

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Архитектурно-строительный институт
Кафедра «Городское строительство и хозяйство»

08.04.01 «Строительство»
направленность (профиль) «Техническая эксплуатация и реконструкция
зданий и сооружений»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему «Исследование диаграмм деформирования бетона в отечественных и
зарубежных нормах для расчета железобетонных конструкций»

Студент(ка)

Р.Р. Дзюба

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель
Консультанты

В.А. Ерышев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель программы д.т.н., профессор В.А. Ерышев

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

«___» _____ 20___ г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент Д.С. Тошин

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

«___» _____ 20___ г.

Тольятти 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1 Описание диаграмм деформирования бетона в отечественных и зарубежных нормах.....	6
1.1 Описание прямолинейных диаграмм деформирования бетона по СП 63.13330-2012.....	10
1.1.1 Описание двух линейной диаграммы деформирования бетона.....	10
1.1.2 Описание трех линейной диаграммы деформирования бетона	12
1.2 Описание криволинейных диаграмм деформирования бетона	13
1.3 Описание криволинейных диаграмм деформирования бетона по европейским нормам согласно СНБ 5.03.01-02	20
1.3.1 Упругие деформации бетона.....	20
1.3.2 Диаграммы деформирования (состояния) бетона при одноосном напряженном состоянии	23
Выводы по 1 главе.....	26
Глава 2. Сравнительный анализ деформаций для диаграмм, действующих в нормативных документах	27
2.1 Описание сравнительного анализа	27
2.2 Описание составления программ.....	31
2.3 Принцип составления программ.....	32
2.4 Описание построения диаграмм деформирования бетона по методу Н.И.	
2.5 Описание программы построения диаграммы деформирования бетона по методу Н.И. Карпенко для определения напряжения σ_b через уровень относительных деформаций ε_b	40
2.6 Описание программы построения диаграммы деформирования бетона по методу применяемому в Европе (СНБ 5.03.01-02) для определения уровень напряжения σ_b , через уровень относительных деформаций ε_b	43
2.7 Сравнение результатов построения диаграмм деформирования бетона	45
Выводы по 2 главе.....	47
Глава 3 Описание эксперимента.....	48

3.1 Вводный инструктаж	48
3.2 Техника безопасности.....	49
3.3 Проведение эксперимента.....	50
3.4 Результаты экспериментальных исследований.....	53
Выводы по 3 главе.....	58
Глава 4 Расчет сечения железобетонного элемента по прочности	59
4.1 Уравнение равновесия внутренних усилий в нормальном сечении железобетонного элемента	59
4.2 Расчет прочности железобетонного элемента по двухлинейной диаграмме	60
Выводы по 4 главе.....	74
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	75
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ.....	76
СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	77
ПРИЛОЖЕНИЕ А	81

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Бетон – одно из удивительнейших изобретений созданным человеком для улучшения качества проживания людей, путем создания сооружений из искусственного камня. Происхождение искусственного камня (бетона) лежит в глубокой древности, когда многие народы планеты в V-III веке до н.э. начали применять соединения извести, гравия, глины и воды для создания небольших блоков, благодаря которым возводили величайшие строения, некоторые из которых сохранились и по сей день.

Сейчас XXI век и способ изготовления железобетонных конструкций значительно изменился, вместе с ним изменились требования и контроль качества изготовленных конструкций. Требования и качество ведется с самого начала изготовления бетона от выбора фракции крупного и среднего заполнителя и выбора вяжущего вещества до испытания пробных образцов которые достигли хотя бы 80% своей твердости.

На данный момент самый точный способ определения характеристик бетона является натурные испытания пробных бетонных изделий (кубы, призмы, цилиндры) из партии готовой продукции. Полученные результаты используются для расчета, по результатам которого можно определить предельные характеристики конструкций в целом. Расчет построен на основе диаграммного метода, который наглядно показывает работу бетона под нагрузкой и подробно описан в нормативном документе [4] и является основным методом в РФ. Стоит отметить, что диаграммные методы расчета деформирования бетона в Европейских странах совершенно отличаются друг от друга и требует более глубокого изучения.

Именно поэтому моя Магистерская диссертация на тему «Исследование диаграмм деформирования бетона в отечественных и зарубежных нормах для расчета железобетонных конструкций» является актуальной.

Цели: Целью данной работы является изучение изменения геометрических характеристик бетона, возникающие в результате напряжения под воздействием внешних нагрузок, путем сравнения алгоритмов построения диаграмм деформирования бетона, используемые в РФ и Европейских нормах для последующего расчета железобетонных конструкций.

Задачи диссертационной работы:

- Провести анализ наиболее точных вариантов построения диаграмм деформирования бетона в отечественных и зарубежных нормах представляющих собой зависимость « $\sigma_b - \varepsilon_b$ ».
- Разработать аналитическую зависимость построения криволинейных диаграмм деформирования бетона.
- Разработать алгоритм сравнения диаграмм построенные по отечественным и зарубежным нормам.
- Реализовать алгоритм сравнения в доступном программном комплексе (за основу взят Microsoft Excel)
- Провести анализ сравнения вариантов построения диаграмм деформирования бетона в отечественных и зарубежных нормах.

Методы исследования: в процессе выполнения работ в рамках магистерской диссертации был применен метод основанный на теории.

Новизна диссертации: Данная работа представляет собой алгоритм необходимый для сравнения результатов построения криволинейных диаграмм деформирования бетона по отечественным и зарубежным нормам с постоянным уровнем нагружения.

Применение: Данный алгоритм может служить основой для сравнения расчетов изгибаемых железобетонных элементов по отечественным и зарубежным нормам.

Объем и структура диссертации: Данная диссертационная работа состоит из 4 глав, библиографического списка из 32 наименования и приложений, изложенная на 79 страницах машинописного текста с содержанием, 16 рисунков, 6 таблиц, 1 приложений.

Глава 1 Описание диаграмм деформирования бетона в отечественных и зарубежных нормах

Бетон – искусственный материал состоящий из заполнителей природного характера в комплексе которые образуют единую монолитную схему в составе которой лежат 3 компонента, благодаря которым материал имеет повышенную прочность: крупный заполнитель, мелкие заполнитель и связующее вещество. Прочность и плотность бетона зависят от вида крупного заполнителя. Чаще всего используются заполнители диаметром $d_3 = 10 \dots 40$ мм в виде гравия или щебня из плотных горных пород (для тяжелых бетонов плотностью $2,2 \dots 2,4 \text{ т/м}^3$) или пористых каменных материалов естественного или искусственного происхождения типа керамзита, перлита, аглоперита (для легких бетонов плотностью $1,3 \dots 1,8 \text{ т/м}^3$). Плотность заполнителя влияет на характер разрушения структуры бетона. Различают две схемы разрушения – по матрице в обход зерен плотного заполнителя и с разрывом матрицы и зерен пористого заполнителя.

Матрицу цементно-песчаного раствора можно рассматривать как менее крупную структуру – мезоструктуру, где в качестве заполнителя выступают частицы песка $2 - 5$ мм, а в качестве матрицы – затвердевший цементный камень ($1'$, $2'$, рис. 1.1, б). Цементный камень имеет весьма сложную и довольно тонкую структуру более мелкого масштаба – микроструктуру (рис. 1.1, в). Заполнителем в этой структуре является непрогидратированные зерна цемента, а в качестве матрицы – сrostки субмикроркристаллов. В свою очередь матрице субмикроркристаллов свойственны также микротрещины, поры, капиллярные пустоты с заполнением газообразной и остаточной (после твердения) жидкой, а также некоторой полужидкой (аморфной) фазами.

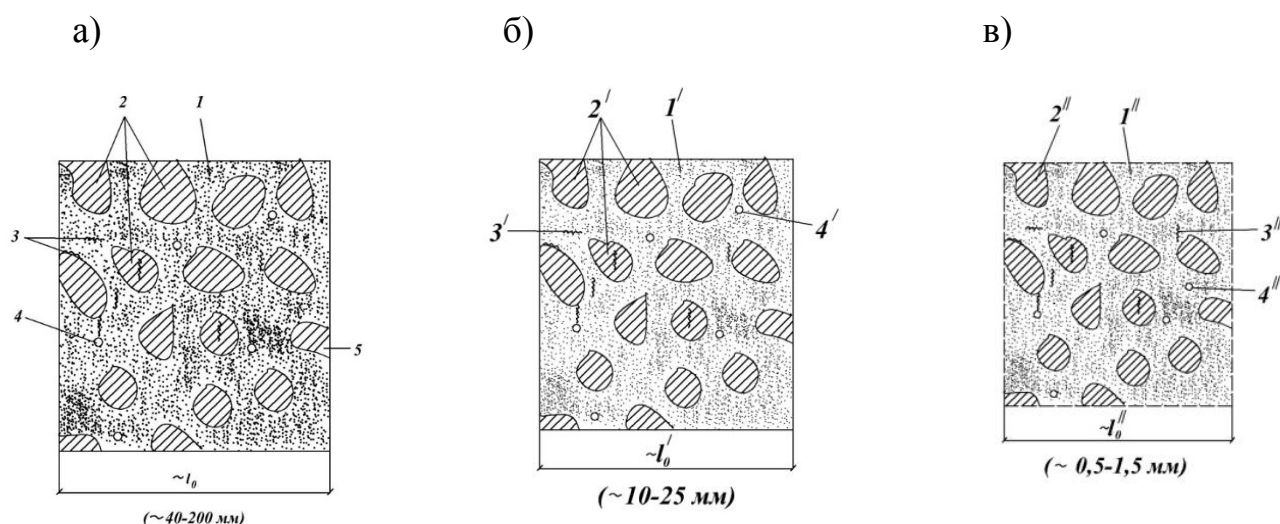


Рисунок 1.1 - Структура бетона (а) и его компонент (б, в)

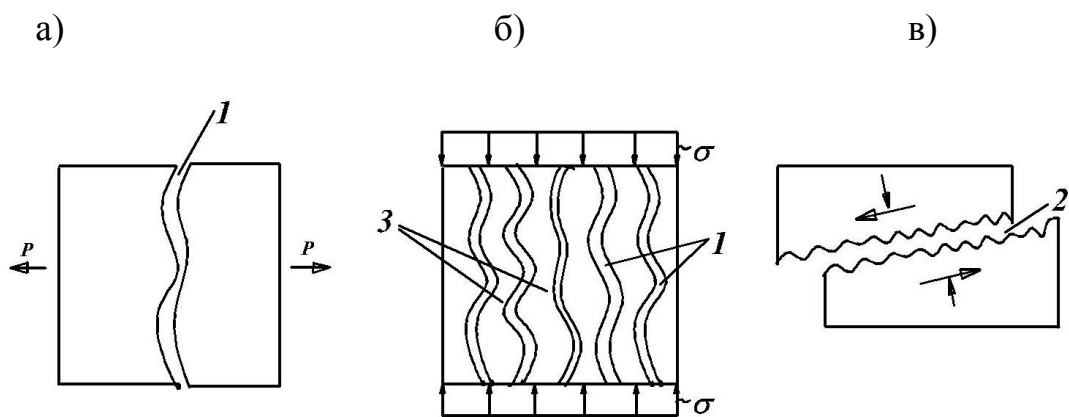
С этими фазами связаны важные свойства бетона, такие как ползучесть, усадка, набухание и др. Структура цементного бетона связана с его возрастом и условиями твердения. С точки зрения механики твердого тела бетонам присущи некоторые общие основополагающие свойства: локальная неоднородность, трещиноватость, физическая нелинейность (нелинейность связей между напряжениями и деформациями), конструкционная и приобретаемая анизотропия.

Разрушение бетона как материала начинается с микроразрушений отдельных элементов его структуры, которые затем развиваются и приводят к разрушению более крупных объемов, к потере несущей способности конструкций.

Источником микроразрушений являются дефекты структуры бетона (микротрещины, поры, полости), где при нагружении элемента концентрируются напряжения. Коэффициент концентрации напряжений (коэффициент превышения их средних напряжений по площади нагружения элемента) для пор в упругом материале составляет 3-10, а в вершинах трещин он может достигать $10^2 - 10^3$. Поэтому, при небольших значениях средних растягивающих напряжений в элементе, у кончиков трещин, напряжения могут достигать предельных значений, и в хрупких материалах появляется тенденция к неограниченному росту трещин (развитие трещин в упругих

материалах моделируется методами механики разрушения, которая в последние десятилетия успешно развивается). Этим во многом объясняется низкая прочность бетона на растяжение по сравнению со сжатием, однако фактическая прочность бетона на растяжение с учётом тех же значений коэффициентов концентрации напряжений значительно выше, чем у хрупких материалов. Бетон при растяжении и сжатии ведёт себя как нелинейный материал. Объясняется это тем, что в отличие от однородных упругих материалов (сталь, стекло и т.д.) микротрещины в бетоне на своём пути развития встречают преграды в виде зёрен заполнителя, трещин иного направления, пор, разрыхлённых участков цементного камня и тормозятся; уменьшается концентрация напряжений.

Таким образом, неоднородная структура бетона, с одной стороны, является причиной возникновения внутренних трещин, а с другой – фактором, препятствующим их развитию. Существует два механизма разрушения, когда микротрещины объединяются в магистральную: отрывной (рис.1.2, а, б); сдвиговой (рис. 1.2, в).



а, б - отрывной; в – сдвиговой; 1 – трещины отрыва одной части элемента от другой; 2 – трещина сдвига; 3 – полосы бетона между трещинами отрыва

Рисунок 1.2 - Механизм разрушения бетона

Отрывной механизм реализуется при осевом растяжении элемента или в средней части линейного элемента при сжатии, когда его часть разделяется трещинами на полосы по направлению действия силы, которые могут разрушаться от потери устойчивости. Данный механизм разрушения бетона является основным при построении диаграмм деформирования бетона.

Для построения диаграмм деформирования бетона были взяты основные характеристики второй группы предельных состояний из СП 63.13330.2012.

