1,33	36,1	1,47	175,0	53,65	2,56	32335	130,65	135,26	135,26	1,34	1,29	1,29
111		I-o	178	381	305	1,33	34,8	2,10	189,8	51,36	2,49	31981	126,90	151,42	151,42	1,50	1,25	1,25
112		I-p	178	381	305	1,33	41,2	2,86	197,2	60,38	2,77	33643	141,36	185,49	185,49	1,40	1,06	1,06
113		I-q	178	381	305	1,33	33,7	3,76	192,7	50,04	2,44	31675	124,72	183,87	183,87	1,55	1,05	1,05
114		I-r	178	381	305	1,33	40,9	4,76	207,6	59,99	2,76	33569	140,74	220,04	220,04	1,48	0,94	0,94
115		II-a	178	610	533	0,76	26,3	0,54	192,7	41,16	2,15	29404	334,84	237,85	334,84	0,58	0,81	0,58
116		II-b	178	610	533	0,76	25,7	0,84	215,0	40,44	2,12	29201	330,92	284,45	330,92	0,65	0,76	0,65
117		II-c	178	610	533	0,76	27,9	1,20	249,1	43,08	2,21	29930	345,17	339,89	345,17	0,72	0,73	0,72
118		II-d	178	610	533	0,76	23,7	1,63	311,4	38,04	2,04	28500	317,69	359,70	359,70	0,98	0,87	0,87
119		II-17a	178	610	533	0,76	18,3	2,15	278,7	30,36	1,75	26373	273,35	353,29	353,29	1,02	0,79	0,79
120		II-17b	178	610	533	0,76	20,7	2,15	252,1	33,24	1,86	27366	290,37	370,28	370,28	0,87	0,68	0,68
121		II-18a	178	610	533	0,76	15,0	2,82	326,2	26,40	1,60	24846	249,03	361,60	361,60	1,31	0,90	0,90
122		II-18b	178	610	533	0,76	18,6	2,82	266,9	30,72	1,77	26502	275,51	391,29	391,29	0,97	0,68	0,68
123		II-19a	178	610	533	0,76	20,9	3,46	357,3	33,48	1,87	27445	291,77	438,90	438,90	1,22	0,81	0,81
124		II-19b	178	610	533	0,76	22,3	3,46	324,7	36,36	1,98	27984	308,27	460,72	460,72	1,05	0,70	0,70
125		II-20a	178	610	533	0,76	19,9	4,25	348,4	32,28	1,82	27044	284,76	460,08	460,08	1,22	0,76	0,76
126		II-20b	178	610	533	0,76	20,4	4,25	369,2	32,88	1,85	27247	288,27	464,67	464,67	1,28	0,79	0,79
127		IV-g	178	381	305	2,00	23,4	0,95	80,1	37,68	2,02	28391	68,65	62,81	68,65	1,17	1,28	1,17
128		IV-h	178	381	305	2,00	25,9	1,47	89,0	40,68	2,13	29269	72,24	77,78	77,78	1,23	1,14	1,14
129		IV-i	178	381	305	2,00	24,1	2,10	86,4	38,52	2,05	28644	69,66	86,60	86,60	1,24	1,00	1,00
130		IV-j	178	381	305	2,00	24,8	2,86	105,5	39,36	2,08	28891	70,67	97,88	97,88	1,49	1,08	1,08
131		IV-k	178	381	305	2,00	25,0	3,76	111,8	39,60	2,09	28960	70,96	107,79	107,79	1,58	1,04	1,04
132		IV-l	178	381	305	2,00	27,0	4,76	102,9	42,00	2,17	29637	73,80	120,05	120,05	1,39	0,86	0,86
133		V-b	178	381	305	1,33	26,0	1,47	94,9	40,80	2,13	29303	108,85	117,14	117,14	0,87	0,81	0,81
134		V-d	178	381	305	1,33	24,8	2,86	113,4	39,36	2,08	28891	106,27	147,19	147,19	1,07	0,77	0,77
135		V-f	178	381	305	1,33	23,3	4,76	110,5	37,56	2,02	28355	103,01	169,90	169,90	1,07	0,65	0,65
136		VI-a	178	381	305	1,78	28,2	0,95	102,7	43,44	2,22	30026	84,80	75,83	84,80	1,21	1,35	1,21
137		VI-b	178	381	305	1,78	28,7	1,47	172,1	44,04	2,24	30185	85,58	91,04	91,04	2,01	1,89	1,89
138		VI-c	178	381	305	1,78	24,7	2,10	146,8	39,24	2,08	28856	79,24	98,25	98,25	1,85	1,49	1,49
139		VI-d	178	381	305	1,78	26,9	2,86	157,5	41,88	2,17	29604	82,76	113,65	113,65	1,90	1,39	1,39

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CH2} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CH2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$
140		VI-e	178	381	305	1,78	28,4	3,76	170,8	43,68	2,23	30090	85,11	127,66	127,66	2,01	1,34	1,34
141		VI-f	178	381	305	1,78	38,4	2,10	186,8	56,69	2,66	32940	101,27	119,50	119,50	1,84	1,56	1,56
142		VI-g	178	381	305	1,78	38,1	2,86	173,5	56,29	2,64	32862	100,80	133,38	133,38	1,72	1,30	1,30
143		VI-h	178	381	305	1,78	36,6	3,76	206,8	54,31	2,58	32469	98,42	143,88	143,88	2,10	1,44	1,44
144		VI-i	178	381	305	1,78	41,5	4,76	194,8	60,78	2,78	33716	106,09	165,62	165,62	1,84	1,18	1,18
145	Morrow and Viest (1957)	B14-B2	305	406	368	0,97	14,6	1,85	367,0	25,92	1,58	24645	228,02	285,96	285,96	1,61	1,28	1,28
146		B14-E2	305	410	375	0,95	12,7	0,57	278,0	23,64	1,48	23635	223,13	178,11	223,13	1,25	1,56	1,25
147		B14-A4	305	406	362	0,98	22,6	2,50	511,5	36,72	1,99	28097	280,05	373,53	373,53	1,83	1,37	1,37
148		B14-B4	305	406	368	0,97	26,3	1,85	500,4	41,16	2,15	29404	310,37	364,41	364,41	1,61	1,37	1,37
149		B14-E4	305	406	368	0,97	28,9	1,24	511,5	44,28	2,25	30248	325,86	323,75	325,86	1,57	1,58	1,57
150		B14-A6	305	406	356	1,00	45,4	3,83	900,7	65,93	2,94	34637	398,70	573,78	573,78	2,26	1,57	1,57
151		B14-B6	305	406	368	0,97	46,8	1,85	778,4	67,78	2,99	34954	432,79	475,57	475,57	1,80	1,64	1,64
152		B21-B2	305	406	367	1,45	13,9	1,86	238,5	25,08	1,54	24284	148,82	188,02	188,02	1,60	1,27	1,27
153		B21-E2	305	406	375	1,42	11,3	0,57	211,7	21,96	1,41	22822	142,12	115,14	142,12	1,49	1,84	1,49
154		B21-A4	305	406	368	1,45	29,8	2,46	523,1	45,36	2,29	30527	221,52	285,10	285,10	2,36	1,83	1,83
155		B21-B4	305	406	368	1,45	27,1	1,85	396,4	42,12	2,18	29670	210,84	246,71	246,71	1,88	1,61	1,61
156		B21-E4	305	406	365	1,46	24,2	1,24	423,0	38,64	2,06	28679	196,09	199,00	199,00	2,16	2,13	2,13
157		B21-E4R	305	406	368	1,45	31,9	1,24	434,2	47,88	2,37	31157	229,65	225,46	229,65	1,89	1,93	1,89
158		B21-F4	305	406	370	1,44	31,4	1,17	467,6	47,28	2,35	31010	230,55	221,53	230,55	2,03	2,11	2,03
159		B21-A6	305	406	356	1,50	45,3	3,83	578,8	65,80	2,93	34614	265,44	382,10	382,10	2,18	1,51	1,51
160		B21-B6	305	406	375	1,42	45,5	1,82	578,7	66,06	2,94	34660	296,15	324,43	324,43	1,95	1,78	1,78
161		B28-B2	305	406	362	1,96	14,7	1,88	201,2	26,04	1,58	24696	111,35	140,37	140,37	1,81	1,43	1,43
162		B28-E2	308	406	372	1,91	13,7	0,57	130,0	24,84	1,53	24179	114,91	90,84	114,91	1,13	1,43	1,13
163		B28-A4	305	406	368	1,93	27,5	2,46	323,5	42,60	2,20	29800	159,60	207,22	207,22	2,03	1,56	1,56
164		B28-B4	305	406	368	1,93	32,3	1,85	256,8	48,36	2,39	31274	173,69	199,20	199,20	1,48	1,29	1,29
165		B28-E4	305	406	368	1,93	33,1	1,24	267,9	49,32	2,42	31504	175,98	172,00	175,98	1,52	1,56	1,52
166		B28-A6	308	406	353	2,02	47,2	3,83	334,7	68,30	3,01	35043	202,36	290,06	290,06	1,65	1,15	1,15
167		B28-B6	305	406	368	1,93	43,9	1,85	323,5	63,95	2,88	34290	209,25	231,65	231,65	1,55	1,40	1,40
168		B40-B4	305	406	368	2,76	34,8	1,85	157,6	51,36	2,49	31981	139,57	158,72	158,72	1,13	0,99	0,99
169		B56-B2	305	406	368	3,86	14,7	1,85	103,2	26,04	1,58	24696	88,75	111,21	111,21	1,16	0,93	0,93
170		B56-E2	305	406	368	3,86	14,7	0,58	82,7	26,04	1,58	24696	88,75	70,05	88,75	0,93	1,18	0,93
171		B56-A4	305	406	375	3,80	25,0	2,41	140,9	39,60	2,09	28960	119,59	155,72	155,72	1,18	0,90	0,90
172		B56-B4	305	406	368	3,86	27,2	1,85	125,4	42,24	2,18	29703	122,52	143,30	143,30	1,02	0,88	0,88
173		B56-E4	305	406	368	3,86	28,4	1,24	112,1	43,68	2,23	30090	125,29	124,74	125,29	0,89	0,90	0,89
174		B56-A6	308	406	356	4,00	39,9	3,79	181,1	58,67	2,72	33321	149,00	216,50	216,50	1,22	0,84	0,84
175		B56-B6	305	406	372	3,83	45,7	1,83	139,8	66,32	2,95	34705	167,31	183,59	183,59	0,84	0,76	0,76

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CH2} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CH2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$
176		B70-B2	305	406	365	4,87	16,3	1,86	93,1	27,96	1,66	25473	92,30	114,57	114,57	1,01	0,81	0,81
177		B70-A4	305	406	368	4,83	27,2	2,46	136,4	42,24	2,18	29703	122,52	159,26	159,26	1,11	0,86	0,86
178		B70-A6	305	406	356	5,00	45,0	3,83	182,1	65,40	2,92	34545	158,63	228,49	228,49	1,15	0,80	0,80
179		B84-B4	305	406	363	5,87	27,2	1,88	116,4	42,24	2,18	29703	120,86	142,22	142,22	0,96	0,82	0,82
180		B113-B4	305	406	365	7,86	32,6	1,86	111,6	48,72	2,40	31361	133,65	153,44	153,44	0,84	0,73	0,73
181	Chang & Kesler (1958)	1A1	102	152	137	3,90	27,6	2,89	19,9	42,72	2,20	29833	15,37	21,13	21,13	1,29	0,94	0,94
182		1B1	102	152	137	2,42	27,6	1,86	19,6	42,72	2,20	29833	15,88	18,58	18,58	1,23	1,06	1,06
183		1C1	102	152	137	3,16	27,6	2,37	19,6	42,72	2,20	29833	15,37	19,68	19,68	1,28	1,00	1,00
184		1C2	102	152	137	3,16	27,6	2,37	17,8	42,72	2,20	29833	15,37	19,68	19,68	1,16	0,90	0,90
185		IIA1	102	152	137	3,16	17,7	1,86	17,0	29,64	1,72	26110	12,05	14,82	14,82	1,41	1,15	1,15
186		IIA2	102	152	137	3,16	17,7	1,86	17,3	29,64	1,72	26110	12,05	14,82	14,82	1,44	1,17	1,17
187		IIB1	102	152	137	3,90	17,7	2,37	16,6	29,64	1,72	26110	12,05	16,18	16,18	1,38	1,03	1,03
188		IIC1	102	152	137	2,42	17,7	2,89	17,8	29,64	1,72	26110	12,44	17,91	17,91	1,43	0,99	0,99
189		IIIA1	102	152	137	3,90	14,9	2,37	17,0	26,28	1,59	24796	11,12	15,21	15,21	1,53	1,12	1,12
190		IIIA2	102	152	137	1,86	14,9	2,37	20,7	26,28	1,59	24796	14,94	20,44	20,44	1,39	1,01	1,01
191		IIIB1	102	152	137	3,16	14,9	1,86	15,3	26,28	1,59	24796	11,12	13,94	13,94	1,38	1,10	1,10
192		IIIB2	102	152	137	3,16	14,9	1,86	15,5	26,28	1,59	24796	11,12	13,94	13,94	1,39	1,11	1,11
193		IIIC1	102	152	137	2,42	14,9	2,89	18,4	26,28	1,59	24796	11,48	16,83	16,83	1,60	1,09	1,09
194		4-21a	102	152	137	3,53	38,6	2,89	21,1	56,95	2,66	32991	18,62	24,69	24,69	1,13	0,85	0,85
195		4-21b	102	152	137	3,53	38,6	1,86	24,6	56,95	2,66	32991	18,62	20,96	20,96	1,32	1,17	1,17
196		4-22a	102	152	137	3,53	31,9	1,86	21,4	47,88	2,37	31157	16,58	19,09	19,09	1,29	1,12	1,12
197		4-22b	102	152	137	3,53	31,7	1,86	23,4	47,64	2,37	31099	16,53	19,04	19,04	1,42	1,23	1,23
198		4-23a	102	152	137	3,53	32,2	1,86	21,6	48,24	2,39	31245	16,67	19,16	19,16	1,30	1,13	1,13
199		4-23b	102	152	137	3,53	32,2	1,86	22,5	48,24	2,39	31245	16,67	19,16	19,16	1,35	1,17	1,17
200		5-21a	102	152	137	3,53	32,2	2,89	28,9	48,24	2,39	31245	16,67	22,54	22,54	1,73	1,28	1,28
201		5-21b	102	152	137	3,53	32,2	2,89	27,5	48,24	2,39	31245	16,67	22,54	22,54	1,65	1,22	1,22
202		5-22a	102	152	137	3,53	31,2	2,89	22,4	47,04	2,35	30951	16,39	22,24	22,24	1,37	1,01	1,01
203		5-22b	102	152	137	3,53	31,2	2,89	25,9	47,04	2,35	30951	16,39	22,24	22,24	1,58	1,16	1,16
204		5-23a	102	152	137	3,53	32,1	2,89	24,5	48,12	2,38	31216	16,64	22,51	22,51	1,47	1,09	1,09
205		5-23b	102	152	137	3,53	32,1	2,89	23,4	48,12	2,38	31216	16,64	22,51	22,51	1,41	1,04	1,04
206	Watstein and Mathey (1958)	B-18-1	203	457	404	1,51	25,4	3,05	311,4	40,08	2,11	29099	143,12	202,21	202,21	2,18	1,54	1,54
207		B-18-2	203	457	404	1,51	23,0	3,05	309,1	37,20	2,01	28245	136,18	194,39	194,39	2,27	1,59	1,59
208		C-18-1	203	457	404	1,51	25,6	1,85	289,1	40,32	2,12	29167	143,69	169,23	169,23	2,01	1,71	1,71
209		C-18-2	203	457	404	1,51	26,4	1,88	311,4	41,28	2,15	29438	145,96	172,35	172,35	2,13	1,81	1,81
210		D-18-1	203	457	404	1,51	25,7	1,17	266,9	40,44	2,12	29201	143,98	141,73	143,98	1,85	1,88	1,85
211		D-18-2	203	457	404	1,51	27,0	1,16	266,9	42,00	2,17	29637	147,66	143,99	147,66	1,81	1,85	1,81

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CH2} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CH2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$
212	Rodriquez, Bianchini, Viest, Kesler (1959)	E-18-1	203	457	404	1,51	22,4	0,75	220,8	36,48	1,98	28022	134,42	112,11	134,42	1,64	1,97	1,64
213		E-18-2	203	457	404	1,51	26,7	0,75	222,4	41,64	2,16	29538	146,81	119,77	146,81	1,51	1,86	1,51
214		E6N1	152	368	318	0,91	22,1	1,59	211,1	36,12	1,97	27909	130,59	147,64	147,64	1,62	1,43	1,43
215		E6N2	154	368	318	0,91	17,9	1,59	162,5	29,88	1,73	26199	116,59	135,04	135,04	1,39	1,20	1,20
216		E6N3	154	368	318	0,91	22,7	1,59	184,6	36,84	1,99	28134	134,06	151,09	151,09	1,38	1,22	1,22
217		C6N1	156	368	321	0,90	26,1	1,59	210,4	40,92	2,14	29337	148,66	164,86	164,86	1,42	1,28	1,28
218		C6N2	152	368	318	0,91	22,1	1,59	151,8	36,12	1,97	27909	130,59	147,64	147,64	1,16	1,03	1,03
219		C6N3	154	368	314	0,92	21,7	1,59	184,8	35,64	1,95	27756	128,08	145,10	145,10	1,44	1,27	1,27
220		E3N1	152	368	318	1,65	25,2	1,59	109,5	39,84	2,10	29030	76,89	85,61	85,61	1,42	1,28	1,28
221		E3N2	152	368	318	1,63	23,3	1,59	102,3	37,56	2,02	28355	74,83	84,08	84,08	1,37	1,22	1,22
222		C3N1	152	368	318	1,62	23,1	1,59	65,9	37,32	2,01	28282	74,97	84,33	84,33	0,88	0,78	0,78
223		C3N2	154	368	318	1,64	22,7	1,59	104,8	36,84	1,99	28134	74,39	83,84	83,84	1,41	1,25	1,25
224		E2N1	157	368	318	1,78	29,0	1,59	55,3	44,40	2,26	30279	79,13	86,69	86,69	0,70	0,64	0,64
225		E2N2	152	368	318	1,72	20,8	1,59	57,2	33,36	1,87	27406	65,53	74,60	74,60	0,87	0,77	0,77
226		E2N3	156	368	321	1,72	23,0	1,59	47,5	37,20	2,01	28245	73,00	82,15	82,15	0,65	0,58	0,58
227		C2N1	156	368	318	1,73	26,1	1,59	54,6	40,92	2,14	29337	76,61	84,97	84,97	0,71	0,64	0,64
228		C2N2	152	368	318	1,77	18,6	1,59	53,5	30,72	1,77	26502	60,27	69,50	69,50	0,89	0,77	0,77
229		Baldwin & Viest (1959)	0B28	305	406	368	1,93	37,6	1,83	289,1	55,63	2,62	32732	190,69	214,02	214,02	1,52	1,35
230	0F28		305	406	368	1,93	33,3	1,83	135,7	49,56	2,43	31561	176,55	200,94	200,94	0,77	0,68	0,68
231	de Cossio & Seiss (skipped last UDL tests as results do not make sense. They also differ from the 326 report quoted values). (1960)	L-1	152	305	252	2,01	21,0	3,36	116,1	34,80	1,92	27485	45,70	68,05	68,05	2,54	1,71	1,71
232		L-2	152	305	252	3,02	21,5	3,36	75,6	35,40	1,94	27679	37,17	55,21	55,21	2,03	1,37	1,37
233		L-2A	152	305	252	3,02	36,7	3,36	80,1	54,44	2,59	32495	49,52	69,64	69,64	1,62	1,15	1,15
234		L-3	152	305	252	4,02	28,0	3,36	53,4	43,20	2,22	29962	42,44	61,38	61,38	1,26	0,87	0,87
235		L-4	152	305	252	5,03	25,8	3,36	51,2	40,56	2,12	29235	40,70	59,34	59,34	1,26	0,86	0,86
236		L-5	152	305	252	6,04	27,9	3,36	50,9	43,08	2,21	29930	42,36	61,28	61,28	1,20	0,83	0,83
237		L-1R	152	305	252	2,01	21,0	3,36	164,6	34,80	1,92	27485	45,70	68,05	68,05	3,60	2,42	2,42
238		L-2R	152	305	252	3,02	21,5	3,36	74,7	35,40	1,94	27679	37,17	55,21	55,21	2,01	1,35	1,35
239		L-2aR	152	305	252	3,02	36,7	3,36	92,5	54,44	2,59	32495	49,52	69,64	69,64	1,87	1,33	1,33
240		L-3R	152	305	252	4,02	28,0	3,36	62,0	43,20	2,22	29962	42,44	61,38	61,38	1,46	1,01	1,01
241		A-1	152	305	254	2,00	28,1	0,98	73,4	43,32	2,22	29994	53,57	48,54	53,57	1,37	1,51	1,37
242		A-2	152	305	254	3,00	31,5	0,98	41,8	47,40	2,36	31040	45,51	40,66	45,51	0,92	1,03	0,92
243		A-3	152	305	254	4,00	19,4	0,98	34,2	31,68	1,80	26839	34,79	32,99	34,79	0,98	1,04	0,98
244	A-4	152	305	254	5,00	26,8	0,98	35,1	41,76	2,17	29571	41,82	38,12	41,82	0,84	0,92	0,84	
245	A-11	152	305	254	2,00	28,3	3,33	103,4	43,56	2,23	30058	53,77	77,44	77,44	1,92	1,34	1,34	
246	A-12	152	305	254	3,00	26,1	3,33	58,9	40,92	2,14	29337	41,26	59,91	59,91	1,43	0,98	0,98	
247	A-13	152	305	254	4,00	22,1	3,33	46,9	36,12	1,97	27909	37,97	56,07	56,07	1,24	0,84	0,84	