Различают 2 вида диаграмм деформирования бетона – прямолинейные и криволинейные диаграммы. За основу построения данных диаграмм лежит зависимость « $\sigma_b - \varepsilon_b$ » где σ_b - напряжение внутри бетонной конструкции, а ε_b – деформации которые появляются в бетоне при определённом уровне напряжения.

Прямолинейные диаграммы деформирования бетона представляют собой диаграммы, описывающие работу деформирования бетона с помощью прямых линий. К разновидностям прямолинейных диаграмм деформирования бетона относятся 2ух и 3ех линейные диаграммы, которые на данный момент являются основными для расчета железобетонных конструкций в Российской Федерации и приводится в СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»

Криволинейные диаграммы деформирования бетона представляют собой кривую состоящую из массива точек описывающую работу бетона где при определенном уровне нагружения появляется определённый уровень деформации и наоборот. Криволинейные диаграммы широкого применения в Российской Федерации не имеют, однако многие ученые вплотную занимаются изучением данного вопроса включая Карпенко Н.И. чей метод построения нелинейных диаграмм был применён в данной работе. В Европейских же нормах наоборот криволинейный способ построения диаграмм является основным. Чтобы понять принцип построения криволинейных диаграмм деформирования бетона применяемого в Европе за основу был взят нормативный документ СНБ 5.03.01–02 «Бетонные и железобетонные конструкции» применяемый для расчета железобетонных конструкций в республике Беларусь.

1.1 Описание прямолинейных диаграмм деформирования бетона по СП 63.13330-2012

1.1.1 Описание двух линейной диаграммы деформирования бетона

В качестве расчетных диаграмм состояния бетона, определяющих связь между напряжениями и относительными деформациями, в нормативной литературе принимают трехлинейную и двухлинейную диаграммы (рис. 1.3). Диаграммы состояния бетона используют при расчете железобетонных элементов по нелинейной деформационной модели.

Принцип построения двух линейной диаграммы деформирования бетона заключается в построении диаграммы, показывающую зависимость напряжения от относительных деформаций бетона с помощью двух линий. В отечественной нормативной литературе приводится в СП 63.13330.2012. Зависимость уровня сжимающего напряжения σ_b от относительных деформаций бетона ε_b определяются по формулам:

$$\text{При } 0 \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b1},$$

$$\varepsilon_{b1} = \frac{\sigma_{b1}}{E_b}, \quad (1)$$

$$\sigma_b = E_{b,red} \varepsilon_b, \quad (2)$$

При $\varepsilon_{b1} \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b2}$

$$\sigma_b = R_b, \quad (3)$$

где ε_b - промежуточные деформации; ε_{b0} – относительные деформации при максимальном напряжении; ε_{b1} – значение деформаций при σ_{b1} ; σ_{b1} – значение напряжения для построения трёхлинейной диаграммы при $\sigma_{b1} = 0,6 * \sigma_b$ $\sigma_b = R_b$ – промежуточные напряжения; $E_{b,red} = E_b$ – модуль упругости.

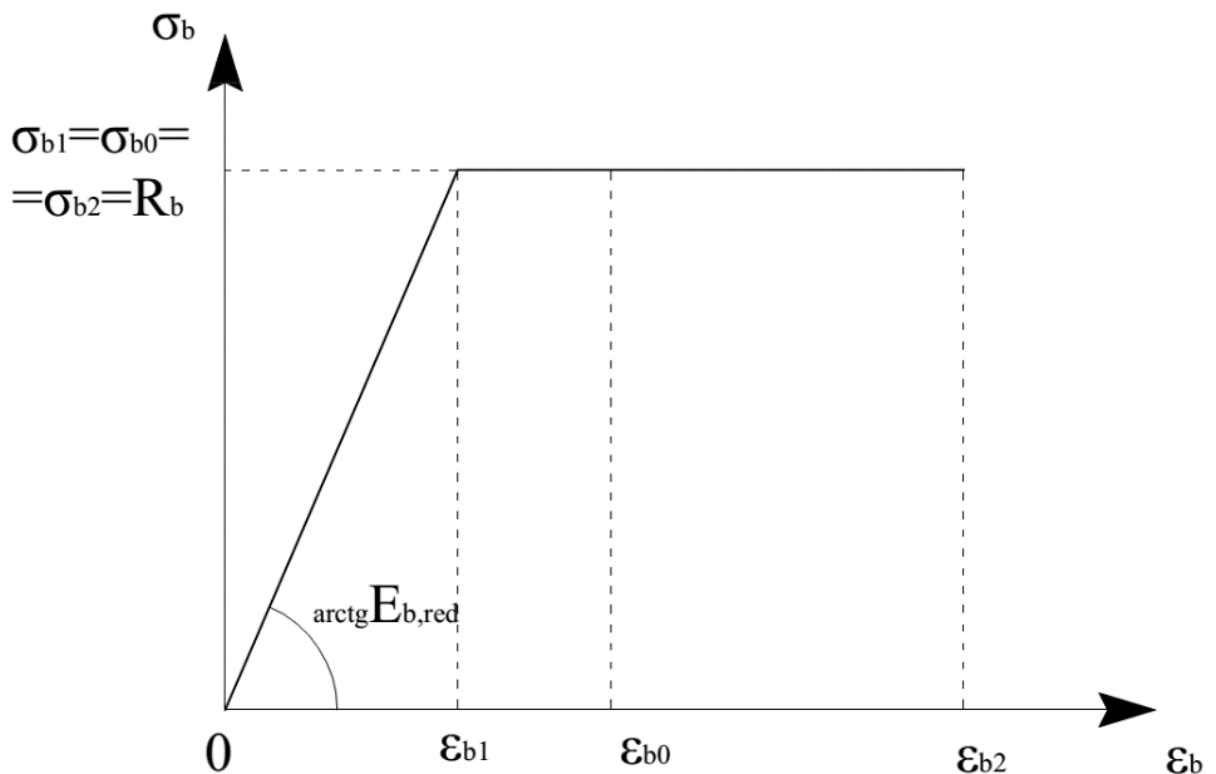


Рисунок 1.3 - Двух линейная диаграмма деформирования бетона на сжатие

1.1.2 Описание трех линейной диаграммы деформирования бетона

Принцип построения трех линейной диаграммы (рис. 1.4) заключается в построении диаграммы, показывающие зависимость напряжения от относительных деформаций бетона с помощью трех линий. В отечественной нормативной литературе также приводится нормативном документе в СП 63.13330-2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения». Зависимость уровня сжимающего напряжения σ_b от относительных деформаций бетона ε_b определяются по формулам:

При $0 \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b1}$

$$\sigma_b = E_b \varepsilon_b; \sigma_{b1} = 0.6 * R_b, \quad (4)$$

При $\varepsilon_{b1} \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b0}$

$$\sigma_b = 1 - \frac{\sigma_{b1}}{R_b} \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_{b1}}{\varepsilon_{b0} - \varepsilon_{b1}} + \frac{\sigma_{b1}}{R_b} R_b, \quad (5)$$

При $\varepsilon_{b0} \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b2}$; $\sigma_b = R_b$

где ε_b - промежуточные деформации; ε_{b0} – относительные деформации при максимальном напряжении; ε_{b1} – значение деформаций при σ_{b1} ; σ_{b1} – значение напряжения для построения трёхлинейной диаграммы при $\sigma_{b1} = 0,6 * \sigma_b$ $\sigma_b = R_b$ – промежуточные напряжения; $E_{b,red} = E_b$ – модуль упругости

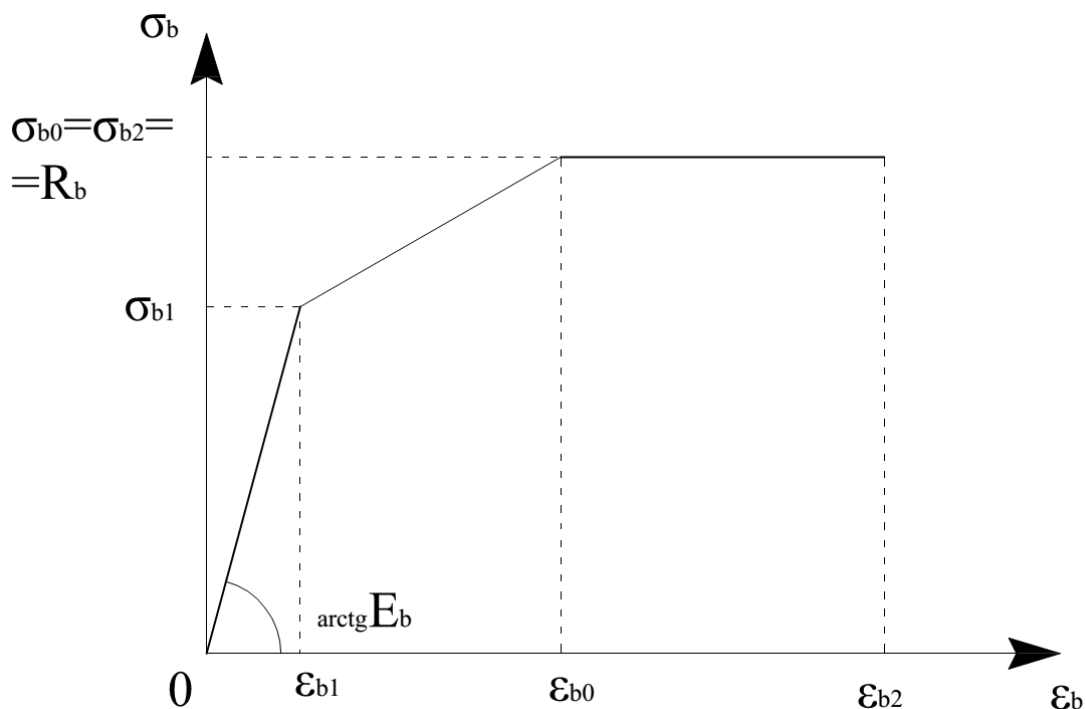


Рисунок 1.4 - Трех линейная диаграмма деформирования бетона на сжатие

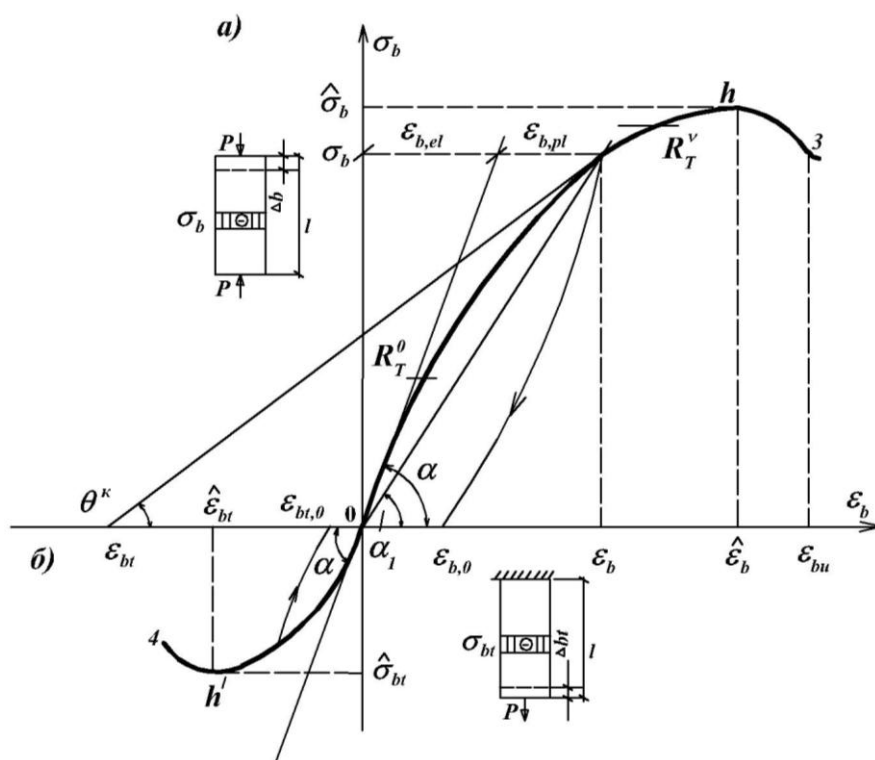
Линейные диаграммы учитывают только нелинейность деформаций ползучести и не описывают нелинейность упруго – мгновенных деформаций. В расчетах на прочность при проектировании конструкций на длительные эксплуатационные нагрузки статического характера такой подход вполне объясним. При кратковременных нагружениях, нагрузках динамического, сейсмического характера, изменяющихся по некоторым циклическим закономерностям, расчет конструкций необходимо выполнять с учетом необратимости части нелинейных упруго - мгновенных деформаций, их деформаций 2-го рода и псевдопластических деформаций.

Бетон в этом случае характеризуется нелинейными зависимостями между напряжениями и деформациями (нелинейными физическими соотношениями), а диаграммы имеют криволинейный вид.

1.2 Описание криволинейных диаграмм деформирования бетона

Связь деформативных и прочностных свойств бетона, как всякого другого материала, отражается в диаграммах « $\varepsilon_b - \sigma_b$ » сжатия (рис. 1.5, а) и « $\varepsilon_{bt} - \sigma_{bt}$ » растяжения (рис. 1.5, б), которые строятся по результатам

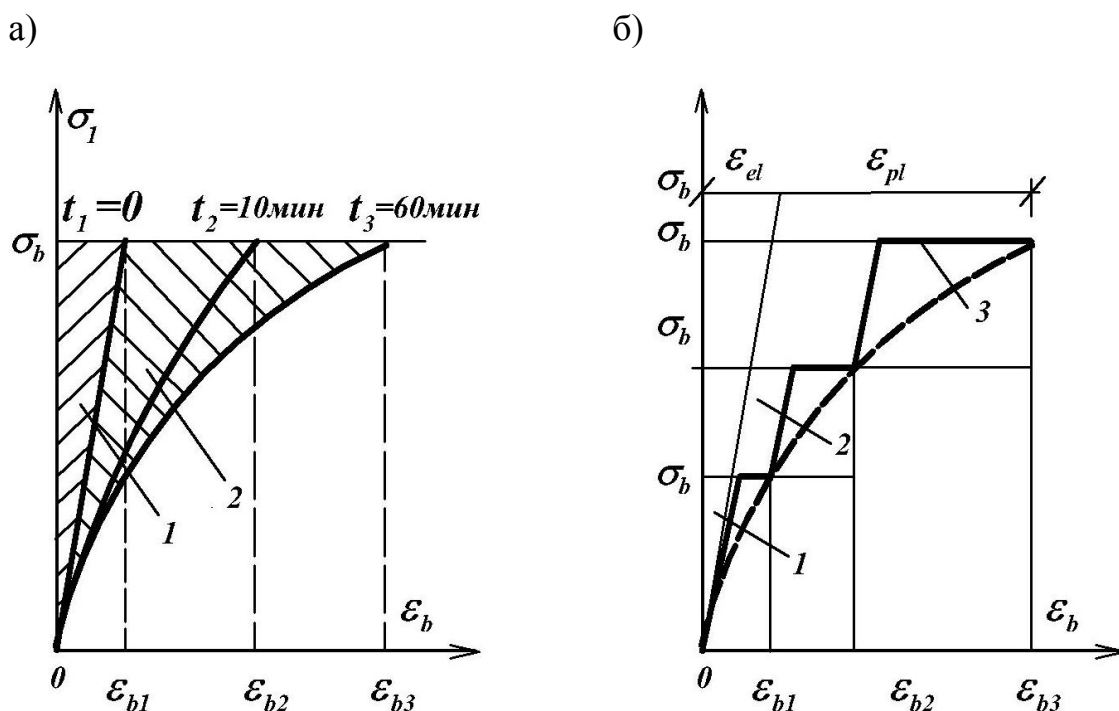
испытаний стандартных образцов на сжатие или растяжение при пропорциональном увеличении нагрузки ступенями до разрушения. На каждой ступени нагружения по динамометру контролируется величина нагрузки P и измеряются на гранях образцов абсолютные значения деформаций укорочения Δ_b – при сжатии и удлинения Δ_{bt} – при растяжении. Результаты измерений заносятся в протокол испытаний и вычисляются значения напряжений $\sigma_{b,bt}=P/A_b$, где A_b - площадь сечения образца, и относительные деформации сжатия $\varepsilon_b = \Delta_b / \ell$ или растяжения $\varepsilon_{bt} = \Delta_{bt} / \ell$, где ℓ - высота образца (база измерения). Величина деформаций на заданном уровне напряжений σ_b (рис. 1.5, а) зависит от скорости нагружения. С ростом времени выдержки образца под нагрузкой на каждой ступени деформации увеличиваются (рис. 1.5, б). Поэтому базой для построения общих моделей служат результаты исследования диаграмм при кратковременных испытаниях бетонных элементов: 60 мин при сжатии; 20 мин при растяжении.



а – на сжатие; б – на растяжение

Рисунок 1.5. - Диаграммы деформирования бетона

Такие диаграммы являются некоторыми исходными. Обычно выделяют два режима испытания – с постоянными скоростями роста деформаций и постоянными скоростями напряжений. За эталон принимается режим испытания с постоянными скоростями роста деформаций, который приводит к выявлению двухветвевых диаграмм деформирования бетона при растяжении (oh^4) и сжатии (oh^3). Такие диаграммы больше подходят к описанию реального деформирования «волокон» бетона в конструкциях. Двухветвевые диаграммы состоят из двух участков (ветвей): I – восходящих (до вершины h с предельными значениями напряжений на сжатие $\sigma_b = \sigma_b$ и деформаций $\varepsilon_b = \varepsilon_b$ – при сжатии и h' , соответственно, $\sigma_{bt} = \sigma_{bt}$; $\varepsilon_{bt} = \varepsilon_{bt}$ – при растяжении) и II – ниспадающих (h^3 и h^4). В испытаниях образцов с постоянными скоростями роста напряжений реализуется только восходящие участки диаграмм. Для реализации нисходящих участков необходимо обеспечить определенную скорость снижения напряжений вблизи и за вершиной диаграммы. В опытах скорости уменьшения напряжений (режимы нагружения) могут задаваться любыми, поэтому и ниспадающие ветви могут быть различными, в том числе проявляться частично или вовсе отсутствовать.



а - зависимость скорости нагружения; б - зависимость уровня напряжений при выдержке под нагрузкой: 1 – зона упругих деформаций; 2– зона пластических деформаций; 3– деформации при выдержке под нагрузкой.

Рисунок 1.6 - Диаграммы бетона

Свойственная бетону ползучесть в некоторые небольшие промежутки времени после приложения напряжений проявляется в малой степени. В связи с этим и главное для упрощения расчетов строят модели кратковременного и длительного нагружения. В кратковременных моделях учитываются быстронатекающие деформации ползучести, которые относят к неупругим деформациям, и время действия напряжений в явном виде не вводят. Основная задача заключается в установлении нелинейных зависимостей между напряжениями и деформациями и прежде всего при одноосном напряжении.

В настоящее время предложено большое количество подходов к описанию диаграмм. Среди них следует выделить некоторые теоретические подходы: А.А. Гвоздева - с позиции накопления повреждений, М.М. Холмянского - с позиции статистической теории прочности неоднородных композиций, разрушающихся хрупко или по отрывному механизму, В.М. Бондаренко - с некоторых энергетических позиций. В работах большинства

авторов предлагались или совершенствовались ранее предложенные феноменологические зависимости в виде полиномов, степенных, дробных и других функций. Наиболее полно ряду важных условий отвечает зависимость, предложенная академиком Н.И. Карпенко в работе «Общие модели механики железобетона».

В расчетах железобетонных конструкций с использованием диаграмм значения σ_b и σ_{bt} принимают равными нормативным значениям сопротивления бетона $R_{b,n}$ и $R_{bt,n}$, а иногда и расчетным R_b , R_{bt} характеристикам бетона при сжатии и растяжении. Диаграммы сжатия и растяжения существенно отличаются своими параметрами: сопротивление бетона растяжению на порядок меньше чем на сжатие, а предельные деформации на сжатие ε_b в 15 раз превышают ε_{bt} на растяжение

В отличие от прямолинейных диаграмм, которые описаны в нормативном документе, метод построения криволинейных диаграмм Н.И. Карпенко значительно отличается от метода построения диаграмм приведенного в нормативном документе СП 63.13330-2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения». Преимущество данного метода в том, что данные диаграммы наиболее точно и наглядно описывают работу бетона на осевое кратковременное сжимающее усилие. Построение криволинейной диаграммы деформирования бетона представляет собой массив точек который просчитан по алгоритму. Задаваясь напряжением σ_b определяют уровень относительных деформаций бетона « $\sigma_b - \varepsilon_b$ » и наоборот задаваясь уровнем относительных деформаций находят уровень напряжения « $\varepsilon_b - \sigma_b$ ». Для построения диаграмм деформирования бетона использую стандартные образцы которые изготавливаются согласно ГОСТ 24452-80 «Бетоны. Методы испытаний». В расчете учитывается только кратковременная нагрузка, приложенная к образцам без эксцентриситета. Рассматривается восходящий участок криволинейной диаграммы бетона на сжатие (oh), который реализуется при испытаниях стандартных образцов-призм при осевом нагружении с постоянными скоростями роста напряжений до разрушения

(σ_b, ε_b – соответственно предельные напряжения и предельные относительные деформации в вершине диаграммы). В рамках модели кратковременного нагружения при центральной сжатии диаграмма деформирования бетона представляется в виде (6)

$$\varepsilon_b = \frac{\sigma_b}{E_b \nu_b}, \quad (6)$$

$$\sigma_b = R_b; \varepsilon_{bu} = 0.0035$$

Где σ_b – напряжения, возмужаемые в бетоне под воздействием нагрузки, ε_b – относительный деформации укорочения бетона, E_b – начальный модуль упругости бетона, ν_b – коэффициент изменения секущего модуля. Произведение $E_b \nu_b$ образуют секущий модуль необходимый для построения криволинейной диаграммы.

Для восходящей ветви диаграммы коэффициент изменения секущего модуля ν_b имеет вид:

$$\nu_b = \nu_b + \nu_0 - \nu_b \sqrt{1 - \omega_1 \eta - \omega_2 \eta^2}, \quad (7)$$

$$\text{где } \eta = \frac{\sigma_b}{\sigma_b},$$

η – коэффициент уровня напряжения

ν_0 – значение коэффициента секущего модуля в начале диаграммы, при

$$\varepsilon_b \leq \varepsilon_b; \nu_0 = 1;$$

коэффициент ν_b находится в пределах $0 \leq \nu_b \leq 1$

$$\nu_b = \frac{\sigma_b}{\varepsilon_b \cdot E_b};, \quad (8)$$

ν_b - Предельное значение коэффициента изменения секущего в вершине диаграммы

σ_b – предельное напряжение

ε_b – деформации при предельном уровне нагружения находящегося в вершине диаграммы.

ω_1, ω_2 – переменные, определяющие кривизну диаграммы, зависящие от предельного значения секущего модуля в вершине диаграммы.

Для восходящей ветви определяются по формулам:

$$\omega_1 = 2 - 2,5 \cdot v_b; \omega_2 = 1 - \omega_1, \quad (9)$$

Принцип построения ниспадающей ветви имеет незначительное различие, нахождении коэффициента изменения секущего модуля v_b имеет вид:

$$v_b = v_b - v_0 - v_b \sqrt{1 - \omega_1 \eta - \omega_2 \eta^2}, \quad (10)$$

Где значение коэффициента секущего модуля в начале диаграммы v_0 отличается от значения при построении восходящей ветви и вычисляется по формуле:

$$\text{При } \varepsilon_b > \varepsilon_b; v_0 = 2,05 \cdot v_b, \quad (11)$$

Переменные ω_1, ω_2 , определяющие кривизну диаграммы для ниспадающей ветви определяются по формуле:

$$\omega_1 = 1,95v_b - 0,138; \omega_2 = 1 - \omega_1. \quad (12)$$

Алгоритм построения диаграммы деформирования бетона путем определения уровня напряжения σ_b через уровень относительных деформаций ε_b отличается от вышеизложенного алгоритма и имеет вид:

$$v_b = P + \sqrt{P^2 + S} \quad (13)$$

$$P = \frac{v_b[2v_b - \omega_1 \eta (v_0 - v_b)^2]}{2[v_b^2 + \omega_2 \eta^2 v_0 - v_b^2]}, \quad (14)$$

$$S = \frac{v_b^2(v_0^2 - 2v_0v_b)}{v_b^2 + \omega_2\eta^2 v_0 - v_b^2}, \quad (15)$$

где $\eta = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_b}$, $0 < v_b \leq 1$

Переменные v_b , v_0 , ω_1 , ω_2 , находятся также как и в предыдущем алгоритме, в зависимости от построения восходящей или нисходящей диаграммы.

Стоит отметить, что при нахождении предельного уровня напряжения σ_b через относительные уровни деформаций ε_b необходимо высчитывать алгоритм построения восходящей ветви, но в переменной S в числителе v_0 стоит принимать по формуле:

$$v_0 = 2,05 * v_b \quad (16)$$

1.3 Описание криволинейных диаграмм деформирования бетона по европейским нормам согласно СНБ 5.03.01-02

1.3.1 Упругие деформации бетона

Упругие деформации бетона зависят от его вида и технологических особенностей приготовления. Настоящие нормы устанавливают следующие базовые показатели, характеризующие упругие деформации бетонов:

— модуль упругости бетона E_{cm} (определяемый как тангенс угла наклона секущей между точками $\sigma_c = 0$ и $\sigma_c = 0,4f_{cm}$), значения которого для тяжелых и мелкозернистых бетонов следует принимать по таблице 1, а для модифицированных самоуплотняющихся бетонов — по таблице 6.2а.

Изменение модуля упругости бетона во времени $E_{cm}(t)$ может быть определено по формуле

$$E_{cm}(t) = \frac{f_{cm}(t)}{f_{cm}} \cdot E_{cm}, \quad (17)$$

где $f_{cm}(t)$ — средняя прочность бетона на сжатие к моменту времени t , определяемая по формулам;

f_{cm} — средняя прочность бетона в возрасте 28 сут, определяемая по таблице 6.1;

Европейский метод построения криволинейных диаграмм деформирования бетона значительно отличается от метода построения криволинейных диаграмм по методу Н.И. Карпенко и описан в нормативном документе СНБ 5.03.01-02.

Таблица 1 — Прочностные и деформационные характеристики тяжелых и мелкозернистых бетонов.

(По СНБ 5.03.01-02)

Характеристики, единицы измерения	Класс бетона по прочности на сжатие														
	C ⁸ /10	C ¹² /15	C ¹⁶ /20	C ²⁰ /25	C ²⁵ /30	C ³⁰ /37	C ³⁵ /45	C ⁴⁰ /50	C ⁴⁵ /55	C ⁵⁰ /60	C ⁵⁵ /67	C ⁶⁰ /75	C ⁷⁰ /85	C ⁸⁰ /95	C ⁹⁰ /105
f _{ck} , МПа	8	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
f _c ^G ,cube, МПа	10	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105
f _{cm} , МПа	16	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98
f _{ctm} , МПа	1,2	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0
f _{ctk,0,05} , МПа	0,85	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5
f _{ctk,0,95} , МПа	1,55	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,8
ε _{c1} , ‰	−1,7	−1,8	−1,9	−2,0	−2,1	−2,2	−2,25	−2,3	−2,4	−2,45	−2,5	−2,6	−2,7	−2,8	−2,8
ε _{cu1} , ‰	−3,5										−3,2	−3,0	−2,8	−2,8	−2,8
ε _{c2} , ‰	−2,0										−2,2	−2,3	−2,4	−2,5	−2,6
ε _{cu2} , ‰	−3,5										−3,1	−2,9	−2,7	−2,6	−2,6
n	2,0										1,75	1,60	1,45	1,40	1,40
ε _{c3} , ‰	−1,75										−1,8	−1,9	−2,0	−2,2	−2,3
ε _{cu3} , ‰	−3,5										−3,1	−2,9	−2,7	−2,6	−2,6
Примечание — Для мелкозернистых бетонов, приготовленных с применением песков, имеющих модуль крупности M _к = 2,0 и менее (группа Б), значения прочностных характеристик f _{ctm} , f _{ctk,0,05} , f _{ctk,0,95} следует умножать на поправочный коэффициент k _t = 0,65 + 6·10 ^{−3} · f _{c, cube} ^G .															