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CH2} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CH2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$
248		A-14	152	305	254	5,00	27,5	3,33	54,7	42,60	2,20	29800	42,38	61,21	61,21	1,29	0,89	0,89
249		A-15	152	305	254	6,00	25,0	3,33	49,4	39,60	2,09	28960	40,37	58,88	58,88	1,22	0,84	0,84
250		D-15	152	305	252	2,21	26,6	1,01	73,5	41,52	2,16	29504	46,76	43,19	46,76	1,57	1,70	1,57
251		D-14	152	305	252	2,21	32,1	1,01	76,9	48,12	2,38	31216	51,59	46,56	51,59	1,49	1,65	1,49
252		D-16	152	305	252	2,21	39,7	1,01	90,5	58,40	2,71	33271	58,70	51,60	58,70	1,54	1,75	1,54
253		D-13	152	305	252	2,77	19,2	1,01	49,1	31,44	1,79	26755	34,34	33,00	34,34	1,43	1,49	1,43
254		D-17	152	305	252	2,77	41,2	1,01	59,7	60,38	2,77	33643	53,06	46,43	53,06	1,13	1,29	1,13
255		D-5	152	305	276	1,52	25,8	1,35	90,5	40,56	2,12	29235	73,31	76,37	76,37	1,23	1,19	1,19
256		Bower + Viest (1960)	IA-1a	152	356	306	2,49	22,8	1,59	59,2	36,96	2,00	28171	46,63	52,53	52,53	1,27	1,13
257	IA-1b		152	356	314	2,42	30,0	1,59	76,9	45,60	2,30	30589	56,64	61,80	61,80	1,36	1,24	1,24
258	IIB - 1		152	356	318	3,36	24,7	1,53	45,4	39,24	2,08	28856	50,23	55,24	55,24	0,90	0,82	0,82
259	IIB - 2		152	356	311	3,92	20,9	1,56	40,7	33,48	1,87	27445	44,19	49,92	49,92	0,92	0,82	0,82
260	IIB - 3		152	356	308	4,46	19,7	1,58	36,9	32,04	1,82	26963	42,50	48,57	48,57	0,87	0,76	0,76
261	IA - 2a		152	356	311	2,45	24,8	1,59	73,1	39,36	2,08	28891	50,23	56,04	56,04	1,46	1,30	1,30
262	IA - 2b		152	356	311	2,45	24,4	1,59	39,7	38,88	2,07	28750	49,82	55,69	55,69	0,80	0,71	0,71
263	IA - 3a		152	356	311	2,45	27,7	1,59	52,0	42,84	2,20	29865	53,15	58,54	58,54	0,98	0,89	0,89
264	IA - 3b		152	356	305	2,50	24,5	1,59	60,5	39,00	2,07	28785	47,98	53,61	53,61	1,26	1,13	1,13
265	IA - 4a		152	356	305	2,50	22,8	1,59	51,0	36,96	2,00	28171	46,30	52,15	52,15	1,10	0,98	0,98
266	IA - 4b		152	356	311	2,45	21,9	1,59	46,0	35,88	1,96	27833	47,23	53,45	53,45	0,97	0,86	0,86
267	IA - 5a		152	356	308	2,48	23,9	1,59	41,4	38,28	2,04	28572	48,24	54,05	54,05	0,86	0,77	0,77
268	IA - 5b		152	356	308	2,48	21,5	1,59	49,4	35,40	1,94	27679	45,79	51,93	51,93	1,08	0,95	0,95
269	IA - 6a		152	356	305	2,50	21,5	1,59	41,9	35,40	1,94	27679	44,98	51,02	51,02	0,93	0,82	0,82
270	IA - 6b		152	356	305	2,50	24,3	1,59	66,0	38,76	2,06	28715	47,79	53,44	53,44	1,38	1,24	1,24
271	IA - 7b		152	356	305	2,50	22,6	1,59	57,0	36,72	1,99	28097	46,10	51,98	51,98	1,24	1,10	1,10
272	IA - 8a		152	356	311	2,45	24,1	1,59	49,4	38,52	2,05	28644	49,52	55,42	55,42	1,00	0,89	0,89
273	IA - 8b		152	356	305	2,50	21,5	1,59	57,1	35,40	1,94	27679	44,98	51,02	51,02	1,27	1,12	1,12
274	IB-1		152	356	305	2,00	22,2	1,59	56,7	36,24	1,97	27947	57,12	64,54	64,54	0,99	0,88	0,88
275	IB-2		152	356	305	2,00	21,2	1,59	65,2	35,04	1,93	27563	55,85	63,44	63,44	1,17	1,03	1,03
276	IB-3		152	356	305	2,00	22,8	1,59	60,2	36,96	2,00	28171	57,87	65,19	65,19	1,04	0,92	0,92
277	Ila-1a		152	356	308	1,49	22,8	1,59	61,7	36,96	2,00	28171	78,44	88,36	88,36	0,79	0,70	0,70
278	Ila-1b		152	356	318	1,44	25,5	1,59	93,7	40,20	2,11	29133	88,63	98,55	98,55	1,06	0,95	0,95
279	Ila-2		152	356	312	1,95	21,6	1,59	67,3	35,52	1,95	27718	59,13	67,02	67,02	1,14	1,00	1,00
280	IIA - 3		152	356	312	2,44	21,7	1,59	51,5	35,64	1,95	27756	47,36	53,65	53,65	1,09	0,96	0,96
281	IIA - 4a		152	356	305	3,00	20,0	1,59	37,5	32,40	1,83	27085	42,40	48,49	48,49	0,88	0,77	0,77
282	IIA - 4b		152	356	292	3,13	22,9	1,59	42,5	37,08	2,00	28208	44,42	50,01	50,01	0,96	0,85	0,85
283	IIA - 5		152	356	292	4,70	23,6	1,59	40,8	37,92	2,03	28464	45,09	50,59	50,59	0,90	0,81	0,81

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CH2} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CH2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$
284	Hanson (1961)	IIA - 8	152	356	292	3,65	18,4	1,59	36,4	30,48	1,76	26416	38,98	45,00	45,00	0,93	0,81	0,81
285		IIA - 9	152	356	292	4,17	21,2	1,59	42,3	35,04	1,93	27563	42,77	48,59	48,59	0,99	0,87	0,87
286		8A4	152	305	267	4,95	20,9	1,25	33,8	33,48	1,87	27445	37,94	39,31	39,31	0,89	0,86	0,86
287		8B2	152	305	267	4,95	30,8	2,53	52,4	46,56	2,33	30831	47,27	61,24	61,24	1,11	0,86	0,86
288		8B3	152	305	267	2,48	30,1	1,25	46,0	45,72	2,30	30619	47,08	46,69	47,08	0,98	0,99	0,98
289	Leonhardt & Walther (1962)	P2	503	162	142	3,45	13,4	0,95	76,2	24,48	1,52	24019	54,20	53,08	54,20	1,41	1,44	1,41
290		P3	502	162	142	3,45	13,4	1,11	81,1	24,48	1,52	24019	54,09	56,36	56,36	1,50	1,44	1,44
291		P4	500	165	145	3,38	14,5	1,40	100,8	25,80	1,57	24594	56,97	64,39	64,39	1,77	1,57	1,57
292		P5	503	165	145	3,38	13,4	1,86	100,8	24,48	1,52	24019	55,34	70,20	70,20	1,82	1,44	1,44
293		P8	502	168	148	3,31	24,9	0,91	88,0	39,48	2,09	28926	77,53	69,16	77,53	1,14	1,27	1,14
294		P9	500	166	146	3,36	24,9	1,86	105,8	39,48	2,09	28926	76,18	90,18	90,18	1,39	1,17	1,17
295		P10	503	122	102	3,43	12,4	1,10	59,3	23,28	1,47	23467	37,65	39,45	39,45	1,58	1,50	1,50
296		P11	498	203	183	3,44	13,7	1,11	101,2	24,84	1,53	24179	69,83	72,57	72,57	1,45	1,39	1,39
297		P12	501	162	142	2,46	12,6	0,95	100,5	23,52	1,48	23579	53,42	52,70	53,42	1,88	1,91	1,88
298		1	190	320	270	1,00	32,4	2,07	388,5	48,48	2,39	31303	153,46	183,60	183,60	2,53	2,12	2,12
299		2	190	320	270	1,48	32,4	2,07	260,0	48,48	2,39	31303	103,69	124,05	124,05	2,51	2,10	2,10
300		3	190	320	270	2,00	32,4	2,07	147,2	48,48	2,39	31303	76,73	91,80	91,80	1,92	1,60	1,60
301		4L	190	320	270	2,48	32,4	2,07	81,6	48,48	2,39	31303	61,88	74,03	74,03	1,32	1,10	1,10
302		4R	190	320	270	2,48	32,4	2,07	87,0	48,48	2,39	31303	61,88	74,03	74,03	1,41	1,18	1,18
303		5l	190	320	270	3,00	32,4	2,07	60,3	48,48	2,39	31303	61,39	73,44	73,44	0,98	0,82	0,82
304		5r	190	320	270	3,00	32,4	2,07	76,5	48,48	2,39	31303	61,39	73,44	73,44	1,25	1,04	1,04
305		6l	190	320	270	4,07	32,4	2,07	60,8	48,48	2,39	31303	61,39	73,44	73,44	0,99	0,83	0,83
306		6r	190	320	270	4,07	32,4	2,07	68,2	48,48	2,39	31303	61,39	73,44	73,44	1,11	0,93	0,93
307		1-Jul	190	320	278	5,00	33,9	2,01	62,3	50,28	2,45	31731	64,76	76,23	76,23	0,96	0,82	0,82
308		2-Jul	190	320	278	5,00	33,9	2,01	68,2	50,28	2,45	31731	64,76	76,23	76,23	1,05	0,89	0,89
309		1-Aug	190	320	278	6,00	34,0	2,01	65,7	50,40	2,46	31759	64,86	76,33	76,33	1,01	0,86	0,86
310		2-Aug	190	320	274	6,00	34,0	2,04	65,7	50,40	2,46	31759	63,93	75,65	75,65	1,03	0,87	0,87
311		1-Sep	190	323	273	6,92	34,9	2,05	58,9	51,48	2,49	32009	64,60	76,36	76,36	0,91	0,77	0,77
312		2-Sep	190	323	273	6,92	36,0	2,05	58,9	53,52	2,56	32308	66,30	78,09	78,09	0,89	0,75	0,75
313		D1/1	50	80	70	3,00	35,1	1,71	7,3	52,33	2,52	32064	4,41	4,86	4,86	1,66	1,50	1,50
314		D1/2	50	80	70	3,00	35,1	1,71	7,2	52,33	2,52	32064	4,41	4,86	4,86	1,63	1,48	1,48
315		D2/1	100	160	140	3,00	31,3	1,62	21,2	47,16	2,35	30980	16,45	17,99	17,99	1,29	1,18	1,18
316		D2/2	100	160	140	3,00	31,3	1,62	23,2	47,16	2,35	30980	16,45	17,99	17,99	1,41	1,29	1,29
317		D3/1	150	240	210	3,00	33,8	1,62	46,4	50,16	2,45	31703	38,56	41,80	41,80	1,20	1,11	1,11
318		D3/2l	150	240	210	3,00	33,8	1,62	42,9	50,16	2,45	31703	38,56	41,80	41,80	1,11	1,03	1,03
319		D3/2r	150	240	210	3,00	33,8	1,62	42,9	50,16	2,45	31703	38,56	41,80	41,80	1,11	1,03	1,03

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CH2} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CH2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$	
320		D4/1	200	320	280	3,00	34,6	1,68	74,1	51,12	2,48	31926	69,42	76,11	76,11	1,07	0,97	0,97	
321		D4/2l	200	320	280	3,00	34,6	1,68	71,3	51,12	2,48	31926	69,42	76,11	76,11	1,03	0,94	0,94	
322		D4/2r	200	320	280	3,00	34,6	1,68	71,3	51,12	2,48	31926	69,42	76,11	76,11	1,03	0,94	0,94	
323		C1	100	180	150	3,00	38,3	1,29	21,6	56,56	2,65	32914	19,89	19,41	19,89	1,09	1,11	1,09	
324		C2	150	330	300	3,00	38,3	1,28	64,7	56,56	2,65	32914	59,67	58,04	59,67	1,08	1,11	1,08	
325		C3	200	500	450	3,00	38,3	1,28	101,5	56,56	2,65	32914	119,34	116,08	119,34	0,85	0,87	0,85	
326		C4	225	670	600	3,00	38,3	1,28	152,1	56,56	2,65	32914	179,02	174,13	179,02	0,85	0,87	0,85	
327		EA1	190	320	270	2,78	22,2	1,82	58,4	36,24	1,97	27947	50,56	60,14	60,14	1,16	0,97	0,97	
328		EA2	190	320	270	2,78	22,2	1,78	74,6	36,24	1,97	27947	50,56	59,64	59,64	1,48	1,25	1,25	
329		E6	190	320	270	2,78	27,6	2,47	91,2	42,72	2,20	29833	56,42	73,33	73,33	1,62	1,24	1,24	
330		GA1	190	320	270	1,85	22,3	1,82	89,5	36,36	1,98	27984	68,48	81,41	81,41	1,31	1,10	1,10	
331		GA2	190	320	270	1,85	22,3	1,78	106,0	36,36	1,98	27984	68,48	80,73	80,73	1,55	1,31	1,31	
332		G6	190	320	270	1,85	26,1	2,47	143,6	40,92	2,14	29337	74,09	96,88	96,88	1,94	1,48	1,48	
333		1-Nov	190	340	290	1,29	38,1	1,93	165,8	56,29	2,64	32862	141,16	161,45	161,45	1,17	1,03	1,03	
334		2-Nov	190	346	296	1,27	38,1	1,89	177,0	56,29	2,64	32862	146,35	166,05	166,05	1,21	1,07	1,07	
335		1-Dec	190	323	273	1,83	36,8	2,05	144,4	54,58	2,59	32522	91,76	107,81	107,81	1,57	1,34	1,34	
336		2-Dec	189	322	272	1,84	36,7	2,07	114,6	54,44	2,59	32495	90,30	106,52	106,52	1,27	1,08	1,08	
337		13/1	190	323	273	2,29	37,3	2,05	106,6	55,24	2,61	32654	73,92	86,72	86,72	1,44	1,23	1,23	
338		13/2	189	322	272	2,30	37,3	2,07	106,7	55,24	2,61	32654	72,94	85,88	85,88	1,46	1,24	1,24	
339		14/1	190	323	273	2,75	36,2	2,05	85,9	53,78	2,56	32362	66,52	78,30	78,30	1,29	1,10	1,10	
340		14/2	190	323	273	2,75	36,2	2,05	86,3	53,78	2,56	32362	66,52	78,30	78,30	1,30	1,10	1,10	
341		15/1	190	322	272	3,68	38,3	2,05	80,9	56,56	2,65	32914	68,53	80,16	80,16	1,18	1,01	1,01	
342		15/2	189	323	273	3,66	38,3	2,06	86,0	56,56	2,65	32914	68,42	80,17	80,17	1,26	1,07	1,07	
343		16/1	190	323	273	4,58	37,8	2,05	84,2	55,90	2,63	32785	68,25	79,94	79,94	1,23	1,05	1,05	
344		16/2	189	324	274	4,56	37,8	2,05	83,7	55,90	2,63	32785	68,14	79,81	79,81	1,23	1,05	1,05	
345		17/2	189	324	274	5,47	35,5	2,05	77,6	52,86	2,54	32173	65,65	77,45	77,45	1,18	1,00	1,00	
346		de Cossio (discussion to 326 report!) (sept 1962 issue) (2 tests removed E29.4- 9.8A, E29.4- 9.8B as listed flex but fail at 67% of Mn.) (1962)	32-8E	321	102	83	4,00	23,2	1,87	32,8	37,44	2,01	28318	26,84	32,09	32,09	1,22	1,02	1,02
347			32-8F	319	102	83	4,00	21,2	1,87	33,2	35,04	1,93	27563	25,52	30,82	30,82	1,30	1,08	1,08
348			48-8F	479	102	83	4,00	27,9	1,98	60,7	43,08	2,21	29930	43,97	52,61	52,61	1,38	1,15	1,15
349			48-8E	479	102	82	4,00	26,7	1,99	51,0	41,64	2,16	29538	42,47	51,16	51,16	1,20	1,00	1,00
350			64-8F	639	102	83	4,00	30,4	1,88	71,3	46,08	2,31	30710	61,35	71,29	71,29	1,16	1,00	1,00
351			64-8E	639	102	87	4,00	31,2	1,92	67,7	47,04	2,35	30951	65,20	76,14	76,14	1,04	0,89	0,89
352			32-8D	320	102	84	4,00	21,2	1,85	34,1	35,04	1,93	27563	25,90	31,16	31,16	1,32	1,09	1,09
353			32-8C	319	102	82	4,00	23,2	1,91	34,9	37,44	2,01	28318	26,35	31,76	31,76	1,32	1,10	1,10
354	48-8D		479	102	84	4,00	26,6	1,94	65,0	41,52	2,16	29504	43,42	51,84	51,84	1,50	1,25	1,25	
355	48-8C		483	102	83	4,00	25,2	1,95	58,7	39,84	2,10	29030	42,09	50,65	50,65	1,39	1,16	1,16	

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CH2} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CH2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$
356		64-8C	640	102	82	4,00	28,5	1,90	85,2	43,80	2,24	30121	58,69	68,97	68,97	1,45	1,24	1,24
357		64-8D	640	102	81	4,00	28,5	1,95	81,6	43,80	2,24	30121	57,97	68,80	68,80	1,41	1,19	1,19
358		32-8A	322	102	81	4,00	23,7	1,90	37,1	38,04	2,04	28500	26,55	31,86	31,86	1,40	1,16	1,16
359		32-8B	317	102	81	4,00	23,7	1,85	38,0	38,04	2,04	28500	26,14	31,05	31,05	1,45	1,22	1,22
360		B32-8A	318	102	80	4,00	26,8	2,81	49,0	41,76	2,17	29571	27,56	37,63	37,63	1,78	1,30	1,30
361		B32-8B	318	102	80	4,00	26,8	2,80	51,9	41,76	2,17	29571	27,56	37,58	37,58	1,88	1,38	1,38
362		C32-8A	319	102	80	4,00	26,6	1,95	41,2	41,52	2,16	29504	27,54	32,94	32,94	1,50	1,25	1,25
363		C32-8B	319	102	80	4,00	26,6	1,95	42,2	41,52	2,16	29504	27,54	32,94	32,94	1,53	1,28	1,28
364		48-8B	505	102	82	4,00	27,8	1,98	65,3	42,96	2,21	29898	45,71	54,72	54,72	1,43	1,19	1,19
365		48-8A	479	102	81	4,00	27,8	2,01	62,0	42,96	2,21	29898	42,83	51,56	51,56	1,45	1,20	1,20
366		64-8A	640	102	82	4,00	28,5	1,90	87,0	43,80	2,24	30121	58,69	68,97	68,97	1,48	1,26	1,26
367		64-8B	636	102	81	4,00	29,2	1,94	85,5	44,64	2,27	30342	58,34	68,92	68,92	1,47	1,24	1,24
368		A2.1-16.8A	21	203	168	2,67	34,6	2,00	4,7	51,12	2,48	31926	4,37	5,13	5,13	1,07	0,92	0,92
369		A2.1-16.8B	21	203	168	2,67	34,6	2,00	4,7	51,12	2,48	31926	4,37	5,13	5,13	1,07	0,92	0,92
370		A3-12A	30	152	122	2,67	28,5	1,98	4,3	43,80	2,24	30121	4,09	4,89	4,89	1,05	0,88	0,88
371		A3-12B	30	152	120	2,67	29,0	1,97	4,2	44,40	2,26	30279	4,06	4,83	4,83	1,03	0,87	0,87
372		A3-12C	30	152	122	2,67	28,5	1,97	4,4	43,80	2,24	30121	4,09	4,88	4,88	1,08	0,90	0,90
373		A4.25-17A	42	203	170	4,00	13,7	2,00	5,3	24,84	1,53	24179	5,47	7,11	7,11	0,97	0,75	0,75
374		A4.25-17B	42	203	172	4,00	13,7	1,94	6,0	24,84	1,53	24179	5,54	7,11	7,11	1,08	0,84	0,84
375		B3-12A	29	152	120	4,00	29,0	2,00	4,8	44,40	2,26	30279	3,93	4,70	4,70	1,22	1,02	1,02
376		B3-12B	30	152	120	4,00	29,0	1,97	4,0	44,40	2,26	30279	4,06	4,83	4,83	0,98	0,83	0,83
377		B4.25-17A	42	203	170	4,00	13,4	2,00	5,5	24,48	1,52	24019	5,42	7,06	7,06	1,02	0,78	0,78
378		B4.25-17B	42	203	170	4,00	13,7	1,94	5,6	24,84	1,53	24179	5,47	7,03	7,03	1,02	0,80	0,80
379		C4.25-17A	42	203	170	2,67	13,7	1,96	6,7	24,84	1,53	24179	5,47	7,06	7,06	1,22	0,95	0,95
380		C4.25-17B	42	203	170	2,67	13,7	1,96	5,9	24,84	1,53	24179	5,47	7,06	7,06	1,08	0,84	0,84
381		A4.7-14.7A	46	178	147	2,67	28,3	2,08	9,6	43,56	2,23	30058	7,53	9,17	9,17	1,27	1,05	1,05
382		A4.7-14.7B	46	178	147	2,67	28,3	2,08	9,8	43,56	2,23	30058	7,53	9,17	9,17	1,30	1,07	1,07
383		A4.25-8.5A	42	102	86	2,67	29,7	1,97	5,6	45,24	2,29	30496	4,13	4,89	4,89	1,36	1,14	1,14
384		A4.25-8.5B	42	102	86	2,67	29,7	1,97	5,8	45,24	2,29	30496	4,13	4,89	4,89	1,41	1,19	1,19
385		A4.25-8.5C	42	102	86	2,67	29,7	1,97	5,8	45,24	2,29	30496	4,13	4,89	4,89	1,41	1,19	1,19
386		A6-12A	60	152	121	2,67	29,7	1,94	10,6	45,24	2,29	30496	8,30	9,78	9,78	1,28	1,08	1,08
387		A6-12B	60	152	122	2,67	29,7	1,92	10,5	45,24	2,29	30496	8,36	9,82	9,82	1,26	1,07	1,07
388		A6-12C	60	152	120	2,67	29,7	1,94	10,4	45,24	2,29	30496	8,23	9,70	9,70	1,26	1,07	1,07
389		A8.5-17A	87	203	171	2,67	35,0	1,92	23,5	51,60	2,49	32036	18,56	21,39	21,39	1,27	1,10	1,10
390		A8.5-17B	85	203	170	2,67	35,0	1,96	23,9	51,60	2,49	32036	18,03	20,94	20,94	1,33	1,14	1,14
391		A8.5-17C	86	203	170	2,67	33,9	1,95	21,0	50,28	2,45	31731	17,92	20,86	20,86	1,17	1,01	1,01