1.3.2 Диаграммы деформирования (состояния) бетона при одноосном напряженном состоянии

В качестве обобщенной характеристики механических свойств бетона при одноосном напряженном состоянии следует принимать диаграмму состояния (деформирования) бетона, устанавливающую связь между напряжениями σ_c и продольными относительными деформациями ε_c сжатого бетона при кратковременном действии однократно приложенной нагрузки вплоть до установленных предельных значений, отвечающих разрушению бетона при однородном напряженном состоянии.

В общем случае диаграмма деформирования (состояния) бетона при осевом кратковременном сжатии имеет криволинейное очертание с ниспадающей ветвью (рисунок 1.7).

Для описания полной диаграммы деформирования бетона в условиях осевого кратковременного сжатия при выполнении нелинейных расчетов конструкций допускается использовать следующую аналитическую зависимость

$$\frac{\sigma_c}{f_{cm}} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta}, \quad (18)$$

$$\eta = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1}}; k = \frac{1.1 E_{cm,n} * \varepsilon_{c1}}{f_{cm}}, \quad (19)$$

$$E_{cm,n} = 22 \frac{f_{cm}}{10}^{0,3}, \quad (20)$$

ε_{c1} – уровень относительных деформаций в пиковой точке диаграммы деформирования бетона, принимается по таблице 1 СНБ 5.03.01-02

f_{cm} – прочность бетона на осевое сжатие.

σ_c – уровень напряжения

η – коэффициент уровня напряжения

k – коэффициент обжатия

$E_{cm,n}$ - модуль упругости бетона

Пиковой точкой для описания диаграмм деформирования бетона считается максимальный уровень деформации f_{ck} который находится в вершине диаграммы.

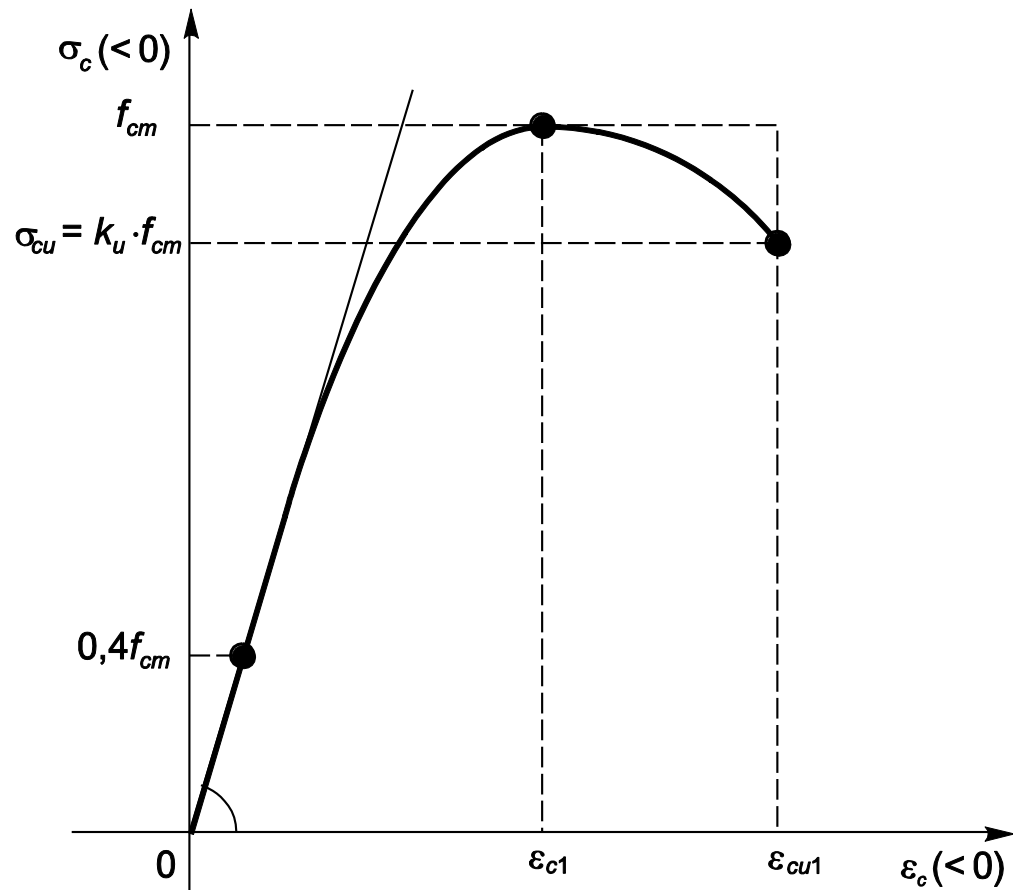


Рисунок 1.7 - График деформирования бетона по Европейским нормам

Чтобы максимально точно описать ниспадающую ветвь диаграммы деформирования бетона конечное значение уровня напряжения σ_{cu} имеет следующий вид:

$$\sigma_{cu} = k_u \cdot f_{ck}, \quad (21)$$

Значения k_u следует принимать исходя из марок по удобоукладываемости:

а) для классов бетона по прочности на сжатие ниже класса C^{55}_{67} ,

изготовленные из марок бетона по удобоукладываемости:

-П-5, РК1-РК6 - 0,75;

-П-3; П-4 -

0,80;

-П-1, П-2, жесткостями Ж1-Ж4, СЖ1-СЖ3 - 0,85;

б) для высокопрочных классов бетона C^{70}_{85} и выше -

0,90;

в) для напрягающих бетонов - 0,50;

Для предельных значений относительных деформаций в расчетах ε_{cu1} существуют ограничения и они не могут превышать значения указанные в таблице 6.1 СНБ 5.03.01-02.

Выводы по 1 главе

Построение диаграмм деформирования бетона осуществляется разными способами, с разными коэффициентами, влияющие на точность построения диаграмм, образуя отклонения, которые не позволяют точно описать фактическую зависимость $\varepsilon_b - \sigma_b$. Прямолинейные и криволинейные диаграммы деформирования бетона являются простейшими и имеют большие погрешности, но из-за своей простоты являются основными при расчете железобетонных элементов. Составляя диаграммы деформирования бетона, не зависимо от способа построения можно понять поведение бетона под воздействием нагрузок, которые позволяют определять при каких нагружениях, с какими деформациями укорочения бетона конкретного образца будет разрушен.

Глава 2. Сравнительный анализ деформаций для диаграмм, действующих в нормативных документах

2.1 Описание сравнительного анализа

Основным направлением данной работы является сравнение полученных результатов при построении диаграмм деформирования бетона в отечественных и зарубежных нормах путем сравнения зависимостей $\varepsilon_b - \sigma_b$. Для сравнения построения диаграмм деформирования бетона были выбраны 2 метода наиболее точно описывающее влияние напряжение на появления относительных деформаций, которые возникают внутри образца. Этот метод разработанный Карпенко Н.И. и метод описанный в нормативном документе, применяемый в Европе для расчета железобетонных конструкций СНБ 5.03.01-02 «Бетонные и железобетонные конструкции».

Для сравнительного анализа была разработана программа в програмном комплексе Microsoft Excel так, как является одним из простейших, многофункциональным и доступным программным комплексом, основанный на расчетах и построения простейших диаграмм. В ходе составления программы были применены и доработаны некоторые этапы вычисления, которые позволили автоматизировать работу программы.

Для сравнения были составлены 3 программы расчета диаграмм деформирования бетона, которые включали в себя:

1. Построение криволинейных диаграмм деформирования бетона по методу Н.И. Карпенко (задаваясь уровнем напряжения σ_b находили уровень относительных деформаций ε_b)
2. Построение криволинейных диаграмм деформирования бетона по методу Н.И. Карпенко (задаваясь уровнем относительных деформаций ε_b находили уровень напряжения σ_b)
3. Построение криволинейных диаграмм деформирования бетона по методу применяемому в Европе – СНБ 5.03.01-02

При составлении программ для построения диаграммы деформирования бетона были использованы алгоритмы, приведенные в главе 1.1

На рисунке представлены 3 алгоритма построения диаграмм деформирования бетона (рис. 21, 22, 23)

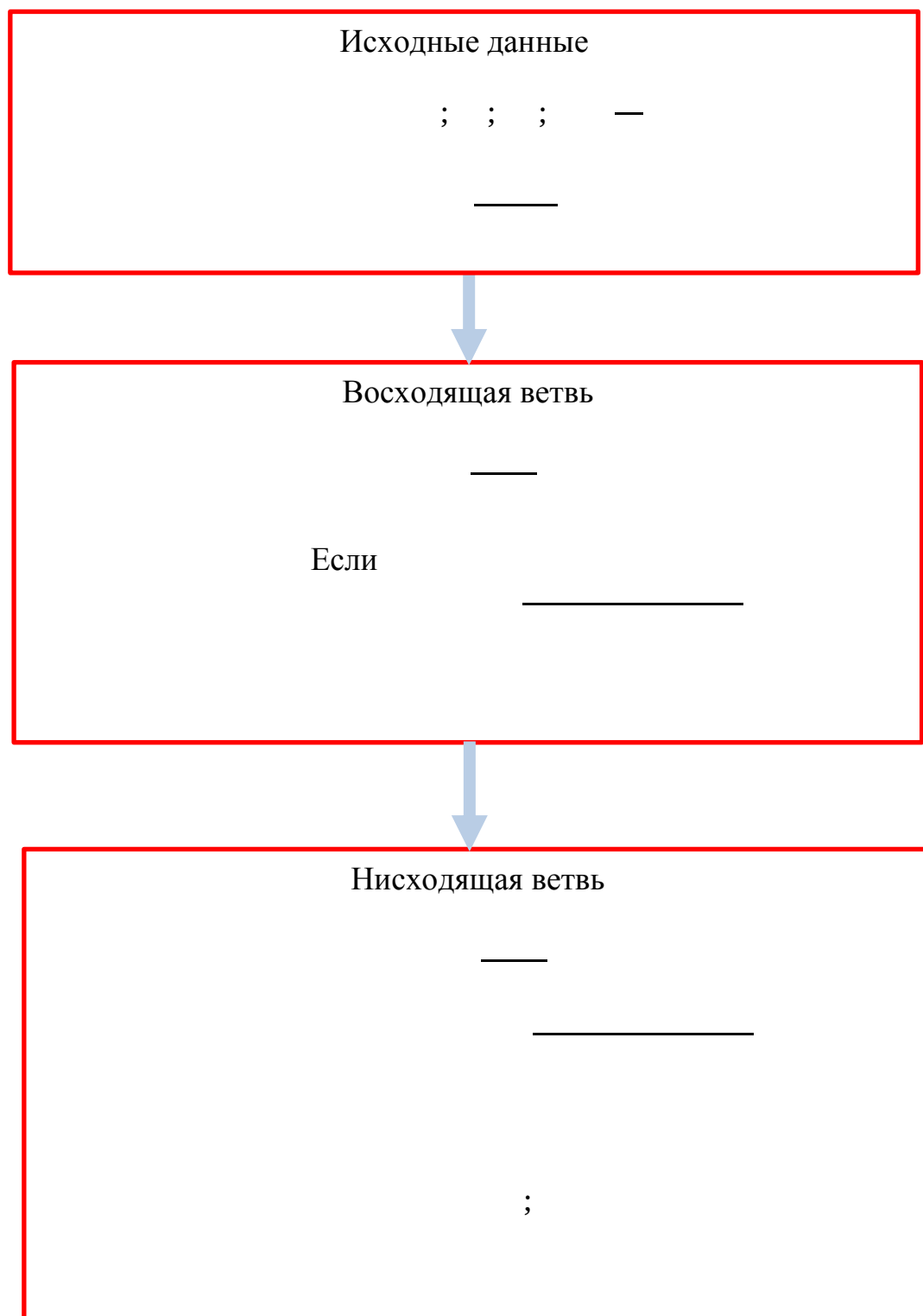


Рисунок 2.1 - Алгоритм построения по методу Н.И. Карпенко $\sigma_b - \varepsilon_b$

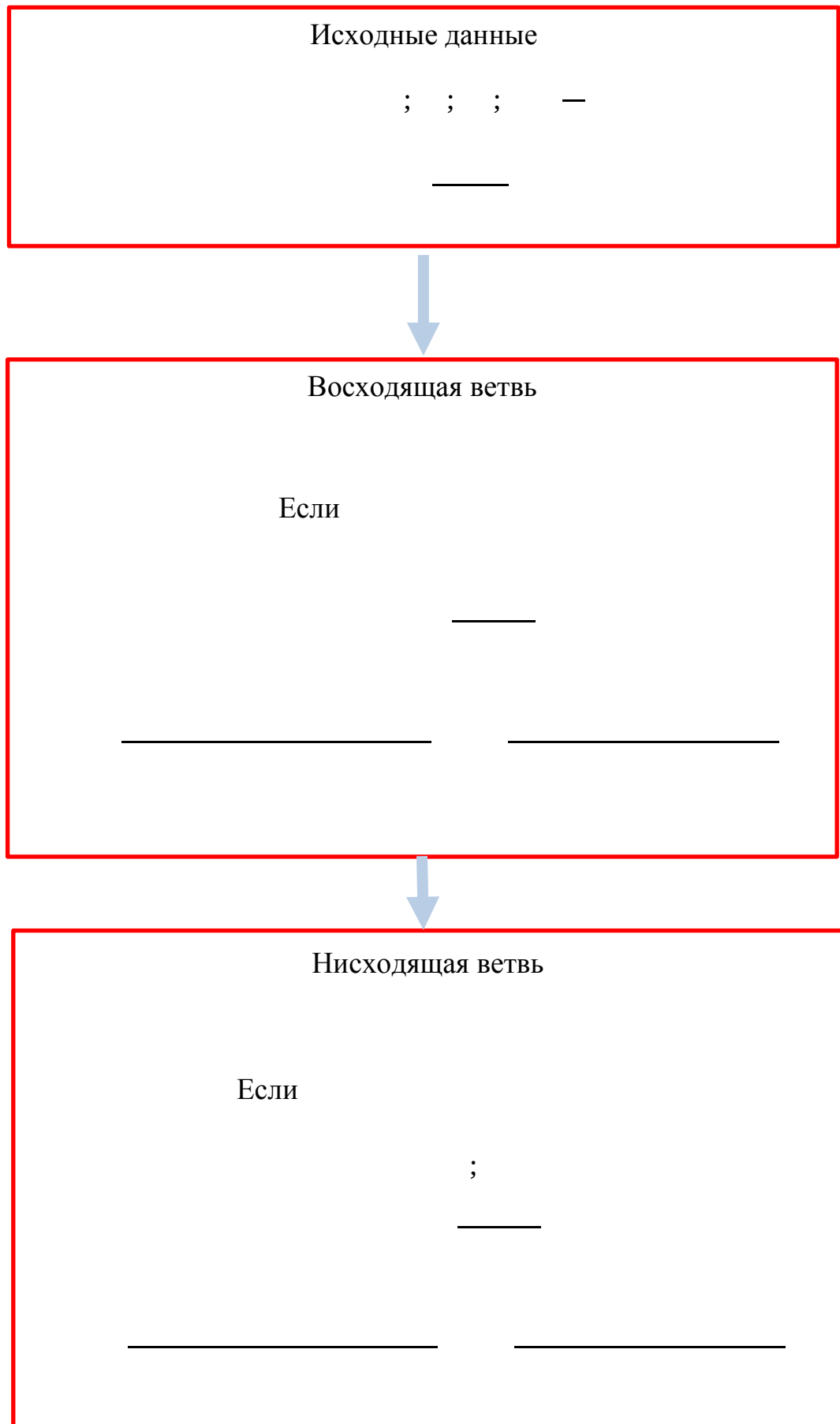


Рисунок 2.2 - Алгоритм построения по методу Н.И. Карпенко $\varepsilon_b - \sigma_b$

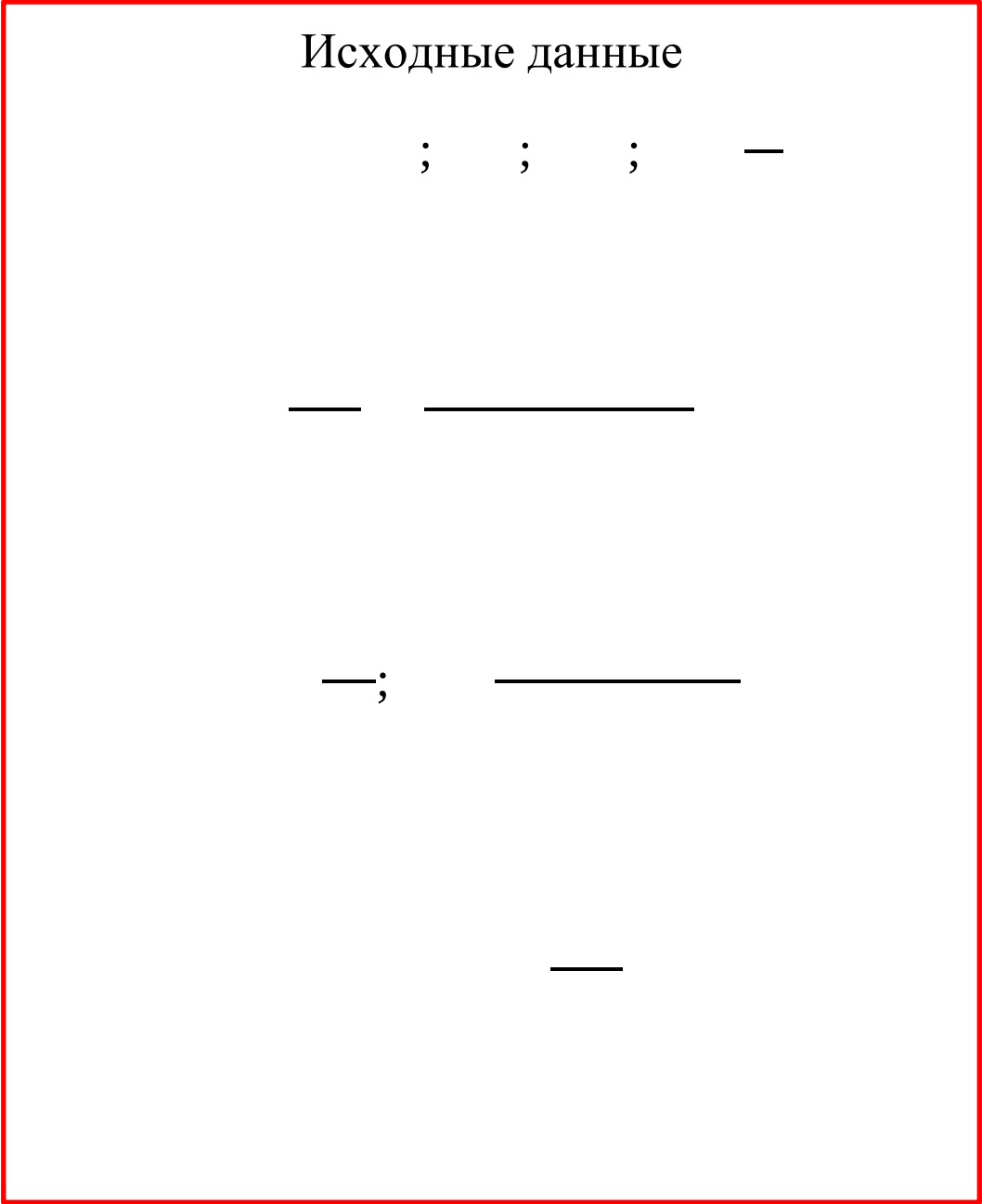


Рисунок 2.3 - Алгоритм построения по Европейским нормам $\varepsilon_b - \sigma_b$

2.2 Описание составления программ

Поскольку метод построения диаграмм деформирования бетона Н.И. Корпенко отличается от методики построения по СНБ 5.03.01-02 было принято решение унифицировать расчет, таким образом, чтобы сохранить основной принцип построения диаграмм. В рамках поставленной задачи, сравнения методики построения диаграмм было принято решение провести сравнение классов бетона по СП 63.13330-2012. Для унификации расчета и сравнения диаграмм значения модуля упругости E_b , и расчетное сопротивление бетона R_b применялось для предельных состояний второй группы при классе бетона по прочности на сжатие из таблиц по СП 63.13330-2012 и учитывалось при расчетах построении диаграмм деформирования бетона как в методе Н.И. Карпенко, так и в методе построения диаграмм в соответствии с европейскими нормами – СНБ 5.03.01-02. Составление диаграмм производились на основании алгоритмов расчета, которые приводились в пункте главы 2. Требования предъявляемые к программе построения диаграмм деформирования бетона заключались следующие:

- Унификация при изменении характеристик, присущи индивидуально каждому классу бетону.
- Максимальная простота в обращении с программой
- Возможность изменения программы (внедрение дополнительных характеристик, влияющие на точность построения диаграмм)
- Доступность программы
- Возможность работать с программой на любом ПК
- Возможность применять программу для построения диаграмм деформирования бетона на основании реальных данных полученные в результате эксперимента.

2.3 Принцип составления программ

Для сравнения вариантов диаграмм деформирования бетона была составлена программа в программном комплексе Microsoft Excel, показывающий принцип работы бетона под воздействием нагрузки на сжатие. Суть программы заключается в построении отдельных графиков деформирования бетона в зависимости от способа построения, по принципу координатных точек. За значений координатных точек принимались относительные деформации ε_b , которые откладывались вдоль прямой оси Абсциссы (X) и точек относительных уровней деформации σ_b откладываемые вдоль оси Ординат (Y).

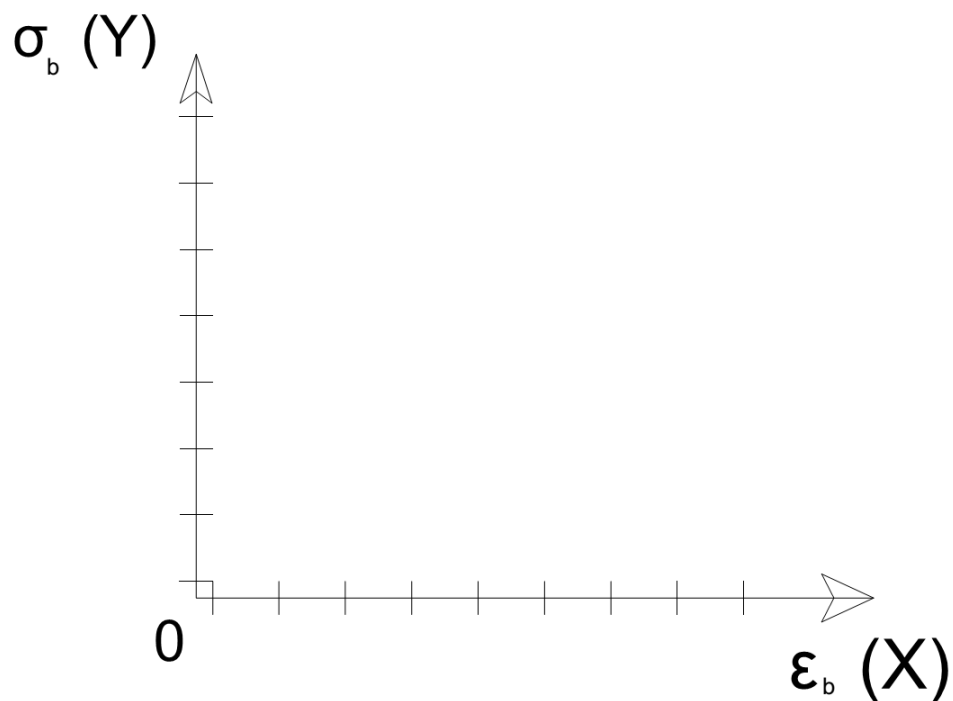


Рисунок 2.4 - Координатная сетка зависимости $\sigma_b - \varepsilon_b$

Стоит отметить, что при составлении программы была поставлена цель автоматизировать программу таким образом, чтобы при изменении нескольких переменных графики строились автоматический, согласно заданному алгоритму. Так как программа представляет собой координатную схему $\sigma_b - \varepsilon_b$, было принято решение разделить значения для построения диаграмм деформирования бетона с шагом уровня напряжения $\sigma_b = 5 \text{ кг/см}^2$. Исходя из значения предельного уровня напряжения σ_b и шагом относительного уровня напряжения $\Delta\sigma_b = 5 \text{ кг/см}^2$ следует, что под индивидуальный класс бетона, массив точек для построения криволинейной диаграммы деформирования бетона будет иметь разное количество точек. Для исходя из предельных значений изначально программа составлялась под бетон класса В100 с предельным уровнем напряжения равным 710 кг/см^2 . Стоит отметить, что программа которая была изначально выбрана для построения диаграмм деформирования бетона (Microsoft Excel), позволяет в кратчайший промежуток времени поменять количество точек необходимые для построения других классов бетона.

2.4 Описание построения диаграмм деформирования бетона по методу Н.И. Карпенко для определения относительных деформаций ε_b через относительный уровень напряжения σ_b .

Для составления программы необходимо было составить последовательную зависимость построения диаграмм деформирования бетона. Зависимость составлялась из данных взятые с СП 63.13330-2012, а так же задаваемых переменных от которых зависит построение диаграммы. Для понятия принципа описания диаграмм деформирования бетона для примера был применён расчет к классу бетона В25.

На основании данных таблицы 6.11 из СП 63.13330-2012 г. модуль упругости бетона класса В25 равен $E_b = 3,0 * 10^{-5} \text{ кг/см}^2$. В процессе построения программы для описания криволинейных диаграмм были принято решение использовать максимально предельные параметры. Для этого было

взято расчетное сопротивление бетона для предельных состояний II группы. Для класса бетона В25 расчетное сопротивление по прочности на сжатие $R_b = 185 \text{ кг/см}^2$. Стоит отметить тот факт, что для построения криволинейной диаграммы деформирования бетона необходимо знать предельный уровень деформации ε_b , при которых в бетоне возникают предельные уровни напряжения σ_b . Определения предельных деформаций для индивидуального класса бетона имеет сложный алгоритм расчета, и не входило в процесс изучения диаграмм, но известно, что данная характеристика изменчива и условно была принята $\varepsilon_b = 200 * 10^{-5}$.