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CH2} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CH2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$	
392		A10.4-13.9A	103	178	139	2,67	23,9	1,97	21,5	38,28	2,04	28572	14,64	17,79	17,79	1,47	1,21	1,21	
393		A10.4-13.9B	103	178	140	2,67	23,9	1,96	23,8	38,28	2,04	28572	14,74	17,88	17,88	1,61	1,33	1,33	
394		A12-12A	120	152	121	2,67	23,7	1,95	27,0	38,04	2,04	28500	14,78	17,91	17,91	1,83	1,51	1,51	
395		A12-12B	120	152	122	2,67	29,2	1,96	26,0	44,64	2,27	30342	16,58	19,66	19,66	1,57	1,32	1,32	
396		A12-12C	120	152	121	2,67	31,0	1,95	23,8	46,80	2,34	30891	16,97	19,95	19,95	1,40	1,19	1,19	
397		A12-12D	120	152	120	2,67	31,0	1,97	23,7	46,80	2,34	30891	16,83	19,86	19,86	1,41	1,19	1,19	
398		A14.7-9.8A	147	127	99	2,67	26,5	1,96	22,8	41,40	2,15	29471	15,67	18,79	18,79	1,45	1,21	1,21	
399		A14.7-9.8B	146	127	99	2,67	26,5	1,97	25,8	41,40	2,15	29471	15,57	18,70	18,70	1,66	1,38	1,38	
400		B12-6A	120	76	62	2,67	26,0	2,88	16,4	40,80	2,13	29303	7,94	10,96	10,96	2,07	1,50	1,50	
401		B12-6B	120	76	63	2,67	26,0	2,84	17,9	40,80	2,13	29303	8,06	11,09	11,09	2,22	1,61	1,61	
402		A12-6A	121	76	60	2,67	30,0	1,44	17,0	45,60	2,30	30589	8,34	8,75	8,75	2,04	1,94	1,94	
403		A12-6B	120	76	62	2,67	30,0	1,92	15,5	45,60	2,30	30589	8,55	10,03	10,03	1,81	1,55	1,55	
404		A12-6C	122	76	62	2,67	30,0	1,90	15,7	45,60	2,30	30589	8,69	10,15	10,15	1,81	1,55	1,55	
405		A12-6D	120	76	61	2,67	24,1	1,94	16,6	38,52	2,05	28644	7,51	9,07	9,07	2,21	1,83	1,83	
406		A12-6E	120	76	61	2,67	30,3	1,93	18,6	45,96	2,31	30680	8,45	9,92	9,92	2,20	1,87	1,87	
407		D29.4-9.8A	290	127	100	4,00	24,6	2,90	37,8	39,12	2,07	28821	30,08	41,90	41,90	1,26	0,90	0,90	
408		D29.4-9.8B	294	127	100	4,00	24,6	2,90	34,3	39,12	2,07	28821	30,49	42,48	42,48	1,12	0,81	0,81	
409		D29.4-9.8C	293	127	98	4,00	24,6	2,46	42,9	39,12	2,07	28821	29,78	39,13	39,13	1,44	1,10	1,10	
410		D29.4-9.8D	294	127	99	4,00	24,6	2,92	47,5	39,12	2,07	28821	30,19	42,15	42,15	1,57	1,13	1,13	
411		A29.4-9.8A	293	127	99	2,67	27,2	1,96	50,1	42,24	2,18	29703	31,66	37,85	37,85	1,58	1,32	1,32	
412		A29.4-9.8B	293	127	99	2,67	27,2	1,96	52,5	42,24	2,18	29703	31,66	37,85	37,85	1,66	1,39	1,39	
413		C29.4-9.8A	294	127	99	2,67	14,9	1,95	36,3	26,28	1,59	24796	23,15	29,54	29,54	1,57	1,23	1,23	
414		C29.4-9.8B	294	127	99	2,67	18,0	1,95	43,4	30,00	1,74	26242	25,29	31,60	31,60	1,72	1,37	1,37	
415		B29.4-9.8A	294	127	98	4,00	25,6	1,97	41,8	40,32	2,12	29167	30,49	36,77	36,77	1,37	1,14	1,14	
416		B29.4-9.8B	294	127	98	4,00	23,2	1,97	45,9	37,44	2,01	28318	29,02	35,38	35,38	1,58	1,30	1,30	
417		A.8.5-34A	85	406	341	2,67	28,0	1,86	28,6	43,20	2,22	29962	32,12	37,52	37,52	0,89	0,76	0,76	
418		A.8.5-34B	87	406	340	2,67	25,8	1,80	27,6	40,56	2,12	29235	31,43	36,60	36,60	0,88	0,75	0,75	
419		A50-25A	501	305	253	2,67	34,5	1,81	188,7	51,00	2,48	31898	156,88	177,09	177,09	1,20	1,07	1,07	
420		A50-25B	502	305	252	2,67	34,1	1,85	171,2	50,52	2,46	31787	155,59	177,35	177,35	1,10	0,97	0,97	
421		Ruesch, Haugli (1962)	X	90	134	111	3,60	23,0	2,65	14,6	37,20	2,01	28245	10,02	13,62	13,62	1,46	1,07	1,07
422			Y	120	229	199	3,60	23,0	2,65	30,1	37,20	2,01	28245	23,95	32,55	32,55	1,26	0,92	0,92
423			Z	180	302	262	3,62	24,2	2,64	54,7	38,64	2,06	28679	48,51	65,49	65,49	1,13	0,84	0,84
424		Bresler & Scordelis (1963)	0A-1	310	556	461	3,80	22,6	1,81	166,8	36,72	1,99	28097	142,09	168,33	168,33	1,17	0,99	0,99
425			0A-2	305	561	466	4,74	23,7	2,27	177,9	38,04	2,04	28500	144,68	185,42	185,42	1,23	0,96	0,96
426			0A-3	307	556	462	6,77	37,6	2,73	189,0	55,63	2,62	32732	186,03	242,42	242,42	1,02	0,78	0,78
427			I-1	203	457	403	1,51	25,4	3,05	312,9	40,08	2,11	29099	142,77	201,71	201,71	2,19	1,55	1,55

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CH2} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CH2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$
428	Mathey and Watstein (1963)	I-2	203	457	403	1,51	23,0	3,05	310,7	37,20	2,01	28245	135,84	193,91	193,91	2,29	1,60	1,60
429		II-3	203	457	403	1,51	21,9	1,88	261,8	35,88	1,96	27833	132,61	159,91	159,91	1,97	1,64	1,64
430		II-4	203	457	403	1,51	26,4	1,88	312,9	41,28	2,15	29438	145,60	171,92	171,92	2,15	1,82	1,82
431		III-5	203	457	403	1,51	25,7	1,85	288,5	40,44	2,12	29201	143,62	169,07	169,07	2,01	1,71	1,71
432		III-6	203	457	403	1,51	25,6	1,85	290,7	40,32	2,12	29167	143,34	168,81	168,81	2,03	1,72	1,72
433		IV-7	203	457	403	1,51	24,1	1,86	290,8	38,52	2,05	28644	139,04	165,20	165,20	2,09	1,76	1,76
434		IV-8	203	457	403	1,51	24,9	1,86	304,0	39,48	2,09	28926	141,34	167,32	167,32	2,15	1,82	1,82
435		V-9	203	457	403	1,51	23,1	1,16	224,0	37,32	2,01	28282	136,13	135,28	136,13	1,65	1,66	1,65
436		V-10	203	457	403	1,51	27,0	1,16	268,4	42,00	2,17	29637	147,29	143,64	147,29	1,82	1,87	1,82
437		VI-11	203	457	403	1,51	25,4	1,17	224,0	40,08	2,11	29099	142,77	140,74	142,77	1,57	1,59	1,57
438		VI-12	203	457	403	1,51	25,7	1,17	268,4	40,44	2,12	29201	143,62	141,38	143,62	1,87	1,90	1,87
439		V-13	203	457	403	1,51	22,4	0,75	222,4	36,48	1,98	28022	134,08	111,83	134,08	1,66	1,99	1,66
440		V-14	203	457	403	1,51	26,7	0,75	224,0	41,64	2,16	29538	146,45	119,47	146,45	1,53	1,87	1,53
441		VI-15	203	457	403	1,51	25,5	0,75	179,5	40,20	2,11	29133	143,05	117,38	143,05	1,25	1,53	1,25
442		VI-16	203	457	403	1,51	22,8	0,75	188,6	36,96	2,00	28171	135,26	112,56	135,26	1,39	1,68	1,39
443		IIIa-17	203	457	403	3,78	29,2	2,54	88,1	44,64	2,27	30342	92,65	120,90	120,90	0,95	0,73	0,73
444		IIIa-18	203	457	403	3,78	25,2	2,54	80,7	39,84	2,10	29030	85,89	113,87	113,87	0,94	0,71	0,71
445		Va-19	203	457	403	3,78	23,5	0,93	63,3	37,80	2,03	28428	82,93	75,18	82,93	0,76	0,84	0,76
446		Va-20	203	457	403	3,78	25,6	0,93	65,9	40,32	2,12	29167	86,57	77,66	86,57	0,76	0,85	0,76
447		VIb-21	203	457	403	2,84	26,1	0,84	71,4	40,92	2,14	29337	87,43	75,01	87,43	0,82	0,95	0,82
448		VIb-22	203	457	403	2,84	25,8	0,84	62,4	40,56	2,12	29235	86,92	74,68	86,92	0,72	0,84	0,72
449		VIb-23	203	457	403	2,84	30,6	0,84	75,1	46,32	2,32	30771	94,96	79,86	94,96	0,79	0,94	0,79
450		Vla-24	203	457	403	3,78	26,3	0,47	54,5	41,16	2,15	29404	87,77	58,69	87,77	0,62	0,93	0,62
451		Vla-25	203	457	403	3,78	25,8	0,47	49,9	40,56	2,12	29235	86,92	58,27	86,92	0,57	0,86	0,57
452		de Pavia (1965)	G23S-11	51	330	305	0,67	24,6	0,83	89,8	39,12	2,07	28821	60,20	51,77	60,20	1,49	1,73
453	G33S-11		76	229	203	1,00	23,3	1,67	85,3	37,56	2,02	28355	38,93	44,58	44,58	2,19	1,91	1,91
454	G33S-31		76	229	203	1,00	19,9	2,58	106,9	32,28	1,82	27044	35,19	48,11	48,11	3,04	2,22	2,22
455	G34S-11		76	229	203	1,00	35,2	1,67	109,8	52,46	2,52	32091	48,65	53,11	53,11	2,26	2,07	2,07
456	G43S-11		102	178	152	1,33	24,2	1,67	76,9	38,64	2,06	28679	29,98	34,18	34,18	2,57	2,25	2,25
457	G44S-11		102	178	152	1,33	37,0	1,67	83,6	54,84	2,60	32575	37,86	41,09	41,09	2,21	2,03	2,03
458	Krefeld & Thurston (1966)	II-4A3	203	457	390	2,35	30,6	2,06	109,9	46,32	2,32	30771	97,77	117,50	117,50	1,12	0,94	0,94
459		II-5A3	203	457	390	2,35	29,9	3,09	170,4	45,48	2,29	30558	96,58	134,77	134,77	1,76	1,26	1,26
460		II-11A2	152	381	314	2,92	30,2	3,41	73,4	45,84	2,31	30650	55,02	79,35	79,35	1,33	0,93	0,93
461		II-12A2	152	305	238	3,85	30,1	4,50	64,1	45,72	2,30	30619	41,63	65,84	65,84	1,54	0,97	0,97
462		III-18A2	152	381	316	2,90	19,3	2,68	63,2	31,56	1,80	26797	43,17	60,01	60,01	1,46	1,05	1,05
463		III-18B2	152	381	316	2,90	19,9	2,68	72,1	32,28	1,82	27044	43,83	60,72	60,72	1,65	1,19	1,19

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CII2} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CII2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$
464		III-18C2	152	381	316	2,90	22,6	2,68	73,4	36,72	1,99	28097	47,76	65,29	65,29	1,54	1,12	1,12
465		III-18D2	152	381	316	2,90	22,1	2,68	60,0	36,12	1,97	27909	47,24	64,73	64,73	1,27	0,93	0,93
466		IV-13A2	152	381	319	2,87	19,9	0,80	48,5	32,28	1,82	27044	44,24	38,47	44,24	1,10	1,26	1,10
467		IV-14A2	152	305	243	3,77	20,7	1,05	35,1	33,24	1,86	27366	34,37	33,25	34,37	1,02	1,06	1,02
468		IV-15A2	152	381	316	2,90	20,1	1,34	45,8	32,52	1,83	27126	44,04	47,11	47,11	1,04	0,97	0,97
469		IV-15B2	152	381	316	2,90	20,7	1,34	52,0	33,24	1,86	27366	44,69	47,64	47,64	1,16	1,09	1,09
470		IV-16A2	152	305	240	3,81	22,2	1,77	41,8	36,24	1,97	27947	35,95	42,32	42,32	1,16	0,99	0,99
471		IV-17A2	152	305	243	3,77	22,0	2,09	44,0	36,00	1,96	27871	36,24	45,43	45,43	1,21	0,97	0,97
472		IV-18E2	152	381	316	2,90	19,8	2,68	81,8	32,16	1,82	27004	43,72	60,61	60,61	1,87	1,35	1,35
473		IV-19A2	152	305	240	3,81	20,6	3,53	46,3	33,12	1,86	27326	33,86	51,35	51,35	1,37	0,90	0,90
474		IV-20A2	152	305	238	3,85	21,0	4,52	50,7	34,80	1,92	27485	34,70	56,88	56,88	1,46	0,89	0,89
475		IV-21A2	203	305	238	3,85	19,9	5,01	76,5	32,28	1,82	27044	44,08	74,94	74,94	1,74	1,02	1,02
476		V-2AC	152	305	254	4,80	23,0	1,32	37,8	37,20	2,01	28245	38,72	40,53	40,53	0,98	0,93	0,93
477		V-3AC	152	305	256	4,77	20,8	1,99	44,0	33,36	1,87	27406	36,29	44,96	44,96	1,21	0,98	0,98
478		V-4AC	152	305	254	4,80	16,5	2,63	37,8	28,20	1,67	25566	32,19	45,19	45,19	1,17	0,84	0,84
479		V-5AC	152	305	252	4,83	18,3	3,35	41,8	30,36	1,75	26373	33,55	50,59	50,59	1,25	0,83	0,83
480		V-6AC	152	305	250	4,87	22,8	4,30	53,4	36,96	2,00	28171	37,95	60,75	60,75	1,41	0,88	0,88
481		V-3CC	152	305	256	5,96	20,5	1,99	35,6	33,00	1,85	27287	36,03	44,71	44,71	0,99	0,80	0,80
482		V-4CC	152	305	254	6,00	20,6	2,63	40,0	33,12	1,86	27326	35,84	49,15	49,15	1,12	0,81	0,81
483		V-5CC	152	305	252	6,04	20,3	3,35	44,5	32,76	1,84	27206	35,30	52,68	52,68	1,26	0,84	0,84
484		V-6CC	152	305	250	6,09	20,6	4,30	44,5	33,12	1,86	27326	35,27	57,01	57,01	1,26	0,78	0,78
485		V-4EC	152	305	254	7,20	21,2	2,63	41,8	35,04	1,93	27563	37,21	50,87	50,87	1,12	0,82	0,82
486		V-5GC	152	305	252	7,24	19,5	3,35	39,6	31,80	1,81	26880	34,60	51,85	51,85	1,14	0,76	0,76
487		V-6EC	152	305	250	7,30	19,1	4,30	42,3	31,32	1,79	26714	33,98	55,32	55,32	1,24	0,76	0,76
488		V-4GC	152	305	254	8,40	21,0	2,63	36,9	34,80	1,92	27485	37,04	50,69	50,69	1,00	0,73	0,73
489		V-5GC	152	305	252	8,45	21,9	3,35	41,8	35,88	1,96	27833	37,50	55,55	55,55	1,11	0,75	0,75
490		V-6GC	152	305	250	8,52	21,4	4,30	40,5	35,28	1,94	27641	36,79	59,25	59,25	1,10	0,68	0,68
491		VII-6C	152	305	252	3,62	20,1	3,35	51,2	32,52	1,83	27126	35,12	52,47	52,47	1,46	0,98	0,98
492		VIII-3AAC	152	305	256	3,58	34,6	1,99	55,6	51,12	2,48	31926	48,24	56,44	56,44	1,15	0,99	0,99
493		VIII-4AAC	152	305	254	3,60	29,2	2,63	57,8	44,64	2,27	30342	43,73	57,78	57,78	1,32	1,00	1,00
494		VIII-5AAC	152	305	252	3,62	32,8	3,35	56,9	48,96	2,41	31418	46,14	65,57	65,57	1,23	0,87	0,87
495		VIII-6AAC	152	305	250	3,65	34,4	4,30	60,0	50,88	2,47	31871	46,96	72,24	72,24	1,28	0,83	0,83
496		VIII-3AC	152	305	256	4,77	31,9	1,99	53,4	47,88	2,37	31157	46,18	54,53	54,53	1,16	0,98	0,98
497		VIII-4AC	152	305	254	4,80	30,5	2,63	53,8	46,20	2,32	30741	44,74	58,84	58,84	1,20	0,91	0,91
498		VIII-5AC	152	305	252	4,83	32,8	3,35	54,3	48,96	2,41	31418	46,14	65,57	65,57	1,18	0,83	0,83
499		VIII-6AC	152	305	250	4,87	34,1	4,30	59,2	50,52	2,46	31787	46,74	71,96	71,96	1,27	0,82	0,82

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CH2} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CH2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$
500		VIII-4CC	152	305	254	6,00	38,4	2,63	52,5	56,69	2,66	32940	51,28	65,77	65,77	1,02	0,80	0,80
501		VIII-5CC	152	305	252	6,04	37,4	3,35	57,4	55,37	2,61	32680	50,08	70,21	70,21	1,15	0,82	0,82
502		VIII-6CC	152	305	250	6,09	38,4	4,30	63,2	56,69	2,66	32940	50,47	76,80	76,80	1,25	0,82	0,82
503		VIII-5EC	152	305	252	7,24	37,4	3,35	53,4	55,37	2,61	32680	50,08	70,21	70,21	1,07	0,76	0,76
504		VIII-6EC	152	305	250	7,30	33,8	4,30	48,9	50,16	2,45	31703	46,52	71,68	71,68	1,05	0,68	0,68
505		IX-3AAC	152	305	256	3,58	12,6	1,99	40,5	23,52	1,48	23579	28,75	37,62	37,62	1,41	1,08	1,08
506		IX-4AAC	152	305	254	3,60	12,9	2,63	42,7	23,88	1,49	23746	28,81	41,49	41,49	1,48	1,03	1,03
507		IX-5AAC	152	305	252	3,62	15,4	3,35	50,3	26,88	1,62	25043	30,93	47,45	47,45	1,63	1,06	1,06
508		IX-6AAC	152	305	250	3,65	13,4	4,30	62,3	24,48	1,52	24019	28,83	48,51	48,51	2,16	1,28	1,28
509		IX-3AC	152	305	256	4,77	13,7	1,99	36,9	24,84	1,53	24179	29,81	38,67	38,67	1,24	0,95	0,95
510		IX-4AC	152	305	254	4,80	12,9	2,63	40,0	23,88	1,49	23746	28,81	41,49	41,49	1,39	0,96	0,96
511		IX-5AC	152	305	252	4,83	15,4	3,35	43,6	26,88	1,62	25043	30,93	47,45	47,45	1,41	0,92	0,92
512		IX-6AC	152	305	250	4,87	12,4	4,30	40,9	23,28	1,47	23467	27,88	47,25	47,25	1,47	0,87	0,87
513		IX-3CC	152	305	256	5,96	12,2	1,99	31,1	23,04	1,46	23352	28,36	37,24	37,24	1,10	0,84	0,84
514		IX-4CC	152	305	254	6,00	17,1	2,63	35,1	28,92	1,70	25842	32,74	45,78	45,78	1,07	0,77	0,77
515		IX-5CC	152	305	252	6,04	14,7	3,35	34,2	26,04	1,58	24696	30,29	46,67	46,67	1,13	0,73	0,73
516		IX-6CC	152	305	250	6,09	13,7	4,30	39,6	24,84	1,53	24179	29,12	48,89	48,89	1,36	0,81	0,81
517		X*-C	203	533	483	3,16	16,8	1,56	84,5	28,56	1,68	25705	82,45	95,49	95,49	1,02	0,88	0,88
518		XI*-PCa	152	305	250	7,30	36,3	4,30	53,4	53,92	2,57	32389	48,81	74,69	74,69	1,09	0,71	0,71
519		XI*-PCb	152	305	250	7,30	36,3	4,30	53,4	53,92	2,57	32389	48,81	74,69	74,69	1,09	0,71	0,71
520		s-I*-OCa	152	305	254	6,00	35,7	2,63	48,5	53,12	2,54	32227	49,10	63,49	63,49	0,99	0,76	0,76
521		s-I*-OCb	152	305	254	6,00	39,0	2,63	52,5	57,48	2,68	33093	51,75	66,27	66,27	1,01	0,79	0,79
522		s-II*-OCa	254	508	456	4,02	38,3	2,22	146,8	56,56	2,65	32914	153,59	185,11	185,11	0,96	0,79	0,79
523		s-II*-OCb	254	508	456	4,02	38,3	2,22	133,4	56,56	2,65	32914	153,59	185,11	185,11	0,87	0,72	0,72
524		I-4A1	203	457	390	1,17	29,2	2,06	231,1	44,64	2,27	30342	191,59	231,48	231,48	1,21	1,00	1,00
525		I-4B1	203	457	390	1,17	27,5	2,06	250,3	42,60	2,20	29800	185,71	225,89	225,89	1,35	1,11	1,11
526		I-5A1	203	457	390	1,17	29,4	3,06	314,1	44,88	2,27	30404	192,28	267,86	267,86	1,63	1,17	1,17
527		I-5B1	203	457	390	1,17	29,6	3,06	357,4	45,12	2,28	30466	192,96	268,62	268,62	1,85	1,33	1,33
528		II-4A2	203	457	390	1,17	28,1	2,06	244,4	43,32	2,22	29994	187,79	227,88	227,88	1,30	1,07	1,07
529		II-5A2	203	457	390	1,17	29,4	3,09	363,8	44,88	2,27	30404	192,28	268,77	268,77	1,89	1,35	1,35
530		II-11A1	152	381	314	1,46	27,0	3,41	175,6	42,00	2,17	29637	88,87	129,64	129,64	1,98	1,35	1,35
531		IV-15A1	152	381	316	1,45	19,2	1,34	101,3	31,44	1,79	26755	74,24	79,85	79,85	1,36	1,27	1,27
532		IV-16A1	152	305	240	1,91	21,0	1,77	77,7	34,80	1,92	27485	45,81	54,26	54,26	1,70	1,43	1,43
533		IV-17A1	152	305	243	1,88	18,3	2,09	89,8	30,36	1,75	26373	43,02	55,03	55,03	2,09	1,63	1,63
534		IV-17B1	152	305	243	1,88	21,0	2,09	94,1	34,80	1,92	27485	47,12	59,37	59,37	2,00	1,58	1,58
535		IV-18A1	152	381	316	1,45	20,2	2,68	158,1	32,64	1,84	27166	76,12	105,31	105,31	2,08	1,50	1,50