Начальная таблица характеристик бетона для построения диаграмм деформирования с изменяемыми переменными имеет вид:

Карпенко			
<i>Введите значения в красных полях</i>			
E_b	=	3,00	*10 ⁵ МПа
Сжатие			
σ_b пред	=	185	КГ/см2
ε_b пред	=	200	*10 ⁻⁵

Рисунок 2.5 – Исходные данные в расчетной программе

Согласно алгоритму описания диаграмм деформирования бетона для построения необходимо найти значение секущего модуля в вершине диаграммы ν_b , значение секущего модуля в начале диаграммы ν_0 , переменные определяющие кривизну диаграммы, зависящие от предельного значения секущего модуля в вершине диаграммы ω_1, ω_2 . При классе бетона В25 значения переменных имеют вид:

Для построения восходящей ветви использованы формулы (8), (9):

$$\nu_b = \frac{\sigma_b}{\varepsilon_b \cdot E_b} = \frac{185}{3,0 \cdot 200} = 0,308333333; \nu_0 = 1,$$

$$\omega_1 = 2 - 2,5 \cdot v_b = 2 - 2,5 * 0,308333333 = 1,229166667,$$

$$\omega_2 = 1 - \omega_1 = 1 - 1,229166667 = -0,229166667,$$

Переменные необходимые для построения восходящей ветви деформирования бетона в табличной форме с присвоением данных каждой ячейки имеют вид:

<u>Восходящая ветвь</u>	
vb пред	0,308333333
v0	1
ω1	1,229166667
ω2	-0,229166667

Рисунок 2.6 – Расчетные коэффициенты для построения восходящей ветви диаграммы

Для построения ниспадающей ветви использованы формулы (8), (11), (12):

$$v_b = \frac{\sigma_b}{\varepsilon_b \cdot E_b} = \frac{185}{3,0 \cdot 200} = 0,308333333$$

$$v_0 = 2,05 \cdot v_b = 2,05 \cdot 0,308333333 = 0,632083333$$

$$\omega_1 = 2 - 2,5 \cdot v_b = 2 - 2,5 * 0,308333333 = 0,46325$$

$$\omega_2 = 1 - \omega_1 = 1 - 0,46325 = 0,53675$$

Переменные необходимые для построения нисходящей ветви деформирования бетона в табличной форме с присвоением данных каждой ячейки имеют вид:

<u>Ниспадающая ветвь</u>	
vb пред =	0,30833333
v0	0,63208333
$\omega 1^*$	0,46325
$\omega 2^*$	0,53675

Рисунок 2.7 – Расчетные коэффициенты для построения ниспадающей ветви диаграммы

Для построения диаграммы необходимо создать массив точек, который представляет собой зависимость индивидуального уровня напряжения σ_b , просчитанный через весь алгоритм построения диаграммы деформирования бетона на сжатие с учетом восходящей или нисходящей ветви. При предельном уровне значения напряжений $\sigma_b = R_b = 185 \text{ кг/см}^2$ количество уровней напряжения восходящей ветви, с учетом шага $\Delta\sigma_b = 5 \text{ кг/см}^2$ равно 38, количество уровней напряжения при построения ниспадающей ветви диаграммы деформирования бетона равно 30. Данное количество уровней напряжение при построении ниспадающей ветви определяется последнем

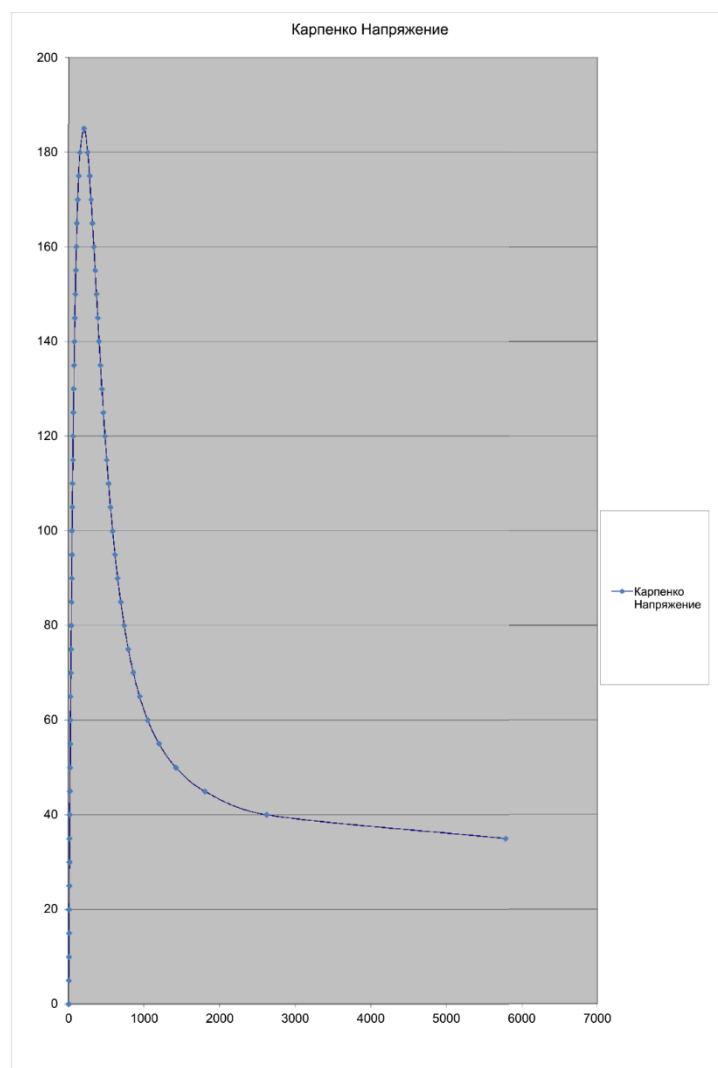
уровнем напряжения, при котором согласно алгоритму построения диаграмм деформирования бетона по методу Н.И. Карпенко имеет положительное значение. В случае получения отрицательного значения подразумевается, что условно просчитываемый стандартный образец разрушился.

После определении констант, влияющие на построение диаграмм деформирования бетона необходимо составить столбцы уровня напряжения σ_b , которые являются координатной по оси Ординат (Y). Количество ячеек значений необходимых для построения диаграмм деформирования бетона принимается исходя из предельного уровня напряжения, с учетом шага уровня напряжения. Данная программа подразумевает построение диаграмм деформирования бетона для класса бетона В100 с предельным уровнем напряжения $\sigma_b = R_b = 710 \text{ кг/см}^2$. Минимальный шаг напряжения необходимый для построения диаграмм деформирования бетона $\Delta\sigma_b = 1 \text{ кг/см}^2$. Стоит отметить что ветви необходимые для построения диаграмм деформирования бетона принимаются условно 0 до σ_b и от σ_b до 0 и необходимы для более детального построения ниспадающей ветви, поэтому число ячеек с учетом максимального уровня напряжения для бетона класса В100 и с учетом минимального шага уровня напряжения равно 1420 ячеек (710 точек необходимы для построения восходящей ветви, условно 710 точек необходимы для построения ниспадающей ветви диаграммы). Поскольку на примере рассматривается вариант построения класса бетона В25 при $\sigma_b = R_b = 185 \text{ кг/см}^2$ с шагом уровня напряжения $\Delta\sigma_b = 5 \text{ кг/см}^2$ количество ячеек для построения полной диаграммы деформирования бетона составляет 74 точки. Для каждого из значения уровня напряжения необходимо найти коэффициент уровня напряжения равный $\eta = \frac{\sigma_b}{\sigma_b}$ и в последующем внести результаты в отдельный столбец. Далее находим коэффициент секущего модуля ν_b согласно алгоритму и вносим в отдельный столбец ячейки, также высчитываем относительные деформации ϵ_b , которые являются данными

Абсциссы (X) при построении графиков. При построении был применен точечный тип диаграммы со сглаживанием.

Для разграничения построения диаграмм деформирования бетона разные методы построения были разделены на разные страницы в программе Microsoft Excel (рис. 2.8).

Карпенко			
Введите значения в красных полях			
E _b	=	3,00 * 10 ⁵ МПа	ШАГ Δσ _b = 5
Сжатие (См. табл. 6.7 или 6.8)			
σ _b пред	=	185 Кг/см ²	
ε _b пред	=	204 * 10 ⁻⁵	
Восходящая ветвь		Ниспадающая ветвь	
ν _b пред	0,302287582	ν _b пред	0,302287582
ν ₀	1	ν ₀	0,619689542
ω ₁	1,244281046	ω ₁ *	0,451460784
ω ₂	-0,244281046	ω ₂ *	0,548539216



σ _b	η _b	ν _b	ε _b карпенко
0	0	1	0
5	0,027027027	0,988231232	1,686514869
10	0,054054054	0,976385862	3,413950838
15	0,081081081	0,96445978	5,184249363
20	0,108108108	0,952448544	6,99950324
25	0,135135135	0,940347344	8,861973597
30	0,162162162	0,928150963	10,77410939
35	0,189189189	0,915853724	12,73856988
40	0,216216216	0,903449438	14,75825073
45	0,243243243	0,890931339	16,83631425
50	0,27027027	0,878292005	18,97622496
55	0,297297297	0,865523275	21,18179126
60	0,324324324	0,852616142	23,45721482
65	0,351351351	0,839560631	25,80714943
70	0,378378378	0,826345654	28,23677139
75	0,405405405	0,812958831	30,75186472
80	0,432432432	0,799386278	33,3589247
85	0,459459459	0,785612349	36,06528506
90	0,486486486	0,771619315	38,87927559
95	0,513513514	0,757386965	41,81041944
100	0,540540541	0,742892108	44,86968293
105	0,567567568	0,728107939	48,06979588
110	0,594594595	0,713003216	51,42566799
115	0,621621622	0,697541191	54,9549386
120	0,648648649	0,681678181	58,6787154
125	0,675675676	0,665361632	62,6258695
130	0,702702703	0,648527431	66,81804237
135	0,72972973	0,631096078	71,30451533
140	0,756756757	0,612967079	76,13241933
145	0,783783784	0,594010395	81,36782407
150	0,810810811	0,574052881	87,0999897
155	0,837837838	0,552855503	93,45419617
160	0,864864865	0,530072385	100,6151892
165	0,891891892	0,505170005	108,8742392
170	0,918918919	0,477245767	118,7368659
175	0,945945946	0,444530977	131,2244509
180	0,972972973	0,402436111	149,0919886
185	1	0,302287582	204
180	0,972972973	0,237665505	252,4556519
175	0,945945946	0,211340937	276,0153055
170	0,918918919	0,191446082	295,9928253
165	0,891891892	0,17493119	314,4093405
160	0,864864865	0,160609321	332,068731
155	0,837837838	0,147869075	349,4081956
150	0,810810811	0,136345762	366,7147342
145	0,783783784	0,125800851	384,2051384
140	0,756756757	0,116068057	402,0629616
135	0,72972973	0,107025903	420,4589627
130	0,702702703	0,098582398	439,5646087
125	0,675675676	0,090665875	459,5628362
120	0,648648649	0,083219194	480,6583418
115	0,621621622	0,076195927	503,0890095
110	0,594594595	0,069557736	527,140025
105	0,567567568	0,063272535	553,1625969
100	0,540540541	0,057313154	581,6000505
95	0,513513514	0,05165635	613,0256388
90	0,486486486	0,046282063	648,1992784
85	0,459459459	0,04117285	688,1557424
80	0,432432432	0,036313434	734,3471396
75	0,405405405	0,031690358	788,8834922
70	0,378378378	0,0272917	854,9607828
65	0,351351351	0,023106854	937,6727138
60	0,324324324	0,01912634	1045,678381
55	0,297297297	0,015341653	1195,003756
50	0,27027027	0,011745142	1419,026408
45	0,243243243	0,008329899	1800,742142
40	0,216216216	0,005089675	2619,682741
35	0,189189189	0,002018804	5778,999761

Рисунок 2.8 - Пример программы построения диаграммы деформирования бетона для бетона класса В25 по методу Н.И. Карпенко $\sigma_b - \varepsilon_b$

2.5 Описание программы построения диаграммы деформирования бетона по методу Н.И. Карпенко для определения напряжения σ_b через уровень относительных деформаций ε_b

Метод описания диаграмм деформирования бетона $\varepsilon_b - \sigma_b$ является обратным $\sigma_b - \varepsilon_b$ и не имеет внешних различий при построении диаграмм, но отличается по методу нахождения переменных необходимые для графического построения.

Чтобы добиться максимальной простоты для построения диаграмм деформирования бетона, константы использованные в методе построения диаграммы деформирования бетона по методу Н.И. Карпенко ($\sigma_b - \varepsilon_b$) - $\sigma_b = R_b, E_b, \varepsilon_b, \nu_b$ для восходящей ветви $\nu_0, \omega_1, \omega_2$, для нисходящей ветви $\nu_0, \omega_1, \omega_2$ были использованы как основные и применялись при нахождении переменных необходимые для построения диаграммы по методу Н.И. Карпенко ($\varepsilon_b - \sigma_b$). Данный метод применяется в тому случае, если деформации ε_b были определены в результате проведения эксперимента, но для составления программы были применены данные относительных уровней деформации, найденные в предыдущем методе $\sigma_b - \varepsilon_b$.

Деформации ε_b , полученные при построении диаграмм деформирования бетона по методу Н.И. Карпенко $\sigma_b - \varepsilon_b$ в предыдущем методе заносятся в столбец являются основными данными абсциссы (X) и являются основополагающим параметром для нахождения уровней напряжения.

Во второй столбец согласно алгоритму заносится коэффициент уровня относительных деформаций η , который определяется по формуле $\eta = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_b}$.