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CH2} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CH2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$
536		IV-19A1	152	305	240	1,91	21,2	3,53	118,1	35,04	1,93	27563	46,02	69,58	69,58	2,57	1,70	1,70
537		IV-20A1	152	305	238	1,92	21,3	4,52	123,7	35,16	1,93	27602	45,50	74,47	74,47	2,72	1,66	1,66
538		IV-21A1	203	305	238	1,92	21,2	4,93	166,5	35,04	1,93	27563	60,63	101,97	101,97	2,75	1,63	1,63
539		V-**-3AU	152	305	256	2,39	22,7	1,99	73,5	36,84	1,99	28134	40,56	49,76	49,76	1,81	1,48	1,48
540		V-**-4AU	152	305	254	2,40	17,9	2,63	71,8	29,88	1,73	26199	34,85	48,51	48,51	2,06	1,48	1,48
541		V-**-5AU	152	305	252	2,41	20,6	3,35	87,4	33,12	1,86	27326	36,88	54,96	54,96	2,37	1,59	1,59
542		V-**-6AU	152	305	250	2,43	20,6	4,30	101,8	33,12	1,86	27326	36,29	58,65	58,65	2,81	1,74	1,74
543		V-**-2CU	152	305	254	3,00	20,8	1,32	45,2	33,36	1,87	27406	36,01	38,14	38,14	1,26	1,19	1,19
544		V-**-3CU	152	305	256	2,98	20,5	1,99	59,6	33,00	1,85	27287	36,03	44,71	44,71	1,65	1,33	1,33
545		V-**-4CU	152	305	254	3,00	20,6	2,63	66,3	33,12	1,86	27326	35,84	49,15	49,15	1,85	1,35	1,35
546		V-**-5CU	152	305	252	3,02	20,4	3,35	69,0	32,88	1,85	27247	35,38	52,78	52,78	1,95	1,31	1,31
547		V-**-6CU	152	305	250	3,04	20,6	4,30	65,0	33,12	1,86	27326	35,27	57,01	57,01	1,84	1,14	1,14
548		V-**-4EU	152	305	254	3,60	20,2	2,63	62,8	32,64	1,84	27166	35,49	48,77	48,77	1,77	1,29	1,29
549		V-**-5EU	152	305	252	3,62	19,3	3,35	66,7	31,56	1,80	26797	34,43	51,64	51,64	1,94	1,29	1,29
550		V-**-6EU	152	305	250	3,65	20,1	4,30	59,1	32,52	1,83	27126	34,84	56,45	56,45	1,70	1,05	1,05
551		V-**-5GU	152	305	252	4,23	21,3	3,35	58,0	35,16	1,93	27602	37,00	54,95	54,95	1,57	1,06	1,06
552		V-**-4JU	152	305	254	4,80	22,2	2,63	51,0	36,24	1,97	27947	38,05	51,78	51,78	1,34	0,99	0,99
553		VII-6U	152	305	252	1,81	20,4	3,35	123,3	32,88	1,85	27247	48,87	72,90	72,90	2,52	1,69	1,69
554		IX-**-4AAU	152	305	254	1,80	35,7	2,63	132,4	53,12	2,54	32227	68,20	88,18	88,18	1,94	1,50	1,50
555		IX-**-6AAU	152	305	250	1,83	34,4	4,30	156,0	50,88	2,47	31871	64,15	98,69	98,69	2,43	1,58	1,58
556		IX-**-4AU	152	305	254	2,40	31,7	2,63	93,0	47,64	2,37	31099	47,57	62,30	62,30	1,96	1,49	1,49
557		IX-**-5AU	152	305	252	2,42	31,7	3,35	105,1	47,64	2,37	31099	46,80	66,75	66,75	2,25	1,57	1,57
558		IX-**-6AU	152	305	250	2,44	34,1	4,30	123,0	50,52	2,46	31787	47,89	73,73	73,73	2,57	1,67	1,67
559		IX-**-4CU	152	305	254	3,00	32,3	2,63	81,2	48,36	2,39	31274	46,12	60,28	60,28	1,76	1,35	1,35
560		IX-**-5CU	152	305	252	3,02	32,3	3,35	79,4	48,36	2,39	31274	45,76	65,14	65,14	1,74	1,22	1,22
561		IX-**-6CU	152	305	251	3,04	36,8	4,30	89,9	54,58	2,59	32522	49,40	75,50	75,50	1,82	1,19	1,19
562		IX-**-3AAU	152	305	256	1,79	12,6	1,99	92,3	23,52	1,48	23579	40,15	52,55	52,55	2,30	1,76	1,76
563		IX-**-4AAU	152	305	254	1,80	12,3	2,63	80,6	23,16	1,46	23410	39,21	56,74	56,74	2,06	1,42	1,42
564		IX-**-6AAu	152	305	250	1,83	13,4	4,30	97,2	24,48	1,52	24019	39,39	66,27	66,27	2,47	1,47	1,47
565		IX-**-3AU	152	305	256	2,39	13,7	1,99	76,6	24,84	1,53	24179	31,19	40,45	40,45	2,46	1,89	1,89
566		IX-**-4AU	152	305	254	2,40	12,7	2,63	64,4	23,64	1,48	23635	29,81	43,00	43,00	2,16	1,50	1,50
567		IX-**-6AU	152	305	250	2,44	12,4	4,30	62,9	23,28	1,47	23467	28,57	48,41	48,41	2,20	1,30	1,30
568		IX-**-3CU	152	305	256	2,98	12,2	1,99	49,2	23,04	1,46	23352	28,36	37,24	37,24	1,74	1,32	1,32
569		IX-**-4CU	152	305	254	3,00	17,1	2,63	58,9	28,92	1,70	25842	32,74	45,78	45,78	1,80	1,29	1,29
570		IX-**-5CU	152	305	252	3,02	14,7	3,35	67,2	26,04	1,58	24696	30,29	46,67	46,67	2,22	1,44	1,44
571		IX-**-6CU	152	305	250	3,04	13,7	4,30	59,8	24,84	1,53	24179	29,12	48,89	48,89	2,05	1,22	1,22

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CH2} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CH2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$
572		IX-**-3EU	152	305	256	3,58	15,2	1,99	49,7	26,64	1,61	24945	31,24	40,06	40,06	1,59	1,24	1,24
573		IX-**-4EU	152	305	254	3,60	14,3	2,63	43,3	25,56	1,56	24492	30,15	42,96	42,96	1,44	1,01	1,01
574		IX-**-5EU	152	305	252	3,62	15,1	3,35	55,2	26,52	1,60	24895	30,66	47,12	47,12	1,80	1,17	1,17
575		IX-**-6EU	152	305	250	3,65	12,8	4,30	53,4	23,76	1,49	23691	28,27	47,75	47,75	1,89	1,12	1,12
576		IX-**-3GU	152	305	256	4,18	13,5	1,99	41,9	24,60	1,52	24073	29,62	38,48	38,48	1,41	1,09	1,09
577		IX-**-5GU	152	305	252	4,23	11,2	3,35	42,7	21,84	1,41	22761	26,94	42,62	42,62	1,59	1,00	1,00
578		X-*-U	203	533	483	1,58	21,1	1,56	172,1	34,92	1,92	27524	149,17	168,31	168,31	1,15	1,02	1,02
579		s-II-*-OU	254	508	456	2,01	37,2	2,22	212,8	55,10	2,61	32628	187,75	227,02	227,02	1,13	0,94	0,94
580		Baron (1966)	1	203	152	127	4,60	30,6	1,55	38,3	46,32	2,32	30771	29,93	32,26	32,26	1,28	1,19
581	2		203	152	127	4,60	30,6	1,55	34,7	46,32	2,32	30771	29,93	32,26	32,26	1,16	1,08	1,08
582	4		203	152	127	4,60	27,0	1,55	30,2	42,00	2,17	29637	28,04	30,66	30,66	1,08	0,98	0,98
583	Kani (1964-1967)	24	152	305	271	1,50	27,9	1,87	182,0	43,08	2,21	29930	75,93	88,92	88,92	2,40	2,05	2,05
584		25	152	305	271	2,00	24,6	1,87	104,1	39,12	2,07	28821	53,40	63,43	63,43	1,95	1,64	1,64
585		26	152	305	271	2,00	27,1	1,87	78,1	42,12	2,18	29670	56,10	65,91	65,91	1,39	1,18	1,18
586		27	152	305	271	2,50	29,8	1,87	51,4	45,36	2,29	30527	47,15	54,80	54,80	1,09	0,94	0,94
587		28	152	305	271	2,50	29,2	1,87	54,3	44,64	2,27	30342	46,65	54,35	54,35	1,16	1,00	1,00
588		29	152	305	271	4,50	24,6	1,87	42,9	39,12	2,07	28821	42,72	50,75	50,75	1,00	0,85	0,85
589		30	152	305	271	4,50	25,2	1,87	46,3	39,84	2,10	29030	43,24	51,23	51,23	1,07	0,90	0,90
590		35	155	305	269	3,53	26,1	1,82	44,9	40,92	2,14	29337	44,56	52,04	52,04	1,01	0,86	0,86
591		36	153	305	273	3,49	26,1	1,82	51,6	40,92	2,14	29337	44,64	52,13	52,13	1,16	0,99	0,99
592		40	152	152	140	5,35	27,1	2,59	32,0	42,12	2,18	29670	23,18	30,71	30,71	1,38	1,04	1,04
593		41	152	152	141	2,41	27,2	2,61	51,5	42,24	2,18	29703	24,27	32,23	32,23	2,12	1,60	1,60
594		43	151	152	137	5,93	28,0	2,73	29,1	43,20	2,22	29962	22,92	30,83	30,83	1,27	0,94	0,94
595		45	151	152	133	2,05	25,5	2,83	64,6	40,20	2,11	29133	25,87	35,59	35,59	2,50	1,82	1,82
596		46	151	152	136	2,00	25,5	2,76	69,1	40,20	2,11	29133	27,11	36,98	36,98	2,55	1,87	1,87
597		47	151	152	132	5,13	24,8	2,84	28,2	39,36	2,08	28891	20,76	28,68	28,68	1,36	0,98	0,98
598		48	151	152	133	5,09	24,8	2,82	27,1	39,36	2,08	28891	20,91	28,82	28,82	1,30	0,94	0,94
599		52	152	152	140	3,89	24,8	2,67	28,9	39,36	2,08	28891	22,16	29,96	29,96	1,30	0,96	0,96
600		53	151	152	132	1,03	26,7	2,84	155,3	41,64	2,16	29538	52,31	71,71	71,71	2,97	2,17	2,17
601		54	151	152	136	1,00	26,7	2,76	157,8	41,64	2,16	29538	55,51	75,34	75,34	2,84	2,09	2,09
602		55	150	152	135	3,02	25,1	2,80	32,6	39,72	2,10	28995	21,22	29,13	29,13	1,54	1,12	1,12
603		56	153	152	137	3,46	27,2	2,67	28,0	42,24	2,18	29703	22,88	30,63	30,63	1,22	0,91	0,91
604		57	153	152	139	5,39	26,4	2,61	31,2	41,28	2,15	29438	22,86	30,45	30,45	1,36	1,02	1,02
605		58	152	152	138	3,44	20,3	2,66	28,9	32,76	1,84	27206	19,33	26,65	26,65	1,50	1,08	1,08
606		59	154	152	140	2,67	26,6	2,63	50,2	41,52	2,16	29504	23,27	31,05	31,05	2,16	1,62	1,62
607		60	155	152	139	2,93	26,8	2,64	39,3	41,76	2,17	29571	23,34	31,17	31,17	1,68	1,26	1,26

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CII2} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CII2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$
608		61	156	610	542	2,00	26,8	2,55	163,3	41,76	2,17	29571	114,49	151,01	151,01	1,43	1,08	1,08
609		63	154	610	543	4,00	26,2	2,77	93,2	41,04	2,14	29371	89,54	121,93	121,93	1,04	0,76	0,76
610		64	156	610	541	8,03	25,7	2,75	79,0	40,44	2,12	29201	89,49	121,79	121,79	0,88	0,65	0,65
611		65	150	610	552	2,46	27,0	2,82	112,4	42,00	2,17	29637	91,50	124,99	124,99	1,23	0,90	0,90
612		66	156	610	541	6,01	26,4	2,75	90,8	41,28	2,15	29438	90,72	123,12	123,12	1,00	0,74	0,74
613		67	157	610	528	1,03	30,3	2,75	548,0	45,96	2,31	30680	232,34	310,72	310,72	2,36	1,76	1,76
614		69	155	610	542	1,00	27,4	2,67	585,6	42,48	2,19	29768	230,13	307,83	307,83	2,54	1,90	1,90
615		71	155	610	544	2,99	27,4	2,41	102,1	42,48	2,19	29768	92,39	119,11	119,11	1,11	0,86	0,86
616		72	152	610	549	1,98	24,8	2,71	196,9	39,36	2,08	28891	109,72	149,12	149,12	1,79	1,32	1,32
617		74	152	610	523	3,12	27,2	2,84	107,7	42,24	2,18	29703	86,78	118,74	118,74	1,24	0,91	0,91
618		75	152	610	524	3,11	27,3	2,84	107,9	42,36	2,19	29735	87,11	119,14	119,14	1,24	0,91	0,91
619		76	152	610	518	2,63	30,8	2,87	114,8	46,56	2,33	30831	91,71	124,31	124,31	1,25	0,92	0,92
620		79	153	610	556	6,84	26,1	2,72	83,7	40,92	2,14	29337	90,91	123,05	123,05	0,92	0,68	0,68
621		81	153	305	274	5,93	27,5	2,76	51,2	42,60	2,20	29800	46,02	62,26	62,26	1,11	0,82	0,82
622		83	156	305	271	3,00	27,4	2,74	65,0	42,48	2,19	29768	46,32	62,54	62,54	1,40	1,04	1,04
623		84	151	305	271	4,00	27,4	2,84	55,4	42,48	2,19	29768	44,84	61,30	61,30	1,24	0,90	0,90
624		85	154	305	274	0,99	25,5	2,69	233,6	40,20	2,11	29133	112,54	152,10	152,10	2,08	1,54	1,54
625		87	154	305	269	1,01	27,2	2,72	239,6	42,24	2,18	29703	111,93	150,83	150,83	2,14	1,59	1,59
626		91	154	305	269	6,06	27,4	2,70	51,0	42,48	2,19	29768	45,39	60,96	60,96	1,12	0,84	0,84
627		93	155	305	273	6,46	30,3	2,66	53,8	45,96	2,31	30680	48,86	64,57	64,57	1,10	0,83	0,83
628		94	153	305	273	1,99	25,3	2,77	110,6	39,96	2,10	29064	55,20	75,44	75,44	2,00	1,47	1,47
629		95	153	305	275	2,47	25,3	2,75	72,8	39,96	2,10	29064	44,80	61,07	61,07	1,63	1,19	1,19
630		96	153	305	275	3,94	25,3	2,76	56,3	39,96	2,10	29064	44,26	60,41	60,41	1,27	0,93	0,93
631		97	152	305	276	2,95	27,2	2,68	62,5	42,24	2,18	29703	45,79	61,39	61,39	1,36	1,02	1,02
632		98	153	305	275	2,47	26,2	2,68	76,3	41,04	2,14	29371	45,60	61,37	61,37	1,67	1,24	1,24
633		99	152	305	272	2,50	26,2	2,73	77,2	41,04	2,14	29371	44,27	59,97	59,97	1,74	1,29	1,29
634		100	153	305	270	2,02	27,2	2,75	111,9	42,24	2,18	29703	55,81	75,50	75,50	2,01	1,48	1,48
635		102	153	305	269	2,02	25,3	0,76	48,8	39,96	2,10	29064	53,58	44,26	53,58	0,91	1,10	0,91
636		103	155	305	274	2,97	29,4	0,74	38,8	44,88	2,27	30404	48,27	38,68	48,27	0,80	1,00	0,80
637		104	154	305	269	3,98	25,3	0,76	33,6	39,96	2,10	29064	43,58	35,99	43,58	0,77	0,93	0,77
638		105	152	305	272	2,50	26,2	0,77	41,5	41,04	2,14	29371	44,27	36,61	44,27	0,94	1,13	0,94
639		106	154	305	268	2,53	28,8	0,76	44,6	44,16	2,25	30216	46,41	37,71	46,41	0,96	1,18	0,96
640		107	154	305	267	5,08	26,6	0,76	25,7	41,52	2,16	29504	44,37	36,42	44,37	0,58	0,71	0,58
641		109	153	305	271	1,50	25,0	0,76	71,9	39,60	2,09	28960	72,26	59,77	72,26	1,00	1,20	1,00
642		111	154	305	272	2,49	27,0	0,76	43,3	42,00	2,17	29637	45,73	37,47	45,73	0,95	1,16	0,95
643		112	153	305	273	2,48	27,0	0,76	39,4	42,00	2,17	29637	45,79	37,51	45,79	0,86	1,05	0,86

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CH2} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CH2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$
644		113	152	305	274	1,49	25,5	0,77	87,2	40,20	2,11	29133	73,80	61,23	73,80	1,18	1,42	1,18
645		114	153	305	270	2,02	25,5	0,80	61,4	40,20	2,11	29133	54,00	45,52	54,00	1,14	1,35	1,14
646		115	152	305	272	2,50	26,2	0,77	45,3	41,04	2,14	29371	44,27	36,61	44,27	1,02	1,24	1,02
647		116	152	305	271	3,01	26,4	0,78	39,3	41,28	2,15	29438	44,28	36,78	44,28	0,89	1,07	0,89
648		121	152	305	272	2,99	20,3	1,85	49,0	32,76	1,84	27206	38,10	46,06	46,06	1,29	1,06	1,06
649		122	150	305	276	3,94	19,9	1,84	38,8	32,28	1,82	27044	37,77	45,68	45,68	1,03	0,85	0,85
650		123	155	305	271	4,00	15,4	1,79	37,8	26,88	1,62	25043	33,92	41,78	41,78	1,11	0,90	0,90
651		124	154	305	271	5,00	15,4	1,80	32,0	26,88	1,62	25043	33,70	41,60	41,60	0,95	0,77	0,77
652		126	155	305	272	2,99	16,3	1,78	42,7	27,96	1,66	25473	34,95	42,69	42,69	1,22	1,00	1,00
653		129	155	305	275	1,48	17,6	1,78	143,3	29,52	1,72	26066	61,90	74,95	74,95	2,32	1,91	1,91
654		130	153	305	276	5,32	18,0	1,79	40,1	30,00	1,74	26242	36,69	44,41	44,41	1,09	0,90	0,90
655		131	151	305	274	2,48	18,1	1,85	49,6	30,12	1,74	26286	36,34	44,50	44,50	1,36	1,11	1,11
656		132	154	305	271	2,51	18,6	1,81	49,8	30,72	1,77	26502	36,84	44,61	44,61	1,35	1,12	1,12
657		133	154	305	273	4,97	19,9	1,81	38,5	32,28	1,82	27044	38,36	46,10	46,10	1,00	0,84	0,84
658		134	154	305	273	1,99	17,4	1,81	59,9	29,28	1,71	25977	45,16	55,09	55,09	1,33	1,09	1,09
659		135	149	305	274	1,98	17,4	1,86	76,8	29,28	1,71	25977	44,07	54,31	54,31	1,74	1,41	1,41
660		141	151	305	270	2,01	19,3	0,81	48,7	31,56	1,80	26797	45,58	39,99	45,58	1,07	1,22	1,07
661		142	156	305	276	1,97	19,3	0,77	58,3	31,56	1,80	26797	49,11	42,19	49,11	1,19	1,38	1,19
662		143	154	305	274	3,96	17,7	0,74	30,2	29,64	1,72	26110	36,37	31,07	36,37	0,83	0,97	0,83
663		147	152	305	287	2,36	16,8	0,70	42,3	28,56	1,68	25705	38,86	32,65	38,86	1,09	1,30	1,09
664		148	152	305	274	1,49	19,9	0,79	79,9	32,28	1,82	27044	63,76	55,16	63,76	1,25	1,45	1,25
665		149	153	305	272	2,50	18,0	0,78	43,7	30,00	1,74	26242	36,16	31,51	36,16	1,21	1,39	1,21
666		150	153	305	273	2,48	18,0	0,77	46,2	30,00	1,74	26242	36,59	31,71	36,59	1,26	1,46	1,26
667		151	154	305	273	2,49	19,3	0,78	35,6	31,56	1,80	26797	37,94	32,77	37,94	0,94	1,09	0,94
668		152	149	305	270	3,02	19,7	0,79	32,5	32,04	1,82	26963	36,52	31,64	36,52	0,89	1,03	0,89
669		153	152	305	273	2,99	19,7	0,76	32,8	32,04	1,82	26963	37,67	32,11	37,67	0,87	1,02	0,87
670		162	153	305	272	1,99	34,3	0,77	59,0	50,76	2,47	31843	64,51	51,55	64,51	0,91	1,14	0,91
671		163	156	305	273	2,49	35,4	0,76	40,5	52,73	2,53	32146	54,11	42,83	54,11	0,75	0,95	0,75
672		164	156	305	271	4,00	33,8	0,73	35,8	50,16	2,45	31703	51,75	40,51	51,75	0,69	0,88	0,69
673		166	152	305	271	3,01	35,4	0,78	40,3	52,73	2,53	32146	52,13	41,72	52,13	0,77	0,97	0,77
674		174	153	305	272	0,99	36,4	0,51	106,5	54,05	2,57	32416	135,21	89,79	135,21	0,79	1,19	0,79
675		178	153	305	269	1,51	34,5	0,52	67,2	51,00	2,48	31898	84,34	56,88	84,34	0,80	1,18	0,80
676		179	153	305	264	2,57	32,3	0,53	33,6	48,36	2,39	31274	48,25	33,10	48,25	0,70	1,02	0,70
677		181	154	305	272	2,00	33,9	1,79	65,2	50,28	2,45	31731	64,20	72,30	72,30	1,02	0,90	0,90
678		182	155	305	268	5,05	33,9	1,80	48,8	50,28	2,45	31731	50,93	57,48	57,48	0,96	0,85	0,85
679		184	154	305	271	1,50	35,1	1,80	163,3	52,33	2,52	32064	87,58	98,46	98,46	1,86	1,66	1,66