Поскольку данный метод построения диаграмм отличается и имеет более объемные формулы было принято решение разбить на составляющие, дабы избежать ошибочные решения. В алгоритме который приведен в пункте 2.1 главы 2 коэффициент секущего модуля ν_b находится по формуле и имеет вид:

$$\nu_b = P + \overline{P^2 + S}, \quad (22)$$

где

$$P = \frac{\nu_b [2\nu_b - \omega_1 \eta (\nu_0 - \nu_b)^2]}{2 \nu_b^2 + \omega_2 \eta^2 \nu_0 - \nu_b^2}, \quad (23)$$

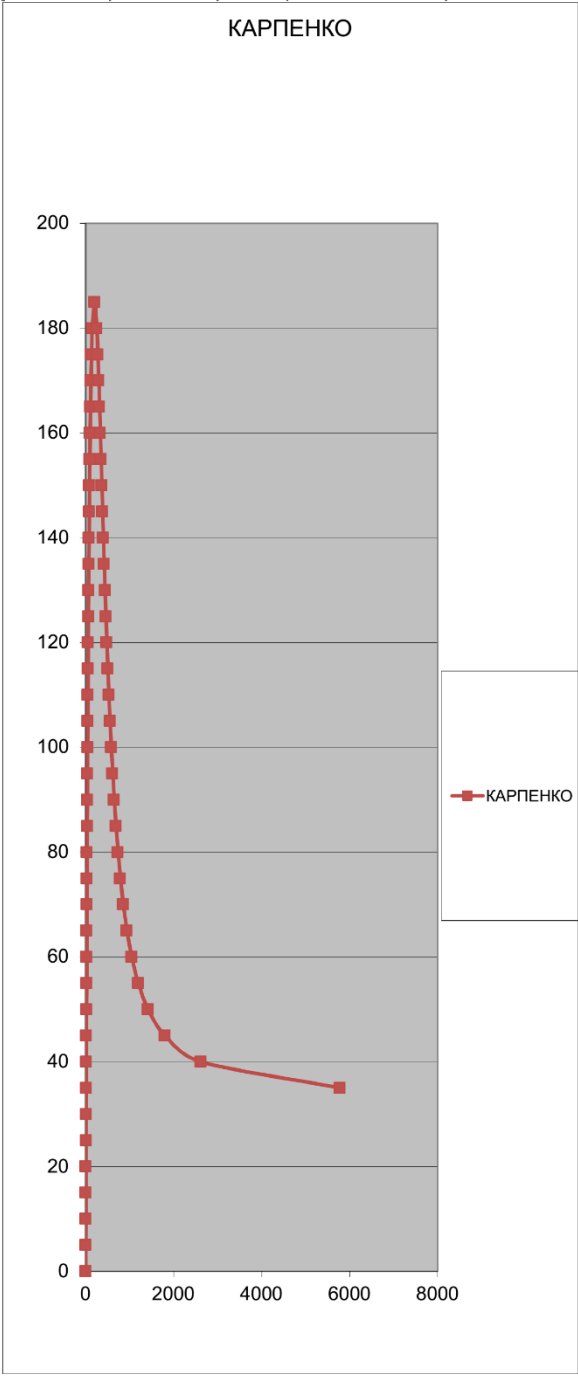
$$S = \frac{\nu_b^2 (\nu_0^2 - 2\nu_0 \nu_b)}{\nu_b^2 + \omega_2 \eta^2 \nu_0 - \nu_b^2},$$

Внутреннее выражение $2\nu_b - \omega_1 \eta (\nu_0 - \nu_b)^2$ было заменено на переменную (А), внутреннее выражение $\nu_b^2 + \omega_2 \eta^2 \nu_0 - \nu_b^2$ было заменено на переменную (В) которые были вынесены в отдельный столбец при составлении программы. Соответственно формулы нахождения Р и S для определения коэффициента секущего модуля ν_b имеют вид:

$$P = \frac{\nu_b[A]}{2[B]}; S = \frac{\nu_b^2 (\nu_0^2 - 2\nu_0 \nu_b)}{\nu_b^2 + B}, \quad (24)$$

После нахождения переменных А, В, Р, S, определяется коэффициент секущего модуля ν_b который вписывается в отдельный столбик программы. В заключении находится уровни напряжения σ_b в отдельном столбце, которые должны быть равны уровням напряжения из метода построения диаграмм деформирования бетона, в котором мы задавались напряжениями. Если данные равны это свидетельствует о том, что программа построена правильно (рис. 28).

Введите значения в красных полях из СП 63.13330-2012			
E _b	=	3.00	*10 ⁵ МПа
Сжатие (См. табл. 6.7 или 6.8)			
σ _b пред	=	185	кг/см ²
ε _b пред	=	204	*10 ⁻⁵
Восходящая ветвь		Ниспадающая ветвь	
ν _b пред	0,302287582	ν _b max	
ω ₁	1,244281046	ω ₁ *	0,451460784
ω ₂	-0,24428105	ω ₂ *	0,548539216
ν ₀	1	ν ₀	0,619689542



ес уровни деформации	η	A	B	P	S	ν _b	σ _b
0	0	0,182755564	0,091377782	0,302287582	0,395424837	1	0
1,686514869	0,00826723	0,177747944	0,091369654	0,29403086	0,395460011	0,988231232	5
3,413950838	0,016735053	0,17261882	0,091344478	0,285624959	0,395569008	0,976385862	10
5,184249363	0,025412987	0,167362428	0,091300983	0,277059358	0,395757452	0,96445978	15
6,99950324	0,03431129	0,161972554	0,091237786	0,268322447	0,396031581	0,952448544	20
8,861973597	0,043441047	0,156442485	0,091153372	0,259401378	0,396398333	0,940347344	25
10,77410939	0,052814262	0,150764948	0,091046082	0,250281892	0,396865451	0,928150963	30
12,73856988	0,06244397	0,144932048	0,090914096	0,240948104	0,397441607	0,915853724	35
14,75825073	0,072344366	0,138935187	0,090755407	0,231382257	0,398136548	0,903449438	40
16,83631425	0,082530952	0,132764976	0,090567798	0,221564421	0,398961278	0,890931339	45
18,97622496	0,093020711	0,126411127	0,090348814	0,211472139	0,399928267	0,878292005	50
21,18179126	0,10383231	0,119862333	0,090095724	0,201079991	0,401051714	0,865523275	55
23,45721482	0,114986347	0,113106118	0,089805483	0,190359061	0,402347868	0,852616142	60
25,80714943	0,126505634	0,106128663	0,089474679	0,179276291	0,403835422	0,839560631	65
28,23677139	0,138415546	0,0989146	0,089099474	0,167793669	0,405536002	0,826345654	70
30,75186472	0,150744435	0,091446755	0,088675534	0,155867223	0,40747479	0,812958831	75
33,3589247	0,163524141	0,083705841	0,088197934	0,143445743	0,409681305	0,799386278	80
36,06528506	0,176790613	0,075670083	0,087661051	0,130469153	0,412190408	0,785612349	85
38,87927559	0,190584684	0,067314748	0,087058429	0,116866411	0,415043607	0,771619315	90
41,81041944	0,204953036	0,05861156	0,086382599	0,102552753	0,418290777	0,757386965	95
44,86968293	0,219949426	0,049527958	0,085624862	0,087426048	0,421992441	0,742892108	100
48,06979588	0,235636254	0,040026144	0,084775001	0,071361876	0,426222874	0,728107939	105
51,42566799	0,252086608	0,030061848	0,083820907	0,054206782	0,431074367	0,713003216	110
54,9549386	0,269386954	0,019582695	0,08274808	0,035768838	0,436663237	0,697541191	115
58,6787154	0,287640762	0,008526011	0,08153895	0,015804149	0,443138456	0,681678181	120
62,62258695	0,306973465	-0,00318418	0,080171944	-0,00600296	0,450694381	0,665361632	125
66,81804237	0,327539423	-0,01564138	0,078620157	-0,03006986	0,459590084	0,648527431	130
71,30451533	0,349531938	-0,02896267	0,076849428	-0,05696239	0,470179744	0,631096078	135
76,13241933	0,373198134	-0,04329774	0,074815446	-0,08747103	0,482962365	0,612967079	140
81,36782407	0,398861883	-0,05884276	0,072459236	-0,12274099	0,4986672	0,594010395	145
87,0999897	0,426960734	-0,07586278	0,069699815	-0,16450816	0,518409474	0,574052881	150
93,45419617	0,458108805	-0,09472977	0,066421496	-0,21555998	0,543996247	0,552855503	155
100,6151892	0,493211712	-0,11599227	0,06245038	-0,28072707	0,578588069	0,530072385	160
108,8742392	0,533697251	-0,14051515	0,057506424	-0,36931512	0,628330575	0,505170005	165
118,7368659	0,58204346	-0,16979938	0,051091842	-0,50231349	0,707217498	0,477245767	170
131,2244509	0,643257112	-0,20687767	0,042172484	-0,74143783	0,856791951	0,444530977	175
149,0919886	0,730843081	-0,25993017	0,027860639	-1,41011956	0,978620887	0,402436111	180
204	1	0,137273597	0,146639819	0,141489889	0,005836509	0,302287582	185
252,4556519	1,237527705	0,126470369	0,176010201	0,108602859	0,004862586	0,237665505	180
276,0153055	1,353016204	0,121217725	0,192543388	0,095154171	0,00445048	0,211340937	175
295,9928253	1,450945222	0,116763721	0,207717746	0,084961982	0,04120325	0,191446082	170
314,4093405	1,541222257	0,112657744	0,222645349	0,076478213	0,003844072	0,17493119	165
332,068731	1,627787897	0,108720568	0,23780524	0,069100407	0,003599015	0,160609321	160
349,4081956	1,712785273	0,10485472	0,25349634	0,06251822	0,003376241	0,147869075	155
366,7147342	1,797621246	0,100996213	0,269953858	0,056546517	0,003170411	0,136345762	150
384,2051384	1,883358522	0,097096713	0,287394401	0,0510642	0,002978014	0,125800851	145
402,0629616	1,970896871	0,093115297	0,306039545	0,045986864	0,002796582	0,116068057	140
420,4589627	2,061073347	0,089013893	0,326132206	0,041252894	0,002624287	0,107025903	135
439,5646087	2,154728474	0,084754274	0,347951397	0,036815723	0,002459725	0,098582398	130
459,5628362	2,252759001	0,080295653	0,371828373	0,032639223	0,002301773	0,090665875	125
480,6583418	2,356168342	0,075592392	0,398166599	0,028694825	0,002149514	0,083219194	120
503,0890095	2,466122595	0,070591457	0,427468266	0,024959655	0,002002171	0,076195927	115
527,140025	2,58401973	0,065229263	0,460371135	0,021415326	0,001859075	0,069557736	110
553,1625969	2,711581357	0,059427509	0,497701497	0,018047161	0,001719634	0,063272535	105
581,6000505	2,85098064	0,053087356	0,540552629	0,014843743	0,001583314	0,057313154	100
613,0256388	3,005027641	0,046080995	0,590404541	0,011796753	0,001449624	0,05165635	95
648,1992784	3,177447443	0,038239003	0,64931283	0,008901084	0,001318108	0,046282063	90
688,1557424	3,373312463	0,029330677	0,7202176	0,006155292	0,001188342	0,04117285	85
734,3471396	3,599740881	0,019032267	0,807470689	0,003562493	0,001059933	0,036313434	80
788,8834922	3,867075942	0,006873342	0,91778156	0,001131928	0,000932536	0,031690358	75
854,9607828	4,190984229	-0,00785864	1,062019482	-0,00111842	0,000805884	0,0272917	70
937,6727138	4,596434872	-0,02629934	1,258910645	-0,00315748	0,000679845	0,023106854	65
1045,678381	5,125874418	-0,05037929	1,543365075	-0,00493371	0,000554545	0,01912634	60
1195,003756	5,857861551	-0,0836715	1,98766928	-0,00636244	0,000430587	0,015341653	55
1419,026408	6,956011804	-0,13361754	2,765292258	-0,00730319	0,000309502	0,011745142	50
1800,742142	8,827167365	-0,21872137	4,397334041	-0,00751782	0,000194633	0,008329899	45
2619,682745	12,84158208	-0,40130485	9,204432041	-0,00658973	9,2984E-05	0,005089675	40
5778,999761	28,3284302	-1,10567717	44,4391604	-0,00376056	1,92592E-05	0,002018804	35

Рисунок 2.9 - Пример программы построения диаграммы деформирования бетона класса В25 по методу Н.И. Карпенко $\varepsilon_b - \sigma_b$

2.6 Описание программы построения диаграммы деформирования бетона по методу применяемому в Европе (СНБ 5.03.01-02) для определения уровня напряжения σ_b , через уровень относительных деформаций ε_b

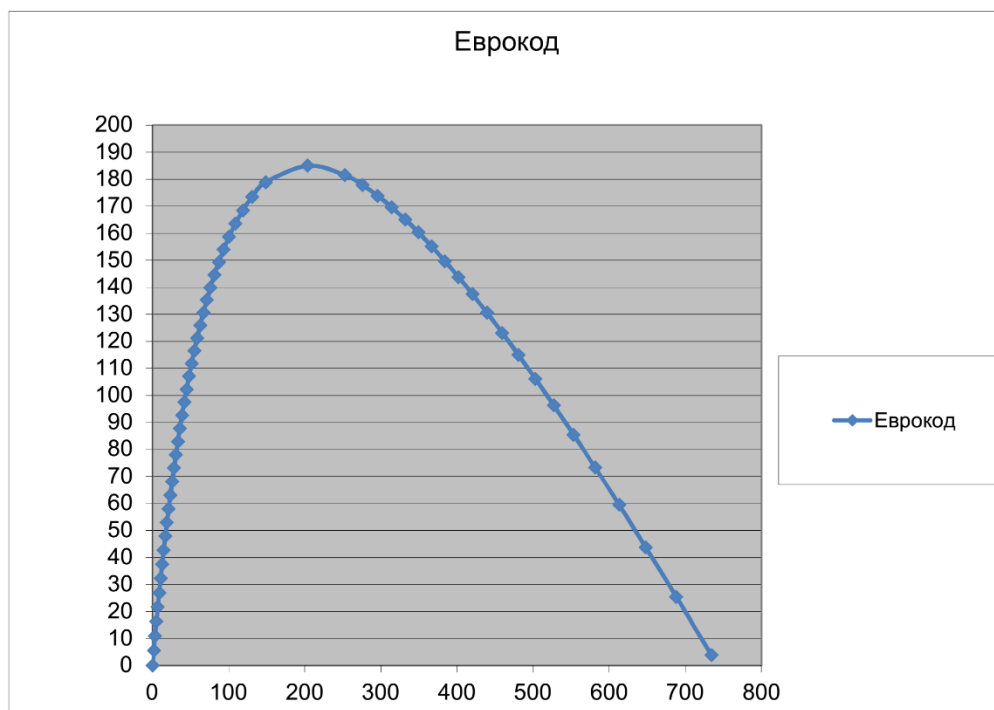
Поскольку метод описания диаграмм деформирования бетона по европейским нормам отличается от метода описания диаграмм Н.И. Карпенко составление программ тоже будет отличаться. Поскольку в Европе совершенно по-другому классифицируется бетон первым делом необходимо было привести две разные методики расчета к общим характеристикам поэтому предельный уровень напряжения f_{cm} приравняли к предельному напряжению класса бетона В25 равного $\sigma_b = R_b = 185 \text{ кг/см}^2$, взятого из нормативного документа (СП 63.13330-2012). Также для сравнения методов построения диаграмм деформирования бетона модуль упругости конкретного класса бетона В25 равный $E_b = 3,0 * 10^{-5} \text{ кг/см}^2$ был приравнен к модулю упругости взятый из европейских норм $E_{cm,n}$.