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CH2} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CH2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$
680		186	155	305	272	3,99	35,1	1,78	55,4	52,33	2,52	32064	53,09	59,42	59,42	1,04	0,93	0,93
681		188	153	305	277	1,96	33,1	1,76	92,6	49,32	2,42	31504	65,43	73,42	73,42	1,42	1,26	1,26
682		191	154	305	275	2,96	34,0	1,80	53,1	50,40	2,46	31759	52,01	58,68	58,68	1,02	0,90	0,90
683		193	153	305	278	2,44	34,6	1,80	56,7	51,12	2,48	31926	54,02	60,83	60,83	1,05	0,93	0,93
684		194	154	305	278	2,93	34,6	1,80	51,2	51,12	2,48	31926	53,07	59,76	59,76	0,96	0,86	0,86
685		195	153	305	275	3,94	34,6	1,82	47,3	51,12	2,48	31926	52,16	58,98	58,98	0,91	0,80	0,80
686		196	154	305	269	5,05	36,2	1,85	51,2	53,78	2,56	32362	53,12	60,14	60,14	0,96	0,85	0,85
687		197	150	305	274	2,48	36,0	1,84	60,1	53,52	2,56	32308	52,96	59,86	59,86	1,13	1,00	1,00
688		199	152	305	273	1,99	36,0	1,83	76,8	53,52	2,56	32308	66,63	75,16	75,16	1,15	1,02	1,02
689		201	155	305	274	0,99	35,2	2,65	253,7	52,46	2,52	32091	135,27	175,65	175,65	1,88	1,44	1,44
690		202	154	305	273	5,97	33,9	2,68	49,9	50,28	2,45	31731	51,55	67,48	67,48	0,97	0,74	0,74
691		204	152	305	275	1,97	34,8	2,69	147,1	51,36	2,49	31981	65,96	86,23	86,23	2,23	1,71	1,71
692		205	153	305	275	1,98	35,2	2,66	125,5	52,46	2,52	32091	67,01	87,13	87,13	1,87	1,44	1,44
693		206	152	305	270	2,51	35,2	2,73	100,3	52,46	2,52	32091	51,76	67,94	67,94	1,94	1,48	1,48
694		208	157	305	275	4,44	35,7	2,68	60,1	53,12	2,54	32227	54,91	71,48	71,48	1,09	0,84	0,84
695		210	154	305	272	2,50	35,2	2,67	79,0	52,46	2,52	32091	52,83	68,79	68,79	1,50	1,15	1,15
696		211	153	305	270	3,02	35,2	2,73	57,2	52,46	2,52	32091	52,10	68,39	68,39	1,10	0,84	0,84
697		212	155	305	273	2,98	35,2	2,66	60,5	52,46	2,52	32091	53,37	69,40	69,40	1,13	0,87	0,87
698		213	154	305	276	4,44	36,7	2,66	57,4	54,44	2,59	32495	54,95	71,13	71,13	1,04	0,81	0,81
699		214	153	305	272	2,50	36,0	2,71	82,0	53,52	2,56	32308	53,19	69,46	69,46	1,54	1,18	1,18
700		215	154	305	274	2,48	36,0	2,67	88,1	53,52	2,56	32308	54,37	70,62	70,62	1,62	1,25	1,25
701		246	153	305	274	3,47	27,6	0,51	25,4	42,72	2,20	29833	46,11	31,75	46,11	0,55	0,80	0,55
702		248	153	305	282	2,41	27,6	0,49	37,2	42,72	2,20	29833	49,23	33,31	49,23	0,76	1,12	0,76
703		249	153	305	276	0,98	28,0	0,49	104,1	43,20	2,22	29962	119,37	80,62	119,37	0,87	1,29	0,87
704		250	152	305	274	1,49	28,0	0,50	62,8	43,20	2,22	29962	77,43	52,76	77,43	0,81	1,19	0,81
705		251	154	305	276	1,97	26,2	0,48	41,9	41,04	2,14	29371	57,76	39,00	57,76	0,73	1,07	0,73
706		265	153	305	269	1,51	18,1	0,52	53,0	30,12	1,74	26286	59,37	43,55	59,37	0,89	1,22	0,89
707		266	153	305	272	2,48	18,1	0,50	32,5	30,12	1,74	26286	36,55	26,36	36,55	0,89	1,23	0,89
708		267	153	305	269	3,53	20,7	0,52	24,5	33,24	1,86	27366	38,29	27,61	38,29	0,64	0,89	0,64
709		268	153	305	275	2,96	20,1	0,49	27,2	32,52	1,83	27126	38,58	27,21	38,58	0,71	1,00	0,71
710		269	154	305	274	0,99	18,1	0,49	89,0	30,12	1,74	26286	92,84	66,37	92,84	0,96	1,34	0,96
711		270	152	305	273	1,99	20,1	0,50	41,4	32,52	1,83	27126	47,80	34,01	47,80	0,87	1,22	0,87
712		271	611	305	269	6,07	27,0	2,75	217,2	42,00	2,17	29637	178,73	241,98	241,98	1,22	0,90	0,90
713		272	611	305	271	5,02	27,0	2,73	227,8	42,00	2,17	29637	180,06	243,15	243,15	1,27	0,94	0,94
714		273	612	305	271	4,01	27,2	2,72	206,2	42,24	2,18	29703	181,04	243,96	243,96	1,14	0,85	0,85
715		274	612	305	270	3,02	27,2	2,73	250,2	42,24	2,18	29703	180,37	243,38	243,38	1,39	1,03	1,03

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CH2} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CH2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$
716		162'	154	305	267	2,03	34,3	0,76	62,1	50,76	2,47	31843	62,48	49,65	62,48	0,99	1,25	0,99
717		163'	152	305	272	2,50	35,4	0,78	38,0	52,73	2,53	32146	52,32	41,87	52,32	0,73	0,91	0,73
718		166'	154	305	274	2,97	35,4	0,76	38,3	52,73	2,53	32146	53,40	42,27	53,40	0,72	0,91	0,72
719	Rajagopalan & Ferguson (1968)	S-1	154	311	259	3,93	36,6	1,43	35,6	54,31	2,58	32469	51,48	52,63	52,63	0,69	0,68	0,68
720		S-2	154	311	265	3,83	33,1	0,98	37,4	49,32	2,42	31504	49,40	43,86	49,40	0,76	0,85	0,76
721		S-3	152	311	267	4,19	29,0	0,81	31,1	44,40	2,26	30279	45,80	38,19	45,80	0,68	0,81	0,68
722		S-4	152	311	268	4,17	33,1	0,63	28,0	49,32	2,42	31504	49,31	36,34	49,31	0,57	0,77	0,57
723		S-13	152	311	265	4,22	23,7	1,73	40,0	38,04	2,04	28500	41,00	47,49	47,49	0,98	0,84	0,84
724		S-14	151	349	269	4,16	29,8	0,63	25,0	45,36	2,29	30527	46,50	34,73	46,50	0,54	0,72	0,54
725	Bhal (1968)	B1	240	350	297	3,03	23,2	1,26	70,7	37,44	2,01	28318	71,80	73,70	73,70	0,98	0,96	0,96
726		B2	240	650	600	3,00	29,6	1,26	119,5	45,12	2,28	30466	164,25	163,77	164,25	0,73	0,73	0,73
727		B5	240	650	600	3,00	26,6	0,63	106,2	41,52	2,16	29504	155,40	117,78	155,40	0,68	0,90	0,68
728		B6	240	650	600	3,00	24,7	0,63	114,1	39,24	2,08	28856	149,65	114,51	149,65	0,76	1,00	0,76
729	Taylor (1968)	1A	203	406	370	3,02	28,9	1,03	61,8	44,28	2,25	30248	84,61	77,97	84,61	0,73	0,79	0,73
730		2A	203	406	370	3,02	33,2	1,55	91,6	49,44	2,42	31533	91,06	97,22	97,22	1,01	0,94	0,94
731		1B	203	406	370	3,02	28,9	1,03	75,6	44,28	2,25	30248	84,61	77,97	84,61	0,89	0,97	0,89
732		2B	203	406	370	3,02	33,2	1,55	100,5	49,44	2,42	31533	91,06	97,22	97,22	1,10	1,03	1,03
733		3B	203	406	370	3,02	31,6	1,03	76,1	47,52	2,36	31069	88,69	80,84	88,69	0,86	0,94	0,86
734		5A	203	406	370	2,47	29,9	1,03	80,5	45,48	2,29	30558	87,18	80,00	87,18	0,92	1,01	0,92
735		5B	203	406	370	2,47	29,9	1,03	80,5	45,48	2,29	30558	87,18	80,00	87,18	0,92	1,01	0,92
736	Mattock (1969)	1	152	305	254	3,00	17,1	1,03	36,5	28,92	1,70	25842	32,74	32,16	32,74	1,11	1,13	1,11
737		3	152	305	254	3,00	46,9	1,03	54,7	67,91	3,00	34976	57,84	50,20	57,84	0,95	1,09	0,95
738		10	152	305	254	3,00	18,6	3,10	56,0	30,72	1,77	26502	34,08	50,00	50,00	1,64	1,12	1,12
739		15	152	305	254	5,40	25,9	1,03	31,1	40,68	2,13	29269	41,10	38,39	41,10	0,76	0,81	0,76
740		18	152	305	254	5,40	18,1	2,07	35,6	30,12	1,74	26286	33,64	42,93	42,93	1,06	0,83	0,83
741		22	152	305	254	5,40	16,1	3,10	40,0	27,72	1,65	25379	31,83	47,37	47,37	1,26	0,84	0,84
742		24	152	305	254	5,40	29,2	3,10	52,5	44,64	2,27	30342	43,73	61,23	61,23	1,20	0,86	0,86
743		Swamy, Andriopoulous, Adepegba(1970)	1	102	152	127	1,50	26,5	1,64	70,5	41,40	2,15	29471	23,25	26,05	26,05	3,03	2,71
744	3		152	229	197	2,50	26,8	1,70	54,7	41,76	2,17	29571	32,44	36,80	36,80	1,69	1,49	1,49
745	6		102	152	127	3,50	26,5	1,64	20,7	41,40	2,15	29471	13,95	15,63	15,63	1,48	1,32	1,32
746	8		102	152	127	4,50	26,5	1,64	19,3	41,40	2,15	29471	13,95	15,63	15,63	1,38	1,23	1,23
747	Placas and Regan (ACI Sept 71) (1971)	R1	152	305	272	3,36	26,2	0,98	44,9	41,04	2,14	29371	44,27	40,46	44,27	1,01	1,11	1,01
748		R2	152	305	272	3,36	26,2	1,46	47,1	41,04	2,14	29371	44,27	47,47	47,47	1,06	0,99	0,99
749		R3	152	305	272	3,36	24,8	1,46	44,9	39,36	2,08	28891	43,06	46,47	46,47	1,04	0,97	0,97
750		R7	152	305	272	3,36	28,1	1,46	54,3	43,32	2,22	29994	45,90	48,81	48,81	1,18	1,11	1,11
751		D2	152	305	272	3,36	30,3	1,46	52,5	45,96	2,31	30680	47,74	50,33	50,33	1,10	1,04	1,04

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CH2} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CH2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$
752		T2	610	305	272	3,36	28,1	1,46	54,7	43,32	2,22	29994	45,90	48,81	48,81	1,19	1,12	1,12
753		T18	610	305	254	3,60	28,4	4,16	74,7	43,68	2,23	30090	43,10	66,83	66,83	1,73	1,12	1,12
754	Manuel, Slight and Suter (ACI Dec 71) (1971)	1	102	457	406	0,30	33,8	0,97	444,8	50,16	2,45	31703	422,43	372,53	422,43	1,05	1,19	1,05
755		2	102	457	406	0,30	35,2	0,97	444,8	52,46	2,52	32091	435,27	381,92	435,27	1,02	1,16	1,02
756		3	102	457	406	0,30	30,1	0,97	367,0	45,72	2,30	30619	397,12	355,28	397,12	0,92	1,03	0,92
757		4	102	457	406	0,30	31,9	0,97	400,3	47,88	2,37	31157	409,53	363,76	409,53	0,98	1,10	0,98
758	Batson, Jenkins and Spatney (ACI Oct 72) (1972)	A1	102	152	127	4,80	34,7	3,10	19,2	51,24	2,48	31954	16,08	22,12	22,12	1,19	0,87	0,87
759		A2	102	152	127	4,80	34,7	3,10	18,8	51,24	2,48	31954	16,08	22,12	22,12	1,17	0,85	0,85
760		A3	102	152	127	4,80	34,7	3,10	20,7	51,24	2,48	31954	16,08	22,12	22,12	1,29	0,94	0,94
761	Smith (1970)	8/0	150	230	200	3,05	28,0	2,01	49,4	43,20	2,22	29962	33,24	39,98	39,98	1,49	1,24	1,24
762		10/0	150	230	200	3,81	34,5	2,01	43,9	51,00	2,48	31898	37,13	43,62	43,62	1,18	1,01	1,01
763		12/0	150	230	200	4,58	36,2	2,01	46,3	53,78	2,56	32362	38,47	44,95	44,95	1,20	1,03	1,03
764	Taylor (1972)	B1	200	500	465	3,01	24,2	1,35	104,3	38,64	2,06	28679	95,66	100,41	100,41	1,09	1,04	1,04
765		B2	200	500	465	3,01	22,0	1,35	87,3	36,00	1,96	27871	91,26	96,87	96,87	0,96	0,90	0,90
766		B3	200	500	465	3,01	28,4	1,35	85,3	43,68	2,23	30090	103,81	106,92	106,92	0,82	0,80	0,80
767		C1	100	250	233	3,00	22,7	1,35	22,5	36,84	1,99	28134	23,22	24,55	24,55	0,97	0,92	0,92
768		C2	100	250	233	3,00	22,7	1,35	24,0	36,84	1,99	28134	23,22	24,55	24,55	1,03	0,98	0,98
769		C3	100	250	233	3,00	24,4	1,35	27,5	38,88	2,07	28750	24,07	25,24	25,24	1,14	1,09	1,09
770		C4	100	250	233	3,00	18,5	1,35	22,5	30,60	1,76	26459	20,52	22,22	22,22	1,10	1,01	1,01
771		C5	100	250	233	3,00	19,9	1,35	27,0	32,28	1,82	27044	21,26	22,83	22,83	1,27	1,18	1,18
772		C6	100	250	233	3,00	25,6	1,35	27,5	40,32	2,12	29167	24,66	25,71	25,71	1,12	1,07	1,07
773		D1	60	150	139	3,02	28,4	1,35	11,6	43,68	2,23	30090	9,31	9,59	9,59	1,25	1,21	1,21
774		D2	60	150	139	3,02	28,4	1,35	12,1	43,68	2,23	30090	9,31	9,59	9,59	1,30	1,26	1,26
775		D3	60	150	139	3,02	28,4	1,35	10,6	43,68	2,23	30090	9,31	9,59	9,59	1,14	1,11	1,11
776		D4	60	150	139	3,02	28,4	1,35	11,4	43,68	2,23	30090	9,31	9,59	9,59	1,22	1,19	1,19
777		Manuel (1974)	1	102	457	406	0,25	31,7	0,63	389,2	47,64	2,37	31099	489,80	362,96	489,80	0,79	1,07
778	4		102	457	406	0,25	31,7	0,97	453,7	47,64	2,37	31099	489,80	435,39	489,80	0,93	1,04	0,93
779	5		102	457	406	0,50	31,7	0,97	402,5	47,64	2,37	31099	244,90	217,69	244,90	1,64	1,85	1,64
780	7		102	457	406	0,50	36,9	1,38	487,1	54,71	2,59	32548	268,56	270,43	270,43	1,81	1,80	1,80
781	10		102	457	406	0,90	38,1	1,88	293,6	56,29	2,64	32862	152,07	172,19	172,19	1,93	1,71	1,71
782	11		102	457	406	1,06	32,3	1,88	273,6	48,36	2,39	31274	116,68	134,65	134,65	2,34	2,03	2,03
783	Cederwall, Hedman (1974)	734-34	135	260	234	3,42	31,5	1,07	41,4	47,40	2,36	31040	37,24	34,49	37,24	1,11	1,20	1,11
784		734-40	135	260	234	2,56	27,0	1,08	40,9	42,00	2,17	29637	34,35	32,55	34,35	1,19	1,26	1,19
785	Hamadi and Regan (1980)	G1	100	400	370	3,39	30,3	1,70	44,5	45,96	2,31	30680	42,73	47,79	47,79	1,04	0,93	0,93
786		G2	100	400	372	3,37	23,5	1,08	41,0	37,80	2,03	28428	37,71	36,33	37,71	1,09	1,13	1,09

№	Автор	Образец	<i>b</i> (мм)	<i>h</i> (мм)	<i>h₀</i> (мм)	<i>a/h₀</i>	<i>f'_c</i> (МПа)	<i>μ_s</i> (%)	<i>Q_{exp}</i> (кН)	<i>R_m</i> (МПа)	<i>R_{btm}</i> (МПа)	<i>E_b</i> (МПа)	<i>Q_{СП2}</i> (кН)	<i>Q_{MT1}</i> (кН)	<i>Q_{MT2}</i> (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{СП2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$
787	Marti, Pralong, Thurlimann (1977)	PS11	400	180	162	3,95	29,6	1,38	97,1	45,12	2,28	30466	73,91	76,41	76,41	1,31	1,27	1,27
788	Reineck; Koch; Schlaich (1978)	N8	500	250	226	3,50	25,8	0,79	101,5	40,56	2,12	29235	120,06	100,54	120,06	0,85	1,01	0,85
789		N6	500	250	226	2,50	25,8	0,79	117,5	40,56	2,12	29235	120,06	100,54	120,06	0,98	1,17	0,98
790		N7	500	250	225	2,50	24,6	1,39	139,5	39,12	2,07	28821	116,68	123,64	123,64	1,20	1,13	1,13
791	Kani Continuous (1979)	804	153	305	275	6,91	37,3	2,69	48,5	55,24	2,61	32654	54,92	71,25	71,25	0,88	0,68	0,68
792		802	152	305	276	5,92	34,5	2,68	50,7	51,00	2,48	31898	51,92	67,85	67,85	0,98	0,75	0,75
793		801	152	305	272	4,00	34,8	2,69	54,3	51,36	2,49	31981	51,41	67,20	67,20	1,06	0,81	0,81
794		803	153	305	275	2,97	35,2	2,70	54,7	52,46	2,52	32091	53,07	69,38	69,38	1,03	0,79	0,79
795		805	152	305	272	2,51	35,7	2,76	64,5	53,12	2,54	32227	52,58	69,18	69,18	1,23	0,93	0,93
796		806	152	305	272	2,00	35,7	2,77	69,8	53,12	2,54	32227	65,73	86,59	86,59	1,06	0,81	0,81
797		807	152	305	275	1,48	36,2	2,75	88,5	53,78	2,56	32362	90,55	118,79	118,79	0,98	0,74	0,74
798		808	152	305	275	0,99	36,2	2,75	123,7	53,78	2,56	32362	135,36	177,59	177,59	0,91	0,70	0,70
799	Fukuhara, Kokusho (1980)	(1)-1	180	400	340	1,76	23,6	3,20	97,5	37,92	2,03	28464	88,31	127,81	127,81	1,10	0,76	0,76
800		(2)-1	180	400	340	1,76	31,8	3,20	104,6	47,76	2,37	31128	102,99	144,54	144,54	1,02	0,72	0,72
801		(2)-2	180	400	340	1,76	31,8	3,20	101,0	47,76	2,37	31128	102,99	144,54	144,54	0,98	0,70	0,70
802		(3)-1	180	400	340	2,35	23,6	3,20	81,1	37,92	2,03	28464	66,14	95,72	95,72	1,23	0,85	0,85
803		(4)-1	180	400	340	1,76	19,5	3,20	85,7	31,80	1,81	26880	78,53	115,89	115,89	1,09	0,74	0,74
804		(4)-2	180	400	340	1,76	19,5	3,20	104,6	31,80	1,81	26880	78,53	115,89	115,89	1,33	0,90	0,90
805	Chana (1981)	2.1a	203	406	356	3,00	49,3	1,69	96,0	71,08	3,09	35504	111,60	117,66	117,66	0,86	0,82	0,82
806		2.1b	203	406	356	3,00	49,3	1,69	97,1	71,08	3,09	35504	111,60	117,66	117,66	0,87	0,83	0,83
807		2.2a	203	406	356	3,00	41,6	1,69	87,4	60,91	2,79	33740	100,69	108,29	108,29	0,87	0,81	0,81
808		2.2b	203	406	356	3,00	41,6	1,69	94,4	60,91	2,79	33740	100,69	108,29	108,29	0,94	0,87	0,87
809		2.3a	203	406	356	3,00	45,2	1,69	99,4	65,66	2,93	34591	105,86	112,75	112,75	0,94	0,88	0,88
810		2.3b	203	406	356	3,00	45,2	1,69	96,4	65,66	2,93	34591	105,86	112,75	112,75	0,91	0,85	0,85
811		3.1a	100	203	177	3,00	34,5	1,74	23,8	51,00	2,48	31898	21,91	24,36	24,36	1,09	0,98	0,98
812		3.1b	100	203	177	3,00	34,5	1,74	23,9	51,00	2,48	31898	21,91	24,36	24,36	1,09	0,98	0,98
813		3.2a	100	203	177	3,00	36,8	1,74	24,5	54,58	2,59	32522	22,92	25,29	25,29	1,07	0,97	0,97
814		3.2b	100	203	177	3,00	36,8	1,74	25,5	54,58	2,59	32522	22,92	25,29	25,29	1,11	1,01	1,01
815		3.3a	100	203	177	3,00	40,1	1,74	26,5	58,93	2,73	33371	24,12	26,36	26,36	1,10	1,01	1,01
816		3.3b	100	203	177	3,00	40,1	1,74	23,2	58,93	2,73	33371	24,12	26,36	26,36	0,96	0,88	0,88
817		D1	100	203	177	3,00	31,6	1,74	22,1	47,52	2,36	31069	20,90	23,47	23,47	1,06	0,94	0,94
818		D2	100	203	177	3,00	32,4	1,74	23,4	48,48	2,39	31303	21,18	23,72	23,72	1,10	0,99	0,99
819		D3	100	203	177	3,00	44,7	1,74	21,4	65,00	2,91	34476	25,75	27,78	27,78	0,83	0,77	0,77
820		4.1a	60	127	106	3,00	30,9	1,72	9,8	46,68	2,33	30861	7,42	8,32	8,32	1,32	1,18	1,18
821		4.1b	60	127	106	3,00	30,9	1,72	8,7	46,68	2,33	30861	7,42	8,32	8,32	1,17	1,05	1,05

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CH2} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CH2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$	
822		4.2a	60	127	106	3,00	30,9	1,72	9,0	46,68	2,33	30861	7,42	8,32	8,32	1,21	1,08	1,08	
823		4.2b	60	127	106	3,00	30,9	1,72	9,7	46,68	2,33	30861	7,42	8,32	8,32	1,31	1,17	1,17	
824		4.3a	60	127	106	3,00	52,2	1,72	11,7	74,90	3,20	36118	10,17	10,72	10,72	1,15	1,09	1,09	
825		4.3b	60	127	106	3,00	52,2	1,72	12,4	74,90	3,20	36118	10,17	10,72	10,72	1,22	1,16	1,16	
826		4.4a	60	127	106	3,00	52,2	1,72	9,6	74,90	3,20	36118	10,17	10,72	10,72	0,94	0,90	0,90	
827		4.4b	60	127	106	3,00	52,2	1,72	10,5	74,90	3,20	36118	10,17	10,72	10,72	1,03	0,98	0,98	
828		5.1a	200	203	170	3,00	40,3	1,80	47,8	59,20	2,73	33421	46,48	51,42	51,42	1,03	0,93	0,93	
829		5.1b	200	203	170	3,00	40,3	1,80	47,8	59,20	2,73	33421	46,48	51,42	51,42	1,03	0,93	0,93	
830		5.2a	200	203	170	3,00	39,6	1,80	55,0	58,27	2,71	33245	45,99	50,99	50,99	1,20	1,08	1,08	
831		5.2b	200	203	170	3,00	39,6	1,80	56,0	58,27	2,71	33245	45,99	50,99	50,99	1,22	1,10	1,10	
832		6.1	23	51	42	3,01	35,8	1,70	2,1	53,26	2,55	32254	1,23	1,35	1,35	1,71	1,56	1,56	
833		6.2	23	51	42	3,01	38,0	1,70	1,9	56,16	2,64	32837	1,27	1,39	1,39	1,49	1,37	1,37	
834		6.3	23	51	42	3,01	39,1	1,70	2,1	57,61	2,69	33119	1,30	1,41	1,41	1,62	1,49	1,49	
835		6.5	23	51	42	3,01	46,9	1,70	2,6	67,91	3,00	34976	1,45	1,54	1,54	1,80	1,69	1,69	
836		6.7	23	51	42	3,01	43,1	1,70	2,4	62,89	2,85	34101	1,37	1,48	1,48	1,75	1,63	1,63	
837		6.8	23	51	42	3,01	42,6	1,70	2,2	62,23	2,83	33982	1,37	1,47	1,47	1,61	1,50	1,50	
838		6.9	23	51	42	3,01	45,0	1,70	2,3	65,40	2,92	34545	1,41	1,51	1,51	1,63	1,53	1,53	
839		Niwa, Maekawa, Okamura (1981)	T1	100	300	228	0,88	35,8	6,00	314,5	53,26	2,55	32254	82,52	140,45	140,45	3,81	2,24	2,24
840			T3	100	300	228	0,88	13,1	3,00	114,0	24,12	1,50	23856	48,67	73,14	73,14	2,34	1,56	1,56
841			T4	100	600	507	0,30	13,1	3,00	212,5	24,12	1,50	23856	317,43	477,10	477,10	0,67	0,45	0,45
842	T6		100	600	507	0,30	35,8	6,00	577,5	53,26	2,55	32254	538,25	916,16	916,16	1,07	0,63	0,63	
843	Smith and Vantsiot (1982)	0A0-44	102	356	305	0,77	20,5	1,93	141,8	33,00	1,85	27287	93,53	114,74	114,74	1,52	1,24	1,24	
844		0A0-48	102	356	305	0,77	20,9	1,93	136,1	33,48	1,87	27445	94,43	115,60	115,60	1,44	1,18	1,18	
845		0B0-49	102	356	305	1,01	21,7	1,93	149,0	35,64	1,95	27756	75,06	91,50	91,50	1,99	1,63	1,63	
846		0C0-50	102	356	305	1,34	20,7	1,93	115,6	33,24	1,86	27366	54,00	66,18	66,18	2,14	1,75	1,75	
847		0D0-47	102	356	305	2,01	19,5	1,93	73,4	31,80	1,81	26880	34,95	43,12	43,12	2,10	1,70	1,70	
848	Mphonde & Frantz (1984)	AO-3-3b	152	337	298	3,57	21,3	3,34	64,6	35,16	1,93	27602	43,75	64,92	64,92	1,48	1,00	1,00	
849		AO-3-3c	152	337	298	3,57	27,8	2,33	66,8	42,96	2,21	29898	50,00	63,58	63,58	1,34	1,05	1,05	
850		AO-7-3a	152	337	298	3,57	38,6	3,34	82,2	56,95	2,66	32991	60,35	84,24	84,24	1,36	0,98	0,98	
851		AO-7-3b	152	337	298	3,57	42,7	3,34	82,8	62,36	2,83	34006	64,11	88,55	88,55	1,29	0,94	0,94	
852		AO-3-2	152	337	298	2,48	21,1	3,34	77,8	34,92	1,92	27524	43,90	65,21	65,21	1,77	1,19	1,19	
853		AO-7-2	152	337	298	2,48	46,3	3,34	117,9	67,12	2,97	34842	67,87	92,95	92,95	1,74	1,27	1,27	
854		AO-3-1	152	337	298	1,50	23,1	3,34	116,1	37,32	2,01	28282	75,88	111,67	111,67	1,53	1,04	1,04	
855		AO-7-1	152	337	298	1,50	41,8	3,34	311,5	61,18	2,79	33789	105,49	146,03	146,03	2,95	2,13	2,13	
856	Elzanaty, Nilson, Slate (1984)	F7	178	305	268	4,00	20,7	0,60	33,7	33,24	1,86	27366	44,39	34,02	44,39	0,76	0,99	0,76	
857		F11	178	305	270	4,00	20,7	1,19	45,3	33,24	1,86	27366	44,72	45,48	45,48	1,01	1,00	1,00	

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CH2} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CH2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$
858		F12	178	305	268	4,00	20,7	2,44	55,7	33,24	1,86	27366	44,39	59,24	59,24	1,25	0,94	0,94
859		F8	178	305	273	4,00	40,0	0,93	46,4	58,80	2,72	33346	66,13	56,12	66,13	0,70	0,83	0,70
860		F13	178	305	270	4,00	40,0	1,19	46,6	58,80	2,72	33346	65,41	61,44	65,41	0,71	0,76	0,71
861		F14	178	305	268	4,00	40,0	2,44	65,7	58,80	2,72	33346	64,92	80,65	80,65	1,01	0,81	0,81
862	Kung R.(1985)	C	140	230	200	2,50	19,8	0,56	26,5	32,16	1,82	27004	25,48	19,08	25,48	1,04	1,39	1,04
863		D	140	230	200	2,50	18,9	0,81	30,5	31,08	1,78	26629	24,91	21,91	24,91	1,22	1,39	1,22
864		E	140	230	200	2,50	18,9	1,10	43,0	31,08	1,78	26629	24,91	24,82	24,91	1,73	1,73	1,73
865		F	140	230	200	2,50	18,9	1,82	54,0	31,08	1,78	26629	24,91	30,17	30,17	2,17	1,79	1,79
866		E-1	140	230	200	2,50	20,1	1,10	40,4	32,52	1,83	27126	25,67	25,40	25,67	1,57	1,59	1,57
867	Rogowsky (1986)	BM1/2.0/T1	200	500	455	2,20	43,2	0,88	177,0	63,02	2,85	34125	147,39	121,03	147,39	1,20	1,46	1,20
868	Muruyama, Iwabuchi (1986)	N1	200	250	250	2,50	47,1	1,55	97,1	68,17	3,00	35021	75,10	76,92	76,92	1,29	1,26	1,26
869		N2	200	250	250	2,50	51,0	1,55	83,4	73,32	3,15	35867	78,83	79,99	79,99	1,06	1,04	1,04
870		NP1	200	250	250	3,10	47,2	3,18	87,3	68,30	3,01	35043	75,19	101,00	101,00	1,16	0,86	0,86
871		NP2	200	250	250	3,10	47,3	3,18	112,8	68,44	3,01	35066	75,29	101,11	101,11	1,50	1,12	1,12
872		NP3	200	250	250	3,10	49,2	3,18	95,2	70,94	3,08	35482	77,12	103,13	103,13	1,23	0,92	0,92
873		NS1	200	250	250	3,00	45,5	2,57	93,2	66,06	2,94	34660	73,54	91,80	91,80	1,27	1,02	1,02
874		NS2	200	250	250	3,00	46,8	2,57	91,2	67,78	2,99	34954	74,80	93,10	93,10	1,22	0,98	0,98
875		NS3	200	250	250	3,00	49,1	3,18	86,3	70,81	3,08	35461	77,02	103,02	103,02	1,12	0,84	0,84
876		NS4	200	250	250	3,00	50,5	3,18	82,4	72,66	3,13	35761	78,36	104,49	104,49	1,05	0,79	0,79
877		NL1	200	250	250	4,00	46,9	2,57	91,2	67,91	3,00	34976	74,90	93,20	93,20	1,22	0,98	0,98
878		NL2	200	250	250	4,00	43,9	2,57	80,4	63,95	2,88	34290	71,96	90,19	90,19	1,12	0,89	0,89
879		NL3	200	250	250	4,00	43,5	2,57	83,4	63,42	2,86	34196	71,56	89,79	89,79	1,17	0,93	0,93
880		NL4	200	250	250	4,00	47,9	3,18	89,3	69,23	3,03	35198	75,87	101,75	101,75	1,18	0,88	0,88
881		NL5	200	250	250	4,00	47,1	3,18	91,2	68,17	3,00	35021	75,10	100,89	100,89	1,21	0,90	0,90
882		Mansur, Ong , Paramasivam (1986)	A1	150	225	200	2,00	24,2	1,34	60,0	38,64	2,06	28679	38,57	40,37	40,37	1,56	1,49
883	A2		150	225	200	2,80	24,2	1,34	45,0	38,64	2,06	28679	30,86	32,30	32,30	1,46	1,39	1,39
884	A3		150	225	200	3,60	24,2	1,34	38,5	38,64	2,06	28679	30,86	32,30	32,30	1,25	1,19	1,19
885	A4		150	225	200	4,40	24,2	1,34	33,8	38,64	2,06	28679	30,86	32,30	32,30	1,10	1,05	1,05
886	Lehwalter (1988)	V611	250	200	160	0,50	19,9	0,85	221,0	32,28	1,82	27044	182,49	162,72	182,49	1,21	1,36	1,21
887		V811	250	200	160	1,50	20,6	1,90	140,0	33,12	1,86	27326	61,88	75,43	75,43	2,26	1,86	1,86
888	Regan and Rezai-Jorabi (1988)	1	400	100	83	5,42	37,8	1,66	62,5	55,90	2,63	32785	43,68	47,18	47,18	1,43	1,32	1,32
889		2	600	100	83	5,42	37,8	1,58	85,0	55,90	2,63	32785	65,52	69,41	69,41	1,30	1,22	1,22
890		4	400	100	83	5,42	28,1	1,66	54,5	43,32	2,22	29994	36,86	41,20	41,20	1,48	1,32	1,32
891		5	600	100	83	5,42	28,1	1,58	80,0	43,32	2,22	29994	55,28	60,64	60,64	1,45	1,32	1,32
892		10	400	100	83	5,42	33,4	1,66	52,5	49,68	2,43	31590	40,38	44,25	44,25	1,30	1,19	1,19
893		11	400	100	83	5,42	33,4	1,66	55,0	49,68	2,43	31590	40,38	44,25	44,25	1,36	1,24	1,24

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CH2} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CH2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$	
894		12	600	100	83	5,42	33,4	1,58	76,0	49,68	2,43	31590	60,57	65,11	65,11	1,25	1,17	1,17	
895		13	600	100	83	5,42	33,4	1,58	79,5	49,68	2,43	31590	60,57	65,11	65,11	1,31	1,22	1,22	
896	Shioya (1989)	UB-6-1.3-0	300	240	200	1,50	23,5	1,33	80,4	37,80	2,03	28428	101,37	106,14	106,14	0,79	0,76	0,76	
897		UB-8-1.3-0	300	240	200	2,00	22,7	1,33	84,6	36,84	1,99	28134	74,73	78,57	78,57	1,13	1,08	1,08	
898		UB-8-2.0-0	300	240	200	2,00	22,9	1,99	102,6	37,08	2,00	28208	75,06	91,99	91,99	1,37	1,12	1,12	
899		UB-10-1.3-0	300	240	200	2,50	20,1	1,33	64,8	32,52	1,83	27126	55,02	58,68	58,68	1,18	1,10	1,10	
900	Adebar and Collins (1989)	ST1	360	310	278	2,88	52,5	1,57	127,5	75,30	3,21	36180	160,62	163,24	163,24	0,79	0,78	0,78	
901		ST2	360	310	278	2,88	52,5	1,57	118,7	75,30	3,21	36180	160,62	163,24	163,24	0,74	0,73	0,73	
902		ST3	290	310	278	2,88	49,3	1,95	107,7	71,08	3,09	35504	124,50	138,78	138,78	0,87	0,78	0,78	
903		ST16	290	210	178	4,49	51,5	3,04	75,1	73,98	3,17	35972	81,87	107,20	107,20	0,92	0,70	0,70	
904		ST17	290	410	378	2,12	51,5	1,37	118,9	73,98	3,17	35972	205,03	197,75	205,03	0,58	0,60	0,58	
905	Bazant and Kazemi (1991)	BK2.1	38	51	41	3,00	46,2	1,62	2,9	66,98	2,97	34819	2,31	2,42	2,42	1,25	1,20	1,20	
906		BK2.2	38	51	41	3,00	46,2	1,62	2,7	66,98	2,97	34819	2,31	2,42	2,42	1,17	1,12	1,12	
907		BK2.3	38	51	41	3,00	46,2	1,62	3,2	66,98	2,97	34819	2,31	2,42	2,42	1,38	1,32	1,32	
908		BK3.1	38	102	83	3,00	46,2	1,62	5,4	66,98	2,97	34819	4,68	4,89	4,89	1,15	1,10	1,10	
909		BK3.2	38	102	83	3,00	46,2	1,62	5,0	66,98	2,97	34819	4,68	4,89	4,89	1,07	1,02	1,02	
910		BK3.3	38	102	83	3,00	46,2	1,62	4,5	66,98	2,97	34819	4,68	4,89	4,89	0,96	0,92	0,92	
911		BK4.1	38	203	165	3,00	46,2	1,62	7,3	66,98	2,97	34819	9,31	9,72	9,72	0,78	0,75	0,75	
912		BK4.2	38	203	165	3,00	46,2	1,62	8,4	66,98	2,97	34819	9,31	9,72	9,72	0,90	0,86	0,86	
913		BK4.3	38	203	165	3,00	46,2	1,62	8,3	66,98	2,97	34819	9,31	9,72	9,72	0,89	0,85	0,85	
914		BK2.1_2	38	51	41	3,00	46,8	1,65	3,2	67,78	2,99	34954	2,33	2,45	2,45	1,37	1,31	1,31	
915		BK2.2_2	38	51	41	3,00	46,8	1,65	3,0	67,78	2,99	34954	2,33	2,45	2,45	1,29	1,22	1,22	
916		BK2.3_2	38	51	41	3,00	46,8	1,65	3,1	67,78	2,99	34954	2,33	2,45	2,45	1,33	1,27	1,27	
917		BK3.1_2	38	102	83	3,00	46,8	1,65	5,5	67,78	2,99	34954	4,72	4,96	4,96	1,17	1,11	1,11	
918		BK3.2_2	38	102	83	3,00	46,8	1,65	5,6	67,78	2,99	34954	4,72	4,96	4,96	1,19	1,13	1,13	
919		BK3.3_2	38	102	83	3,00	46,8	1,65	5,2	67,78	2,99	34954	4,72	4,96	4,96	1,10	1,05	1,05	
920		BK4.1_2	38	203	165	3,00	46,8	1,65	9,1	67,78	2,99	34954	9,38	9,86	9,86	0,97	0,92	0,92	
921		BK4.2_2	38	203	165	3,00	46,8	1,65	9,8	67,78	2,99	34954	9,38	9,86	9,86	1,04	0,99	0,99	
922		BK4.3_2	38	203	165	3,00	46,8	1,65	10,1	67,78	2,99	34954	9,38	9,86	9,86	1,08	1,02	1,02	
923		Xie et al (1994)	NNN-1	127	254	216	1,00	47,0	2,07	155,7	68,04	3,00	34999	102,87	117,97	117,97	1,51	1,32	1,32
924			NNN-2	127	254	216	2,00	41,4	2,07	56,6	60,65	2,78	33692	47,64	55,43	55,43	1,19	1,02	1,02
925	NNN-3		127	254	216	3,00	39,7	2,07	36,7	58,40	2,71	33271	37,16	43,45	43,45	0,99	0,84	0,84	
926	Walraven & Lehwa (1994)	A1	200	150	125	3,00	22,9	0,83	31,5	37,08	2,00	28208	25,02	21,71	25,02	1,26	1,45	1,26	
927		A2	200	450	420	3,00	22,9	0,74	70,6	37,08	2,00	28208	84,06	69,53	84,06	0,84	1,02	0,84	
928		V011	250	400	360	1,00	16,1	1,13	226,0	27,72	1,65	25379	185,48	190,44	190,44	1,22	1,19	1,19	
929		V012	250	400	360	1,00	21,8	1,13	322,0	35,76	1,95	27795	219,80	217,65	219,80	1,46	1,48	1,46	

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CH2} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CH2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$	
930		V013	250	400	360	1,00	22,1	1,13	344,0	36,12	1,97	27909	221,27	218,74	221,27	1,55	1,57	1,55	
931		V014	250	400	360	1,00	24,3	1,13	425,0	38,76	2,06	28715	231,92	226,67	231,92	1,83	1,87	1,83	
932		V021	250	400	360	1,00	13,9	1,13	220,0	25,08	1,54	24284	173,50	181,29	181,29	1,27	1,21	1,21	
933		V023	250	400	360	1,00	20,1	1,13	347,0	32,52	1,83	27126	206,31	206,29	206,31	1,68	1,68	1,68	
934		V024	250	400	360	1,00	25,2	1,13	396,0	39,84	2,10	29030	236,21	229,85	236,21	1,68	1,72	1,68	
935		V031	250	400	360	1,00	20,0	1,13	323,0	32,40	1,83	27085	205,80	205,91	205,91	1,57	1,57	1,57	
936		V032	250	400	360	1,00	18,2	1,13	318,0	30,24	1,75	26330	196,55	198,89	198,89	1,62	1,60	1,60	
937		V033	250	400	360	1,00	19,8	1,13	246,0	32,16	1,82	27004	204,79	205,14	205,14	1,20	1,20	1,20	
938		V034	250	400	360	1,00	26,4	1,13	437,0	41,28	2,15	29438	241,87	234,03	241,87	1,81	1,87	1,81	
939		V711	250	200	160	1,00	18,1	1,52	165,0	30,12	1,74	26286	87,13	99,06	99,06	1,89	1,67	1,67	
940		V022	250	400	360	1,00	19,9	1,13	270,0	32,28	1,82	27044	205,30	205,53	205,53	1,32	1,31	1,31	
941		V511	250	600	560	1,00	19,8	1,12	350,0	32,16	1,82	27004	318,56	317,97	318,56	1,10	1,10	1,10	
942		Hallgren (1994)	B90SB17-2-4	157	232	191	3,66	44,9	2,26	59,0	65,27	2,92	34522	43,75	52,14	52,14	1,35	1,13	1,13
943			B90SB18-2-4	155	235	194	3,61	44,9	2,25	63,0	65,27	2,92	34522	43,87	52,20	52,20	1,44	1,21	1,21
944	B90SB5-2-33		156	232	191	3,66	32,8	2,28	56,0	48,96	2,41	31418	35,89	44,45	44,45	1,56	1,26	1,26	
945	B90SB6-2-33		156	235	194	3,61	32,8	2,24	53,5	48,96	2,41	31418	36,45	44,85	44,85	1,47	1,19	1,19	
946	B90SB9-2-31		156	233	192	3,65	31,1	2,26	49,0	46,92	2,34	30921	35,07	43,55	43,55	1,40	1,13	1,13	
947	B90SB10-2-3		157	234	193	3,63	31,1	2,20	53,5	46,92	2,34	30921	35,48	43,62	43,62	1,51	1,23	1,23	
948	Matsui, Kurihara, Uchida, Rokugo, Koyangi (1995)	A1	100	180	150	3,00	32,4	2,65	27,5	48,48	2,39	31303	17,95	23,52	23,52	1,53	1,17	1,17	
949		A2	100	180	150	3,00	32,4	2,65	31,9	48,48	2,39	31303	17,95	23,52	23,52	1,78	1,36	1,36	
950		B1	100	180	150	3,00	38,4	2,65	29,3	56,69	2,66	32940	19,92	25,62	25,62	1,47	1,14	1,14	
951		B2	100	180	150	3,00	38,4	2,65	30,7	56,69	2,66	32940	19,92	25,62	25,62	1,54	1,20	1,20	
952		C1	100	180	150	3,00	48,7	2,65	29,6	70,28	3,07	35374	22,99	28,81	28,81	1,29	1,03	1,03	
953		C2	100	180	150	3,00	48,7	2,65	32,3	70,28	3,07	35374	22,99	28,81	28,81	1,40	1,12	1,12	
954	Kawano & Wantanabe (1997)	A1A	105	330	300	3,00	24,8	1,26	33,5	39,36	2,08	28891	32,80	33,41	33,41	1,02	1,00	1,00	
955		A1B	105	330	300	3,00	24,8	1,26	29,5	39,36	2,08	28891	32,80	33,41	33,41	0,90	0,88	0,88	
956		A2A	176	570	500	3,00	27,3	1,36	82,5	42,36	2,19	29735	96,24	99,88	99,88	0,86	0,83	0,83	
957		A2B	176	570	500	3,00	27,3	1,36	101,5	42,36	2,19	29735	96,24	99,88	99,88	1,05	1,02	1,02	
958	Yoshida (1998)	BN12.5	300	125	110	2,96	37,0	0,91	40,1	54,84	2,60	32575	42,87	36,40	42,87	0,94	1,10	0,94	
959		BN25	300	250	225	2,95	37,0	0,89	72,9	54,84	2,60	32575	87,69	73,77	87,69	0,83	0,99	0,83	
960		BN50	300	500	450	2,92	37,0	0,81	131,6	54,84	2,60	32575	175,38	141,82	175,38	0,75	0,93	0,75	
961	Ghannoum (1998)	N220-l	400	220	190	2,50	34,2	1,20	103,6	50,64	2,46	31815	93,62	89,95	93,62	1,11	1,15	1,11	
962		N350-l	400	350	313	2,50	34,2	1,20	157,9	50,64	2,46	31815	154,23	148,18	154,23	1,02	1,07	1,02	
963		N485-l	400	485	440	2,50	34,2	1,20	186,8	50,64	2,46	31815	216,81	208,30	216,81	0,86	0,90	0,86	
964		N220-h	400	220	190	2,50	34,2	2,00	122,7	50,64	2,46	31815	93,62	109,89	109,89	1,31	1,12	1,12	
965		N350-h	400	350	313	2,50	34,2	2,00	178,4	50,64	2,46	31815	154,23	181,03	181,03	1,16	0,99	0,99	

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CH2} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CH2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$
966		N485-h	400	485	440	2,50	34,2	2,00	214,6	50,64	2,46	31815	216,81	254,48	254,48	0,99	0,84	0,84
967	Islam, Pam, Kwan(1998)	M60-S0	150	250	207	3,86	50,8	2,02	45,5	73,06	3,15	35825	48,84	54,99	54,99	0,93	0,83	0,83
968		M60-S1	150	250	207	2,90	50,8	2,02	92,3	73,06	3,15	35825	48,84	54,99	54,99	1,89	1,68	1,68
969		M60-S2	150	250	207	1,93	50,8	2,02	103,8	73,06	3,15	35825	63,26	71,23	71,23	1,64	1,46	1,46
970		M60-S3	150	250	207	2,90	50,8	2,02	90,4	73,06	3,15	35825	48,84	54,99	54,99	1,85	1,64	1,64
971		M60-S4	150	250	207	3,86	50,8	2,02	51,9	73,06	3,15	35825	48,84	54,99	54,99	1,06	0,94	0,94
972		M40-S0	150	250	205	3,90	34,4	3,19	55,0	50,88	2,47	31871	38,00	52,84	52,84	1,45	1,04	1,04
973		M40-S1	150	250	205	2,93	34,4	3,19	84,6	50,88	2,47	31871	38,00	52,84	52,84	2,23	1,60	1,60
974		M40-S2	150	250	205	1,95	34,4	3,22	96,1	50,88	2,47	31871	48,72	67,96	67,96	1,97	1,41	1,41
975		M40-S3	150	250	205	2,93	34,4	3,19	80,7	50,88	2,47	31871	38,00	52,84	52,84	2,12	1,53	1,53
976		M40-S4	150	250	205	3,90	34,4	3,19	76,9	50,88	2,47	31871	38,00	52,84	52,84	2,02	1,46	1,46
977		M25-S0	150	250	207	3,86	26,6	2,02	47,5	41,52	2,16	29504	33,51	40,61	40,61	1,42	1,17	1,17
978		M25-S1	150	250	207	2,90	26,6	2,02	67,3	41,52	2,16	29504	33,51	40,61	40,61	2,01	1,66	1,66
979		M25-S2	150	250	207	1,93	26,6	2,02	94,2	41,52	2,16	29504	43,40	52,61	52,61	2,17	1,79	1,79
980		M25-S3	150	250	207	2,90	26,6	2,02	56,5	41,52	2,16	29504	33,51	40,61	40,61	1,69	1,39	1,39
981	Kulkarni and Shah (1998)	B4JL20-S	102	178	152	5,00	40,6	1,38	19,5	59,59	2,75	33495	21,29	21,19	21,29	0,92	0,92	0,92
982		B3NO15-S	102	178	152	4,00	41,6	1,38	22,7	60,91	2,79	33740	21,60	21,44	21,60	1,05	1,06	1,05
983		B3NO30-S	102	178	152	3,50	43,6	1,38	24,2	63,55	2,87	34219	22,22	21,93	22,22	1,09	1,10	1,09
984	Shin et al (1999)	MHB1.5-0	125	250	215	1,50	52,0	3,77	112,9	74,64	3,19	36076	71,46	100,87	100,87	1,58	1,12	1,12
985		MHB2.0-0	125	250	215	2,00	52,0	3,77	87,9	74,64	3,19	36076	53,60	75,65	75,65	1,64	1,16	1,16
986		MHB2.5-0	125	250	215	2,50	52,0	3,77	56,4	74,64	3,19	36076	42,88	60,52	60,52	1,32	0,93	0,93
987	Tan and Lu (1999)	1-500/0.50	140	500	444	0,56	49,1	2,57	850,0	70,81	3,08	35461	427,47	529,18	529,18	1,99	1,61	1,61
988		1-500/0.75	140	500	444	0,84	42,5	2,57	700,0	62,10	2,82	33958	261,10	328,43	328,43	2,68	2,13	2,13
989		1-500/1.00	140	500	444	1,13	37,4	2,57	570,0	55,37	2,61	32680	179,80	229,36	229,36	3,17	2,49	2,49
990	Pendyala and Mendis (2000)	inf(30)(2)	80	160	140	2,00	34,0	2,02	25,0	50,40	2,46	31759	17,19	20,27	20,27	1,45	1,23	1,23
991	Oh and Shin (2001)	N4200	130	560	500	0,85	23,7	1,56	265,2	38,04	2,04	28500	194,61	216,65	216,65	1,36	1,22	1,22
992		H4100	130	560	500	0,50	49,1	1,56	642,2	70,81	3,08	35461	500,65	511,61	511,61	1,28	1,26	1,26
993		H4200	130	560	500	0,85	49,1	1,56	401,1	70,81	3,08	35461	294,50	300,94	300,94	1,36	1,33	1,33
994		H4300	130	560	500	1,25	49,1	1,56	337,4	70,81	3,08	35461	200,26	204,64	204,64	1,68	1,65	1,65
995		H4500	130	560	500	2,00	49,1	1,56	112,5	70,81	3,08	35461	125,16	127,90	127,90	0,90	0,88	0,88
996	Yost, Gross, Dinehart (2001)	1Steel1	229	286	227	4,03	36,3	1,54	60,7	53,92	2,57	32389	66,77	70,36	70,36	0,91	0,86	0,86
997		1Steelb	229	286	227	4,03	36,3	1,54	56,3	53,92	2,57	32389	66,77	70,36	70,36	0,84	0,80	0,80
998		1Steelc	229	286	227	4,03	36,3	1,54	58,0	53,92	2,57	32389	66,77	70,36	70,36	0,87	0,82	0,82
999	Tureyen & Frosch (2002)	V-S-1	457	427	360	3,39	40,9	0,96	179,2	59,99	2,76	33569	226,90	194,56	226,90	0,79	0,92	0,79
1000		V-S-2	457	427	360	3,39	41,4	1,92	203,7	60,65	2,78	33692	228,56	258,42	258,42	0,89	0,79	0,79
1001		V-D-2	457	427	360	3,39	43,7	0,36	134,8	63,68	2,87	34243	236,13	131,13	236,13	0,57	1,03	0,57

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CH2} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CH2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$
1002	Tariq, Newhook (2003)	R-S007Na	160	400	346	2,75	37,3	0,72	58,9	55,24	2,61	32654	72,26	55,53	72,26	0,82	1,06	0,82
1003		R-S007Nb	160	400	346	2,75	37,3	0,72	63,3	55,24	2,61	32654	72,26	55,53	72,26	0,88	1,14	0,88
1004		R-S010N1	160	400	346	3,32	43,2	1,08	66,7	63,02	2,85	34125	78,91	70,56	78,91	0,85	0,95	0,85
1005		R-S010N2	160	400	346	3,32	43,2	1,08	62,2	63,02	2,85	34125	78,91	70,56	78,91	0,79	0,88	0,79
1006		R-S015N1	160	400	325	3,54	34,1	1,54	69,8	50,52	2,46	31787	63,96	67,90	67,90	1,09	1,03	1,03
1007		R-S015N2	160	400	325	3,54	34,1	1,54	70,5	50,52	2,46	31787	63,96	67,90	67,90	1,10	1,04	1,04
1008	Cladera, Mari (2002)	H50/1	200	400	359	3,01	49,9	2,24	99,7	71,87	3,11	35633	111,70	131,11	131,11	0,89	0,76	0,76
1009	Sherwood et al. (2005)	AT-2-250A	250	470	437	2,96	37,7	0,92	115,8	55,76	2,63	32759	143,52	122,13	143,52	0,81	0,95	0,81
1010		AT-2-250B	250	470	440	2,94	38,5	0,90	113,3	56,82	2,66	32966	146,32	123,06	146,32	0,77	0,92	0,77
1011		AT-3-A	696	338	307	3,38	37,5	0,93	239,3	55,50	2,62	32706	279,80	239,35	279,80	0,86	1,00	0,86
1012		AT-3-C	706	338	305	3,41	37,1	0,93	260,2	54,97	2,60	32601	280,18	240,00	280,18	0,93	1,08	0,93
1013		AT-3-B	701	338	305	3,41	37,8	0,93	254,8	55,90	2,63	32785	281,31	240,40	281,31	0,91	1,06	0,91
1014		AT-3-D	706	338	307	3,38	37,1	0,93	250,2	54,97	2,60	32601	282,02	241,57	282,02	0,89	1,04	0,89
1015	Bentz & Buckley (2005)	SBB1.1	104	103	84	2,95	33,0	1,63	14,5	49,20	2,42	31476	10,56	11,50	11,50	1,37	1,26	1,26
1016		SBB1.2	105	103	84	2,95	33,0	1,62	18,5	49,20	2,42	31476	10,66	11,59	11,59	1,74	1,60	1,60
1017		SBB1.3	104	103	84	2,95	33,0	1,63	15,0	49,20	2,42	31476	10,56	11,50	11,50	1,42	1,30	1,30
1018		SBB2.1	106	206	168	2,95	30,0	1,60	28,8	45,60	2,30	30589	20,46	22,38	22,38	1,41	1,29	1,29
1019		SBB2.2	105	206	168	2,95	30,0	1,62	30,5	45,60	2,30	30589	20,26	22,27	22,27	1,51	1,37	1,37
1020		SBB2.3	106	206	166	2,98	30,0	1,62	29,7	45,60	2,30	30589	20,21	22,22	22,22	1,47	1,34	1,34
1021		SBB3.1	105	378	333	2,97	34,0	1,55	42,2	50,40	2,46	31759	42,94	45,71	45,71	0,98	0,92	0,92
1022		SBB3.2	101	378	333	2,97	34,0	1,61	40,6	50,40	2,46	31759	41,30	44,63	44,63	0,98	0,91	0,91
1023		SBB3.3	101	378	333	2,97	34,0	1,61	42,9	50,40	2,46	31759	41,30	44,63	44,63	1,04	0,96	0,96
1024	El-Sayed, El-Salakawy, Benmokrane (2005)	SN-0.8	250	400	326	3,07	50,0	0,86	98,5	72,00	3,12	35654	126,95	101,34	126,95	0,78	0,97	0,78
1025		SN-1.2	250	400	326	3,07	44,6	1,23	116,5	64,87	2,91	34453	118,42	111,26	118,42	0,98	1,05	0,98
1026		SN-1.7	250	400	326	3,07	43,6	1,72	144,5	63,55	2,87	34219	116,81	125,80	125,80	1,24	1,15	1,15
1027	Lubell (2006)	AX6	703	338	288	3,61	41,0	1,73	281,0	60,12	2,76	33594	279,64	304,03	304,03	1,00	0,92	0,92
1028		AX7	704	335	287	3,62	41,0	1,04	249,0	60,12	2,76	33594	279,07	247,30	279,07	0,89	1,01	0,89
1029		AX8	705	339	289	3,60	41,0	1,72	272,0	60,12	2,76	33594	281,41	305,27	305,27	0,97	0,89	0,89
1030	Guadagnini, Pilakoutas, Waldron (2006)	SB40	150	250	223	3,36	43,4	1,35	45,3	63,29	2,86	34172	47,81	46,80	47,81	0,95	0,97	0,95
1031		SB41	150	250	223	2,24	43,0	1,35	68,0	62,76	2,84	34077	53,06	52,00	53,06	1,28	1,31	1,28
1032		SB42	150	250	223	1,12	42,2	1,35	135,5	61,70	2,81	33886	104,93	103,06	104,93	1,29	1,31	1,29
1033	Brown & Bayrak (2006)	1	203	457	406	3,00	26,7	3,07	90,7	41,64	2,16	29538	89,11	125,54	125,54	1,02	0,72	0,72
1034		2	203	457	406	1,50	26,8	3,07	285,1	41,76	2,17	29571	148,81	209,55	209,55	1,92	1,36	1,36
1035		4	203	457	406	2,25	26,9	3,07	151,7	41,88	2,17	29604	99,39	139,91	139,91	1,53	1,08	1,08
1036		U	203	457	406	1,50	26,9	3,07	224,6	41,88	2,17	29604	149,09	209,87	209,87	1,51	1,07	1,07
1037	Han et al. (2001)	R3.0-N	170	300	270	3,00	31,2	1,1	55,1	47,04	2,35	30951	53,83	50,48	53,83	1,02	1,09	1,02

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CH2} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CH2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$
1038	Etxeberria (2004)	HR50-1	200	350	303	3,30	41,3	2,98	89,0	60,57	2,78	33677	84,12	111,97	111,97	1,06	0,79	0,79
1039		HR100-1	200	350	303	3,30	39,8	2,98	84,0	58,47	2,71	33283	82,16	109,83	109,83	1,02	0,76	0,76
1040		HC-1	200	350	303	3,30	41,9	2,98	100,5	61,31	2,80	33813	84,80	112,72	112,72	1,19	0,89	0,89
1041	Gonzalez-Fonteboa and Martinez-Abella (2007)	V0RC	200	350	303	3,30	39,7	2,98	90,6	58,40	2,71	33271	82,10	109,76	109,76	1,10	0,83	0,83
1042		V0CC	200	350	303	3,30	40,2	2,98	88,9	59,06	2,73	33396	82,72	110,44	110,44	1,07	0,80	0,80
1043	Fathifazl et al. (2009)	CL-M	200	375	309	2,60	38,8	1,62	92,8	57,22	2,67	33042	82,59	88,08	88,08	1,12	1,05	1,05
1044		CG-2.7	200	375	309	2,60	34,4	1,62	150,0	50,88	2,47	31871	76,37	82,61	82,61	1,96	1,82	1,82
1045	Choi et al. (2010)	RARAC50-H2.5	200	400	360	2,50	24,1	1,61	87,9	38,52	2,05	28644	73,91	83,12	83,12	1,19	1,06	1,06
1046		RARAC50-H3.25	200	400	360	3,30	24,1	1,61	71,6	38,52	2,05	28644	73,91	83,12	83,12	0,97	0,86	0,86
1047		RARAC50-M2.5	200	400	360	2,50	24,1	0,83	67,1	38,52	2,05	28644	73,91	63,72	73,91	0,91	1,05	0,91
1048		RARAC100-H2.5	200	400	360	2,50	22,6	1,61	84,8	36,72	1,99	28097	71,59	81,11	81,11	1,18	1,05	1,05
1049		RAC100-M2.5	200	400	360	2,50	22,6	0,83	70,1	36,72	1,99	28097	71,59	62,22	71,59	0,98	1,13	0,98
1050		NANAC-H2.5	200	400	360	2,50	24,7	1,61	90,7	39,24	2,08	28856	74,83	83,92	83,92	1,21	1,08	1,08
1051		NANAC-H3.25	200	400	360	3,30	24,7	1,61	71,1	39,24	2,08	28856	74,83	83,92	83,92	0,95	0,85	0,85
1052		NANAC-L2.5	200	400	360	2,50	24,7	0,53	66,2	39,24	2,08	28856	74,83	53,16	74,83	0,88	1,25	0,88
1053		NANAC-M2.5	200	400	360	2,50	24,7	0,83	72,0	39,24	2,08	28856	74,83	64,32	74,83	0,96	1,12	0,96
1054	Fathifazl et al. (2011)	EM-4	200		305	3,90	41,6	2,46	83,2	60,91	2,79	33740	84,99	105,45	105,45	0,98	0,79	0,79
1055		EM-L	200	250	201	2,70	41,6	1,99	89,3	60,91	2,79	33740	56,01	64,17	64,17	1,59	1,39	1,39
1056		EM-2.7	200	375	309	2,60	41,6	1,62	103,9	60,91	2,79	33740	86,11	91,09	91,09	1,21	1,14	1,14
1057		EM-H	200	450	381	2,70	41,6	1,83	99,5	60,91	2,79	33740	106,17	117,77	117,77	0,94	0,84	0,84
1058		EM-VH	200	550	476	2,70	41,6	1,68	104,6	60,91	2,79	33740	132,64	142,33	142,33	0,79	0,73	0,73
1059		EV-4	200		305	3,90	49,1	2,46	105,6	70,81	3,08	35461	93,97	114,45	114,45	1,12	0,92	0,92
1060		EV-L	200	250	201	2,60	49,1	1,99	122,6	70,81	3,08	35461	61,93	69,60	69,60	1,98	1,76	1,76
1061		EV-H	200	450	381	2,70	49,1	1,83	111,7	70,81	3,08	35461	117,38	127,72	127,72	0,95	0,87	0,87
1062		EV-VH	200	550	476	2,70	49,1	1,68	119,6	70,81	3,08	35461	146,65	154,32	154,32	0,82	0,78	0,78
1063	Ignjatovic (2013)	RAC50-1b	200	300	235	4,20	33,4	4,09	91,8	49,73	2,43	31601	57,20	86,80	86,80	1,60	1,06	1,06
1064		RAC1000-1b	200	300	235	4,20	34,5	4,09	104,8	50,98	2,47	31893	58,15	87,98	87,98	1,80	1,19	1,19
1065		NAC1b	200	300	235	4,20	30,8	4,09	106,3	46,56	2,33	30831	54,75	83,75	83,75	1,94	1,27	1,27
1066	Kim et al. (2013)	RF-S2	200	350	300	2,50	34,9	1,94	72,9	51,48	2,49	32009	74,73	86,50	86,50	0,98	0,84	0,84
1067		RF-M2	200	530	450	2,50	34,9	1,93	96,4	51,48	2,49	32009	112,09	129,50	129,50	0,86	0,74	0,74
1068		RF-L2	200	680	600	2,50	34,9	1,94	125,1	51,48	2,49	32009	149,46	173,01	173,01	0,84	0,72	0,72
1069		RF-M3	300	530	450	2,50	34,9	2	159,8	51,48	2,49	32009	168,14	196,90	196,90	0,95	0,81	0,81
1070		RF-L4	400	680	600	2,50	34,9	1,94	256,6	51,48	2,49	32009	298,91	346,02	346,02	0,86	0,74	0,74

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CH2} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CH2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$	
1071		RH-S2	200	350	300	2,50	32,6	1,94	60,6	48,72	2,40	31361	72,03	84,03	84,03	0,84	0,72	0,72	
1072		RH-M2	200	530	450	2,50	32,6	1,93	108,9	48,72	2,40	31361	108,05	125,80	125,80	1,01	0,87	0,87	
1073		RH-L2	200	680	600	2,50	32,6	1,94	126,1	48,72	2,40	31361	144,07	168,07	168,07	0,88	0,75	0,75	
1074		RH-M3	300	530	450	2,50	32,6	2	154,2	48,72	2,40	31361	162,07	191,27	191,27	0,95	0,81	0,81	
1075		RH-L4	400	680	600	2,50	32,6	1,94	261,5	48,72	2,40	31361	288,13	336,14	336,14	0,91	0,78	0,78	
1076		NA-S2	200	350	300	2,50	31,8	1,94	75,5	47,76	2,37	31128	71,08	83,16	83,16	1,06	0,91	0,91	
1077		NA-M2	200	530	450	2,50	31,8	1,93	106,9	47,76	2,37	31128	106,63	124,50	124,50	1,00	0,86	0,86	
1078		NA-L2	200	680	600	2,50	31,8	1,94	125,9	47,76	2,37	31128	142,17	166,32	166,32	0,89	0,76	0,76	
1079		NA-M3	300	530	450	2,50	31,8	2	156,7	47,76	2,37	31128	159,94	189,28	189,28	0,98	0,83	0,83	
1080		NA-L4	400	680	600	2,50	31,8	1,94	256,4	47,76	2,37	31128	284,33	332,65	332,65	0,90	0,77	0,77	
1081		Knaack and Kurama (2014)	S50-1a	150	230	200	3,80	43,6	1,3	44,0	63,55	2,87	34219	43,00	41,43	43,00	1,02	1,06	1,02
1082	S50-1b		150	230	200	3,80	43,6	1,3	39,1	63,55	2,87	34219	43,00	41,43	43,00	0,91	0,94	0,91	
1083	S50-2a		150	230	200	3,80	40,2	1,3	43,7	59,06	2,73	33396	40,95	39,85	40,95	1,07	1,10	1,07	
1084	S50-2b		150	230	200	3,80	40,2	1,3	41,2	59,06	2,73	33396	40,95	39,85	40,95	1,01	1,03	1,01	
1085	S100-1a		150	230	200	3,80	41,4	1,3	36,4	60,65	2,78	33692	41,68	40,41	41,68	0,87	0,90	0,87	
1086	S100-1b		150	230	200	3,80	41,4	1,3	38,0	60,65	2,78	33692	41,68	40,41	41,68	0,91	0,94	0,91	
1087	S100-2a		150	230	200	3,80	35,7	1,3	39,9	53,12	2,54	32227	38,16	37,66	38,16	1,05	1,06	1,05	
1088	S100-2b		150	230	200	3,80	35,7	1,3	36,1	53,12	2,54	32227	38,16	37,66	38,16	0,95	0,96	0,95	
1089	S0-1a		150	230	200	3,80	32,6	1,3	31,1	48,72	2,40	31361	36,02	35,94	36,02	0,86	0,87	0,86	
1090	S0-1b		150	230	200	3,80	32,6	1,3	36,9	48,72	2,40	31361	36,02	35,94	36,02	1,02	1,03	1,02	
1091	S0-2a		150	230	200	3,80	50,3	1,3	40,4	72,40	3,13	35718	46,90	44,41	46,90	0,86	0,91	0,86	
1092	S0-2b		150	230	200	3,80	50,3	1,3	42,3	72,40	3,13	35718	46,90	44,41	46,90	0,90	0,95	0,90	
1093	Arezoumandi et al. (2015)		RAC100 NS-6 1	300	460	375	3,20	30,0	2,03	143,2	45,60	2,30	30589	129,23	154,82	154,82	1,11	0,92	0,92
1094			RAC100 NS-8 1	300	460	375	3,20	30,0	2,71	131,4	45,60	2,30	30589	129,23	172,11	172,11	1,02	0,76	0,76
1095		RAC100 NS-6 2	300	460	375	3,20	34,1	2,03	124,1	50,52	2,46	31787	138,37	163,38	163,38	0,90	0,76	0,76	
1096		RAC100 NS-8 2	300	460	375	3,20	34,1	2,71	140,3	50,52	2,46	31787	138,37	181,75	181,75	1,01	0,77	0,77	
1097		RAC50 NS-6 1	300	460	375	3,20	32,1	2,03	151,3	48,12	2,38	31216	133,95	159,25	159,25	1,13	0,95	0,95	
1098		RAC50 NS-8 1	300	460	375	3,20	32,1	2,71	171,8	48,12	2,38	31216	133,95	177,10	177,10	1,28	0,97	0,97	
1099		RAC50 NS-6 2	300	460	375	3,20	35,5	2,03	148,6	52,86	2,54	32173	142,61	167,62	167,62	1,04	0,89	0,89	
1100		RAC50 NS-8 2	300	460	375	3,20	35,5	2,71	168,7	52,86	2,54	32173	142,61	186,51	186,51	1,18	0,90	0,90	
1101		NAC NS-6 1	300	460	375	3,20	37,3	2,03	143,2	55,24	2,61	32654	146,85	171,64	171,64	0,98	0,83	0,83	
1102		NAC NS-8 1	300	460	375	3,20	37,3	2,71	173,5	55,24	2,61	32654	146,85	191,03	191,03	1,18	0,91	0,91	
1103		NAC NS-4 2	300	460	400	3,00	34,2	1,27	129,9	50,64	2,46	31815	147,83	145,31	147,83	0,88	0,89	0,88	
1104		NAC NS-6 2	300	460	375	3,20	34,2	2,03	167,0	50,64	2,46	31815	138,59	163,58	163,58	1,21	1,02	1,02	
1105		NAC NS-8 2	300	460	375	3,20	34,2	2,71	170,8	50,64	2,46	31815	138,59	181,98	181,98	1,23	0,94	0,94	
1106			B1A1R10	150	150	120	1,00	42,6	0,87	29,0	62,23	2,83	33982	63,601	52,07	63,60	0,46	0,56	0,46

№	Автор	Образец	b (мм)	h (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f'_c (МПа)	μ_s (%)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CH2} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CH2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$
1107	A.A. Mohammed (2011)	B2A1R12	150	150	120	1,00	42,6	0,87	33,0	62,23	2,83	33982	63,601	52,07	63,60	0,52	0,63	0,52
1108		B3A1R16	150	150	120	1,00	42,6	0,87	39,5	62,23	2,83	33982	63,601	52,07	63,60	0,62	0,76	0,62
1109		B4A1R10	150	150	120	2,00	42,6	0,87	23,0	62,23	2,83	33982	31,8005	26,03	31,80	0,72	0,88	0,72
1110		B5A1R12	150	150	120	2,00	42,6	0,87	26,0	62,23	2,83	33982	31,8005	26,03	31,80	0,82	1,00	0,82
1111		B6A1R16	150	150	120	2,00	42,6	0,87	31,5	62,23	2,83	33982	31,8005	26,03	31,80	0,99	1,21	0,99
1112		B7A1R10	150	150	120	3,00	42,6	0,87	20,5	62,23	2,83	33982	25,4404	20,83	25,44	0,81	0,98	0,81
1113		B8A1R12	150	150	120	3,00	42,6	0,87	23,0	62,23	2,83	33982	25,4404	20,83	25,44	0,90	1,10	0,90
1114		B9A1R16	150	150	120	3,00	42,6	0,87	27,5	62,23	2,83	33982	25,4404	20,83	25,44	1,08	1,32	1,08
1115		B10A1R10	150	150	120	1,00	44,8	0,87	30,0	65,14	2,91	34499	65,5645	53,33	65,56	0,46	0,56	0,46
1116		B11A1R12	150	150	120	1,00	44,8	0,87	34,0	65,14	2,91	34499	65,5645	53,33	65,56	0,52	0,64	0,52
1117		B12A1R16	150	150	120	1,00	44,8	0,87	40,5	65,14	2,91	34499	65,5645	53,33	65,56	0,62	0,76	0,62
1118		B13A1R10	150	150	120	2,00	44,8	0,87	24,0	65,14	2,91	34499	32,7823	26,67	32,78	0,73	0,90	0,73
1119		B14A1R12	150	150	120	2,00	44,8	0,87	27,0	65,14	2,91	34499	32,7823	26,67	32,78	0,82	1,01	0,82
1120		B15A1R16	150	150	120	2,00	44,8	0,87	32,5	65,14	2,91	34499	32,7823	26,67	32,78	0,99	1,22	0,99
1121		B16A1R10	150	150	120	3,00	44,8	0,87	21,0	65,14	2,91	34499	26,2258	21,33	26,23	0,80	0,98	0,80
1122		B17A1R12	150	150	120	3,00	44,8	0,87	23,5	65,14	2,91	34499	26,2258	21,33	26,23	0,90	1,10	0,90
1123		B18A1R16	150	150	120	3,00	44,8	0,87	28,0	65,14	2,91	34499	26,2258	21,33	26,23	1,07	1,31	1,07
1124		B19A1R10	150	150	120	1,00	47,5	0,87	31,0	68,70	3,02	35110	67,9349	54,85	67,93	0,46	0,57	0,46
1125		B20A1R12	150	150	120	1,00	47,5	0,87	35,0	68,70	3,02	35110	67,9349	54,85	67,93	0,52	0,64	0,52
1126		B21A1R16	150	150	120	1,00	47,5	0,87	42,0	68,70	3,02	35110	67,9349	54,85	67,93	0,62	0,77	0,62
1127		B22A1R10	150	150	120	2,00	47,5	0,87	24,5	68,70	3,02	35110	33,9674	27,43	33,97	0,72	0,89	0,72
1128		B23A1R12	150	150	120	2,00	47,5	0,87	27,5	68,70	3,02	35110	33,9674	27,43	33,97	0,81	1,00	0,81
1129		B24A1R16	150	150	120	2,00	47,5	0,87	33,5	68,70	3,02	35110	33,9674	27,43	33,97	0,99	1,22	0,99
1130		B25A1R10	150	150	120	3,00	47,5	0,87	21,5	68,70	3,02	35110	27,174	21,94	27,17	0,79	0,98	0,79
1131		B26A1R12	150	150	120	3,00	47,5	0,87	24,0	68,70	3,02	35110	27,174	21,94	27,17	0,88	1,09	0,88
1132		B27A1R16	150	150	120	3,00	47,5	0,87	29,0	68,70	3,02	35110	27,174	21,94	27,17	1,07	1,32	1,07

2. Синтез экспериментальной базы данных железобетонных балок с хомутами

№	Автор	Образец	b (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f_c (МПа)	μ_s (%)	μ_{sw} (%)	R_{sw} (МПа)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	$Q_{СП}$ (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{СП}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$
1	Placas and Regan (1971)	R8	152	272	3,36	26,7	1,46	0,21	159,9	79,6	41,64	2,16245	29538	58,59	61,72	61,72	1,36	1,29	1,29
2		R9	152	272	3,36	29,6	1,46	0,43	82,2	104,5	45,12	2,28131	30466	61,78	64,47	64,47	1,69	1,62	1,62
3		R10	152	272	3,36	29,6	0,98	0,21	168,4	75,5	45,12	2,28131	30466	61,78	57,08	61,78	1,22	1,32	1,22
4		R11	152	272	3,36	26,2	0,98	0,21	158,4	89,5	41,04	2,14163	29371	58,03	54,22	58,03	1,54	1,65	1,54
5		R12	152	272	3,60	33,9	4,16	0,21	180,2	117,3	50,28	2,45209	31731	66,34	92,89	92,89	1,77	1,26	1,26
6		R13	152	272	3,60	32,3	4,16	0,43	85,9	160,0	48,36	2,38926	31274	64,66	90,90	90,90	2,47	1,76	1,76
7		R14	152	272	3,36	29,0	1,46	0,14	250,0	89,5	44,40	2,25698	30279	61,13	63,91	63,91	1,46	1,40	1,40
8		R15	152	272	3,60	29,9	4,16	0,43	82,7	149,6	45,48	2,29343	30558	62,10	87,84	87,84	2,41	1,70	1,70
9		R16	152	272	3,60	31,6	4,16	0,43	85,0	149,6	47,52	2,36151	31069	63,92	90,02	90,02	2,34	1,66	1,66
10		R17	152	272	3,36	12,8	1,46	0,21	110,7	70,0	23,76	1,48766	23691	40,37	45,44	45,44	1,73	1,54	1,54
11		R18	152	272	3,36	31,3	1,46	0,21	173,2	84,5	47,16	2,34957	30980	63,61	66,04	66,04	1,33	1,28	1,28
12		R19	152	272	3,36	30,3	1,46	0,43	83,2	119,8	45,96	2,30954	30680	62,54	65,12	65,12	1,92	1,84	1,84
13		R20	152	272	3,36	42,5	1,46	0,21	201,8	89,9	62,10	2,82271	33958	75,87	76,61	76,61	1,18	1,17	1,17
14		R21	152	272	3,60	48,1	4,16	0,43	104,8	160,0	69,49	3,04249	35242	81,53	111,18	111,18	1,96	1,44	1,44
15		R22	152	272	4,50	29,5	1,46	0,21	168,1	79,6	45,00	2,27727	30435	61,67	64,38	64,38	1,29	1,24	1,24
16		R24	152	272	5,05	30,9	4,16	0,21	172,1	98,6	46,68	2,3336	30861	63,18	89,13	89,13	1,56	1,11	1,11
17		R25	152	272	3,60	30,8	4,16	0,21	171,8	111,9	46,56	2,3296	30831	63,07	89,00	89,00	1,77	1,26	1,26
18		R28	152	272	3,60	31,6	4,16	0,84	43,5	191,9	47,52	2,36151	31069	63,92	90,02	90,02	3,00	2,13	2,13
19	Swamy and Andropoulos (1974)	C3	76	95	3,00	29,4	1,97	0,16	220,3	15,6	44,88	2,27322	30404	10,75	12,29	12,29	1,45	1,27	1,27
20		R3	76	95	3,00	29,4	1,97	0,38	92,7	18,1	44,88	2,27322	30404	10,75	12,29	12,29	1,68	1,47	1,47
21		J3	76	95	3,00	29,4	1,97	0,43	82,0	20,5	44,88	2,27	30404	10,75	12,29	12,29	1,91	1,67	1,67
22		C4	76	95	4,00	28,7	1,97	0,06	580,4	13,6	44,04	2,24	30185	10,62	12,16	12,16	1,28	1,12	1,12
23		O3	76	132	3,00	28,3	3,95	0,12	288,2	25,4	43,56	2,23	30058	14,65	20,52	20,52	1,73	1,24	1,24
24		Z3	76	132	3,00	25,9	3,95	0,34	97,3	27,8	40,68	2,13	29269	14,00	19,75	19,75	1,99	1,41	1,41
25		Y3	76	132	3,00	25,9	3,95	0,6	55,1	28,9	40,68	2,13	29269	14,00	19,75	19,75	2,06	1,46	1,46
26		O4	76	132	4,00	28,3	3,95	0,12	288,2	20,0	43,56	2,23	30058	14,65	20,52	20,52	1,37	0,97	0,97
27		Z4	76	132	4,00	25,9	3,95	0,34	97,3	25,6	40,68	2,13	29269	14,00	19,75	19,75	1,83	1,30	1,30
28		O5	76	132	5,00	28,3	3,95	0,12	288,2	18,9	43,56	2,23	30058	14,65	20,52	20,52	1,29	0,92	0,92
29	Mphonde and Frantz (1985)	B50-3-3	152	298	3,60	22,1	3,36	0,12	254,6	76,3	36,12	1,97	27909	58,39	79,82	79,82	1,31	0,96	0,96
30		B50-7-3	152	298	3,60	39,9	3,36	0,12	342,2	93,9	58,67	2,72	33321	80,15	104,40	104,40	1,17	0,90	0,90
31		B100-3-3	152	298	3,60	27,9	3,36	0,26	132,1	95,4	43,08	2,21	29930	65,65	88,02	88,02	1,45	1,08	1,08
32		B100-7-3	152	298	3,60	47,1	3,36	0,26	171,6	120,5	68,17	3,00	35021	88,24	113,40	113,40	1,37	1,06	1,06
33		B150-3-3	152	298	3,60	28,7	3,36	0,38	91,6	138,0	44,04	2,24	30185	66,61	89,10	89,10	2,07	1,55	1,55
34		B150-7-3	152	298	3,60	46,6	3,36	0,38	116,8	133,4	67,51	2,98	34909	87,69	112,80	112,80	1,52	1,18	1,18

№	Автор	Образец	b (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f_c (МПа)	μ_s (%)	μ_{sw} (%)	R_{sw} (МПа)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CII} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CII2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$
35	Johnson and Ramirez (1989)	1	304	538	3,10	36,4	2,49	0,14	280,1	338,8	54,05	2,57	32416	274,56	330,26	330,26	1,23	1,03	1,03
36		2	304	538	3,10	36,4	2,49	0,07	560,2	222,1	54,05	2,57	32416	274,56	330,26	330,26	0,81	0,67	0,67
37		7	304	538	3,10	51,3	2,49	0,07	665,1	280,9	73,72	3,16	35930	334,93	391,22	391,22	0,84	0,72	0,72
38		8	304	538	3,10	51,3	2,49	0,07	665,1	258,3	73,72	3,16	35930	334,93	391,22	391,22	0,77	0,66	0,66
39	Xie et al. (1994)	NNW-3	127	203	3,00	40,7	3,20	0,49	84,6	87,1	59,72	2,75	33520	46,14	59,17	59,17	1,89	1,47	1,47
40	McGormley et al. (1996)	BUS-1	203	419	3,27	42,2	3,03	0,34	124,2	271,5	61,70	2,81	33886	155,45	195,63	195,63	1,75	1,39	1,39
41		EUS-1	203	419	3,27	43,2	3,03	0,34	125,7	298,1	63,02	2,85	34125	157,57	197,92	197,92	1,89	1,51	1,51
42		BUH-1	203	419	3,27	45,5	3,03	0,34	129,0	275,9	66,06	2,94	34660	162,39	203,10	203,10	1,70	1,36	1,36
43		EUH-1	203	419	3,27	44,4	3,03	0,34	127,4	307,0	64,61	2,90	34406	160,10	200,64	200,64	1,92	1,53	1,53
44		BUIS-2	203	419	3,27	35,3	3,03	0,34	113,6	315,9	52,60	2,53	32118	140,31	179,19	179,19	2,25	1,76	1,76
45		EUIS-2	203	419	3,27	48,3	3,03	0,34	132,9	311,5	69,76	3,05	35286	168,14	209,25	209,25	1,85	1,49	1,49
46		BUIH-2	203	419	3,27	50,0	3,03	0,34	135,2	333,7	72,00	3,12	35654	171,58	212,92	212,92	1,94	1,57	1,57
47		EUIH-2	203	419	3,27	50,5	3,03	0,34	135,9	320,4	72,66	3,13	35761	172,58	213,99	213,99	1,86	1,50	1,50
48		BUH-3	203	419	3,27	53,4	3,03	0,34	139,7	289,2	76,49	3,24	36365	178,34	220,09	220,09	1,62	1,31	1,31
49	Yoon et al. (1996)	N1-N	375	655	3,28	36,0	2,80	0,08	487,5	457,0	53,52	2,56	32308	409,74	510,61	510,61	1,12	0,90	0,90
50		N2-S	375	655	3,28	36,0	2,80	0,08	487,5	363,0	53,52	2,56	32308	409,74	510,61	510,61	0,89	0,71	0,71
51		N2-N	375	655	3,28	36,0	2,80	0,12	325,0	483,0	53,52	2,56	32308	409,74	510,61	510,61	1,18	0,95	0,95
52	Etxeberria (2004)	HR50-2	200	303	3,30	41,3	2,98	0,22	544,0	220,0	60,57	2,78	33677	156,64	184,50	184,50	1,40	1,19	1,19
53		HR50-3	200	303	3,30	41,3	2,98	0,17	544,0	176,0	60,57	2,78	33677	140,16	168,02	168,02	1,26	1,05	1,05
54		HR50-4	200	303	3,30	41,3	2,98	0,12	544,0	164,0	60,57	2,78	33677	123,68	151,53	151,53	1,33	1,08	1,08
55		HR100-2	200	303	3,30	39,8	2,98	0,22	544,0	189,5	58,47	2,71	33283	154,69	182,36	182,36	1,23	1,04	1,04
56		HR100-3	200	303	3,30	39,8	2,98	0,17	544,0	163,0	58,47	2,71	33283	138,20	165,88	165,88	1,18	0,98	0,98
57		HR100-4	200	303	3,30	39,8	2,98	0,12	544,0	168,0	58,47	2,71	33283	121,72	149,39	149,39	1,38	1,12	1,12
58		HC-2	200	303	3,30	41,9	2,98	0,22	544,0	213,0	61,31	2,80	33813	157,33	185,25	185,25	1,35	1,15	1,15
59		HC-3	200	303	3,30	41,9	2,98	0,17	544,0	177,0	61,31	2,80	33813	140,84	168,76	168,76	1,26	1,05	1,05
60		HC-4	200	303	3,30	41,9	2,98	0,12	544,0	187,5	61,31	2,80	33813	124,36	152,28	152,28	1,51	1,23	1,23
61	Cladera and Mari (2005)	H50/2	200	353	3,01	49,9	2,28	0,11	417,4	177,6	71,87	3,11	35633	142,25	162,20	162,20	1,25	1,10	1,10
62		V24RC	200	303	3,30	39,3	2,98	0,12	500,0	164,3	57,88	2,69	33170	117,96	145,58	145,58	1,39	1,13	1,13
63		V17RC	200	303	3,30	41,5	2,98	0,17	500,0	177,0	60,78	2,78	33716	135,82	163,70	163,70	1,30	1,08	1,08
64		V13RC	200	303	3,30	40,5	2,98	0,22	500,0	233,6	59,46	2,74	33470	149,75	177,51	177,51	1,56	1,32	1,32
65		V24CC	200	303	3,30	39,2	2,98	0,12	500,0	128,0	57,74	2,69	33144	117,84	145,44	145,44	1,09	0,88	0,88
66		V17CC	200	303	3,30	39,1	2,98	0,17	500,0	150,8	57,61	2,69	33119	132,87	160,46	160,46	1,13	0,94	0,94
67		V13CC	200	303	3,30	37,7	2,98	0,22	500,0	190,3	55,76	2,63	32759	146,27	173,68	173,68	1,30	1,10	1,10
68		Ajdukiewicz and	ORN-Ib2	200	250	3,20	36,6	1,60	0,28	234,1	118,0	54,31	2,58	32469	97,31	101,74	101,74	1,21	1,16
69	GRN-Ib2		200	250	3,20	39,3	1,60	0,28	234,1	116,5	57,88	2,69	33170	100,10	104,13	104,13	1,16	1,12	1,12

№	Автор	Образец	b (мм)	h_0 (мм)	a/h_0	f_c (МПа)	μ_s (%)	μ_{sw} (%)	R_{sw} (МПа)	Q_{exp} (кН)	R_m (МПа)	R_{btm} (МПа)	E_b (МПа)	Q_{CI} (кН)	Q_{MT1} (кН)	Q_{MT2} (кН)	$\frac{Q_{exp}}{Q_{CI2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$
70	Kliszczewicz (2007)	BRN-lb2	200	250	3,20	35,8	1,60	0,28	234,1	120,5	53,26	2,55	32254	96,47	101,02	101,02	1,25	1,19	1,19
71		BNN-lb2	200	250	3,20	39,6	1,60	0,28	234,1	115,5	58,27	2,71	33245	100,41	104,39	104,39	1,15	1,11	1,11
72	Lee and Kim (2008)	L1-B	350	410	3,00	40,8	1,79	0,18	230,7	428,0	59,86	2,75	33544	257,20	277,42	277,42	1,66	1,54	1,54
73		L2-B	350	400	3,00	40,8	3,21	0,18	230,7	509,0	59,86	2,75	33544	250,93	322,01	322,01	2,03	1,58	1,58
74		L3-B	350	385	3,00	40,8	4,76	0,18	230,7	633,0	59,86	2,75	33544	241,52	346,15	346,15	2,62	1,83	1,83
75		L4-B	220	280	3,00	30,5	0,93	0,16	224,4	183,0	46,20	2,32	30741	93,49	84,77	93,49	1,96	2,16	1,96
76		L5-B	220	280	3,00	30,5	1,86	0,16	224,4	206,0	46,20	2,32	30741	93,49	104,69	104,69	2,20	1,97	1,97
77		L6-B	220	260	3,00	30,5	2,79	0,16	224,4	254,0	46,20	2,32	30741	86,82	109,57	109,57	2,93	2,32	2,32
78		S1-B	350	410	2,00	40,8	2,24	0,18	230,7	697,0	59,86	2,75	33544	306,61	356,19	356,19	2,27	1,96	1,96
79		S2-B	350	410	3,00	40,8	2,24	0,18	230,7	443,0	59,86	2,75	33544	257,20	296,87	296,87	1,72	1,49	1,49
80		S3-B	350	410	4,00	40,8	2,24	0,18	230,7	462,0	59,86	2,75	33544	257,20	296,87	296,87	1,80	1,56	1,56
81		S4-B	220	280	3,00	30,5	1,40	0,16	224,4	203,0	46,20	2,32	30741	93,49	96,07	96,07	2,17	2,11	2,11
82		S5-B	220	280	4,00	30,5	1,40	0,16	224,4	185,0	46,20	2,32	30741	93,49	96,07	96,07	1,98	1,93	1,93
83		S6-B	220	280	5,00	30,5	1,40	0,16	224,4	165,0	46,20	2,32	30741	93,49	96,07	96,07	1,76	1,72	1,72
84		C1-B	350	410	3,00	19,7	2,24	0,13	221,9	408,0	32,04	1,82	26963	171,68	210,94	210,94	2,38	1,93	1,93
85		Fathifazi et al. (2009)	EM-6S-D	200	301	2,70	41,6	4,00	0,5	530,0	341,0	60,91	2,79	33740	243,41	283,13	283,13	1,40	1,20
86	EV-3S-R		200	301	2,70	49,1	2,46	0,25	530,0	235,0	70,81	3,08	35461	172,50	192,71	192,71	1,36	1,22	1,22
87	EV-6S-D		200	301	2,70	49,1	4,00	0,5	530,0	327,0	70,81	3,08	35461	252,26	293,90	293,90	1,30	1,11	1,11
88	Ignjatovic (2013)	RAC50-3b	200	235	4,20	33,4	4,09	0,19	300,0	156,9	49,73	2,43	31601	83,99	113,59	113,59	1,87	1,38	1,38
89		RAC100-3b	200	235	4,20	34,5	4,09	0,19	300,0	163,4	50,98	2,47	31893	84,94	114,77	114,77	1,92	1,42	1,42
90		NAC3b	200	235	4,20	30,8	4,09	0,19	300,0	159,9	46,56	2,33	30831	81,54	110,54	110,54	1,96	1,45	1,45

ПРИЛОЖЕНИЕ 5



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет»
(СПбГАСУ)

ул. 2-я Красноармейская, д. 4, Санкт-Петербург, 190005

28.04.2025 № 08/14-2

[Об акте внедрения в учебный процесс]



«УТВЕРЖДАЮ»
Первый проректор

С. Г. Головина
2025 г.

апреля

АКТ ВНЕДРЕНИЯ В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС
результатов диссертационной работы Ле Куанг Хюи
на соискание учёной степени кандидата наук по специальности
2.1.1 – Строительные конструкции, здания и сооружения

Тема диссертационного исследования «Развитие метода расчета железобетонных балок по наклонному сечению на действие поперечных сил с учетом продольного армирования» соответствует п.2 раздела III «Концепции подготовки кадров до 2035 года», целям и задачам «Стратегии развития строительной отрасли до 2030 года».

Предложенный метод расчета железобетонных балок по наклонному сечению с учетом влияния продольной растянутой арматуры позволяет студентам лучше понять работу железобетонных балок при поперечном изгибе и ознакомить их с новым методом расчета изгибаемых элементов по наклонным сечениям,

Результаты исследований Ле Куанг Хюи прошли апробацию в учебном процессе и отражены в рабочей программе дисциплины «Железобетонные и каменные конструкции» по направлению подготовки 08.03.01 Строительство: промышленное и гражданское строительство.

Представленные автором результаты исследований рассмотрены на заседании кафедры железобетонных и каменных конструкций (Протокол № 08 от 11.03.2025) и на Учебно-методической комиссии строительного факультета № 8 от 27.03.2025.

Заведующий кафедрой
Железобетонных и каменных
конструкций, доцент, к.т.н.

А.О. Хегай

Декан строительного факультета,
доцент, к.т.н.

А. Н. Никулин

CÔNG TY CP KIẾN TRÚC VÀ XÂY DỰNG VIETARCH*Hà Nội, Việt Nam*

Hội đồng khoa học luận án tiến sĩ 24.2.380.01

CHỨNG NHẬN

Về việc áp dụng kết quả nghiên cứu luận án tiến sĩ của Lê Quang Huy với đề tài:
**«Phát triển phương pháp tính toán dầm bê tông cốt thép theo tiết diện
nghiêng dưới tác dụng của lực ngang có tính đến cốt thép dọc»**

Bằng chứng nhận này chúng tôi thông báo cho hội đồng bảo vệ luận án tiến sĩ và tiến sĩ khoa học **24.2.380.01** tại Đại học Kiến trúc – Xây dựng Saint Petersburg rằng kết quả nghiên cứu của Lê Quang Huy về đề tài: **«Phát triển phương pháp tính toán dầm bê tông cốt thép theo tiết diện nghiêng dưới tác dụng của lực ngang có tính đến cốt thép dọc»** cho mức độ tiến sĩ khoa học kỹ thuật chuyên ngành 2.1.1 – Kết cấu xây dựng, tòa nhà và công trình được sử dụng ở công ty **CP Kiến trúc và Xây dựng VIETARCH** để tính toán và kiểm tra khả năng chịu lực trên tiết diện nghiêng của dầm bê tông cốt thép ở giai đoạn thiết kế sơ bộ.

Công ty CP Kiến trúc và Xây dựng VIETARCH

Giám đốc

Lê Thị Thanh Thảo

ЗАО «АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО VIETARCH»*Ханой, Вьетнам*

Диссертационный совет 24.2.380.01

СПРАВКА

О внедрении результатов диссертации Ле Куанг Хюи на тему:
«Развитие метода расчета железобетонных балок по наклонному сечению на действие поперечных сил с учетом продольного армирования»

Настоящей справкой информируем диссертационный совет **24.2.380.01** по защите докторских и кандидатских диссертаций при Санкт-Петербургском государственном архитектурно-строительном университете в том, что результаты диссертационных исследований Ле Куанг Хюи на тему **«Развитие метода расчета железобетонных балок по наклонному сечению на действие поперечных сил с учетом продольного армирования»** на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.1 – Строительные конструкции, здания и сооружения приняты к использованию в ЗАО «Архитектура и Строительство VIETARCH» для расчета и проверки несущей способности железобетонных балок по наклонному сечению на стадии предварительного проектирования.

ЗАО «АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО VIETARCH»

Директор



Ле Гхи Тхань Тхао