Далее определяем коэффициент кривизны на основании формулы взятой из европейских норм, которая имеет вид:

$$k = \frac{1.1 E_b * \varepsilon_b}{\sigma_b}, \quad (25)$$

Поскольку программа предназначена для построения диаграмм деформирования бетона на основе фактических данных, для разработки рабочего алгоритма были взяты уровни относительных деформаций укорочения бетона ε_b . При составлении программы построения диаграмм деформирования бетона согласно алгоритму параметры ε_b , η , σ_b высчитывались в отдельных столбцах (рис. 29).

Е _б	=	3,00	МПа
Сжатие (См. табл. 6.7 или 6.8)			
σ _б пред	=	185	Кг/см ²
ε _б пред	=	204	*10 ⁻⁵
ЕВРОКОД			
Введите значения в <i>Синих</i> полях из СНБ			
Сжатие			
f _{cm} =σ _б пред	=	185	МПа
ε _{s1} =ε _б пред	=	204	*10 ⁻⁵
K	=	3,6389189	



ε _s уровни деформации	η	σ _б
0	0	0
1,686514869	0,00826723	5,47862324
3,413950838	0,01673505	10,9148601
5,184249363	0,02541299	16,309268
6,99950324	0,03431129	21,662415
8,861973597	0,04344105	26,9748816
10,77410939	0,05281426	32,2472638
12,73856988	0,06244397	37,4801757
14,75825073	0,07234437	42,6742526
16,83631425	0,08253095	47,8301554
18,97622496	0,09302071	52,9485743
21,18179126	0,10383231	58,0302348
23,45721482	0,11498635	63,0759028
25,80714943	0,12650563	68,0863926
28,23677139	0,13841555	73,062575
30,75186472	0,15074443	78,0053873
33,3589247	0,16352414	82,9158454
36,06528506	0,17679061	87,7950588
38,87927559	0,19058468	92,6442484
41,81041944	0,20495304	97,464768
44,86968293	0,21994943	102,258132
48,06979588	0,23563625	107,026051
51,42566799	0,25208661	111,770472
54,9549386	0,26938695	116,493637
58,6787154	0,28764076	121,198156
62,62258695	0,30697347	125,887103
66,81804237	0,32753942	130,564145
71,30451533	0,34953194	135,233725
76,13241933	0,37319813	139,901318
81,36782407	0,39886188	144,573799
87,0999897	0,42696073	149,260011
93,45419617	0,4581088	153,971657
100,6151892	0,49321171	158,724789
108,8742392	0,53369725	163,542505
118,7368659	0,58204346	168,460334
131,2244509	0,64325711	173,538806
149,0919886	0,73084308	178,901878
204	1	185
252,4556519	1,23752771	181,553212
276,0153055	1,3530162	177,834531
295,9928253	1,45094522	173,863159
314,4093405	1,54122226	169,630904
332,068731	1,6277879	165,121185
349,4081956	1,71278527	160,311595
366,7147342	1,79762125	155,174278
384,2051384	1,88335852	149,675505
402,0629616	1,97089687	143,774762
420,4589627	2,06107335	137,423387
439,5646087	2,15472847	130,56269
459,5628362	2,252759	123,121394
480,6583418	2,35616834	115,012176
503,0890095	2,4661226	106,126912
527,140025	2,58401973	96,3300806
553,1625969	2,71158136	85,4494275
581,6000505	2,85098064	73,262493
613,0256388	3,00502764	59,4767003
648,1992784	3,17744744	43,6991239
688,1557424	3,37331246	25,3891302
734,3471396	3,59974088	3,7814337

Рисунок 2.10 Пример программы построения диаграммы деформирования бетона класса В25 по европейскому методу $\varepsilon_b - \sigma_b$ СНБ (5.03.01-02)

2.7 Сравнение результатов построения диаграмм деформирования бетона

Поскольку построение ниспадающей ветви находится только в процессе изучения и на практике представляется сложным провести эксперимент сравнение результатов осуществлялось только по восходящей ветви.

Разработанная программа позволила построить графики деформирования бетона для классов (В10, В12.5, В15, В25, В30, В30, В35, В40, В45, В50, В55, В60) наиболее часто применимые в строительстве что позволило сравнить отклонения деформаций $\Delta\varepsilon_b$ при уровнях напряжения 0.3, 0.6, 0.9 от максимального уровня напряжения $\sigma_b = R_b = f_{cm}$. (таб. 2)

Таблица 2 - Отклонения деформаций при уровнях 0,3 0,6 0,9 от $\sigma_b = R_b = f_{cm}$

Метод расчета	Уровень нагружения	B10 (75 кг/см ²)	B12,5 (95 кг/см ²)	B15 (110 кг/см ²)	B20 (150 кг/см ²)	B25 (185 кг/см ²)	B30 (220 кг/см ²)
Карпенко	0.3*Rb	14,51649234	16,02106442	16,5391461	19,52350853	21,34344808	23,10263089
	0.6*Rb	38,14607736	41,27489356	42,3333129	48,26985208	51,77754316	55,10329363
	0.9*Rb	92,37541861	96,68725636	98,11518318	105,8779045	110,2940036	114,3802903
Еврокод	0.3*Rb	13,53280908	14,96088198	15,45302524	18,28960506	20,01865732	21,68756613
	0.6*Rb	36,98681658	40,12068974	41,17902592	47,08514963	50,54071269	53,7858313
	0.9*Rb	95,8397865	100,1623075	101,572155	109,0370767	113,12814	116,811704
$\Delta \epsilon_b$	0.3*Rb	0,983683257	1,060182445	1,086120859	1,233903471	1,324790767	1,415064765
	0.6*Rb	1,159260777	1,154203821	1,154286978	1,184702448	1,236830476	1,317462329
	0.9*Rb	3,464367895	3,475051124	3,456971787	3,159172222	2,834136331	2,431413622
Метод расчета	Уровень нагружения	B35 (255 кг/см ²)	B40 (290 кг/см ²)	B45 (320 кг/см ²)	B50 (360 кг/см ²)	B55 (395 кг/см ²)	B60 (430 кг/см ²)
Карпенко	0.3*Rb	24,88738096	26,76353341	28,41727823	30,69110574	32,47816639	34,53454861
	0.6*Rb	58,42315573	61,86426198	64,86312301	68,94389171	72,1231678	75,75761808
	0.9*Rb	118,3704616	122,4196286	125,8806406	130,4939784	134,014161	137,9614397
Еврокод	0.3*Rb	23,37681777	25,14679257	26,70083388	28,82642685	30,48667471	32,38468253
	0.6*Rb	56,98982258	60,26916269	63,08978917	66,86944151	69,76624361	73,02647172
	0.9*Rb	120,3151009	123,7784403	126,6684299	130,4261261	133,2264737	136,3049618
$\Delta \epsilon_b$	0.3*Rb	1,510563191	1,616740847	1,71644435	1,864678889	1,991491684	2,149866085
	0.6*Rb	1,433333148	1,595099287	1,773333835	2,074450198	2,356924189	2,731146356
	0.9*Rb	1,944639295	1,358811723	0,78778933	0,067852249	0,787687237	1,656477941

Выводы по 2 главе

В результате построения математической модели диаграмм деформирования бетона наглядно видно различные способы построения. В зависимости от построения применяются разные коэффициенты для описания диаграмм, которые напрямую влияют на кривизну диаграммы, внешний вид диаграмм и результаты полученных данных. Построение полной ниспадающей ветви возможно только с помощью математических моделей и более на данный момент является предметом глубокого изучения многих ученых. Что касается самого разработанного комплекса для построения диаграмм деформирования бетона данный комплекс можно применять на любом персональном компьютере, что является неотъемлемым преимуществом при решении задач.

Глава 3 Описание эксперимента

Для подкрепления теоретической анализа и составления программы построения диаграмм деформирования бетона был проведен эксперимент с целью получения фактических данных, которые можно применить в программе. В рамках проведения эксперимента руководителем было принято решение разграничить мероприятия необходимые для более качественных и достоверных сведений, с сохранением техники безопасности и требований, предъявляемые к проведению экспериментам. В эти мероприятия вошли:

1. Вводный инструктаж,
2. Инструктаж по технике безопасности.
3. Проведение эксперимента.
4. Обработка данных полученные в результате эксперимента

3.1 Вводный инструктаж

В рамках обеспечения безопасности жизни здоровья магистрантов, безопасности имущества университета, получения достоверных результатов эксперимента был проведён вводный инструктаж, в котором до магистрантов принимавшие участие в эксперименте была доведена следующая информация:

- перед проведением эксперимента необходимо ознакомиться с техникой безопасности, с последующей росписью в журнале «О прохождении инструктажа по технике безопасности».
- при проведении эксперимента быть максимально бдительным, соблюдать технику безопасности.
- проводить эксперимент только в присутствии заведующего лабораторией или в присутствии научного руководителя
- использовать выделенное оборудование для получения экспериментальных данных по назначению
- полученные данные при проведения эксперимента использовать только в рамках написания магистерской диссертации.

- полученные данные при проведения эксперимента допускаются публикации в рамках выполнения необходимых обязательств для написания магистерской диссертации.

3.2 Техника безопасности

Перед проведением эксперимента был проведен инструктаж по технике безопасности, в котором оглашались условия, которые необходимо соблюдать для безопасности жизни здоровья людей, принимавшие участие в эксперименте, безопасности оборудования и имущества института выделенные в рамках получения экспериментальных данных для написания магистерской диссертации:

- к эксперименту допускаются только магистранты, прошедшие вводный инструктаж и инструктаж по технике безопасности.

- к эксперименту допускаются только люди, имеющие минимальный набор экипировки для сохранения здоровья и жизни человека. В данный набор входит плотная плащ-куртка (с закрытыми рукавами по запястье), плотные перчатки (прикрывающие руки выше уровня запястья) пластиковые очки (очки должны плотно прилегать к области лба и носовых пазух для предотвращения попадания осколков в глаза)

- использовать предоставленные механизмы и оборудования исключительно в целях проведения эксперимента

- в случае появления непредвиденных чрезвычайных ситуаций прекратить проведение эксперимента и сообщить научному руководителю или заведующему лабораторией,

- в случае необходимости провести мероприятия по сохранению здоровья и жизни людей, а также сохранности имущества университета.

3.3 Проведение эксперимента

Пройдя инструктаж по технике безопасности, получив необходимое защитное обмундирование началась подготовка образцов для проведения эксперимента. Для получения данных в рамках составления магистерской диссертации были предоставлены 3 бетонных образца которые были изготовлены в летний период в 2009 году. Экспериментальные образцы имели размерность 150x150x600 мм с учетом время изготовления набрали 100% прочности.

Цель эксперимента заключается в определении уровней относительных деформаций путем постепенного нагружения опытного образца. Для этого необходимо подготовить образец для установки навесного оборудования для определения относительных деформаций (рис. 3.1). В состав навесного оборудования входит:

- Индикаторы часового типа ИЧ-1 в количестве 4 штук
- Спицы с тарелочками на концах в количестве 4 штук
- Планки с зажимными болтами в количестве 2 штук

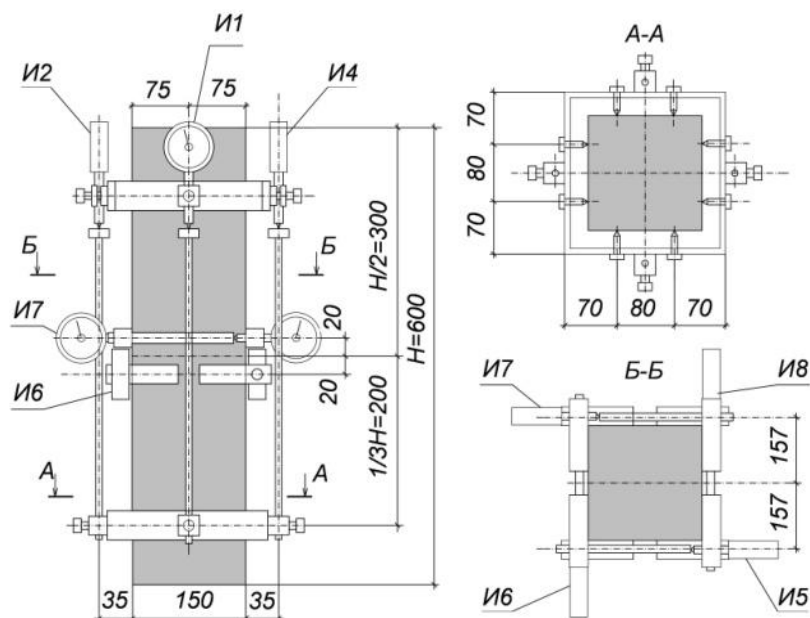


Рисунок 3.1 - Подготовленный образец для проведения эксперимента

На расстоянии 150 мм с обоих краев вдоль длинны образца производилась разметка границы для установки двух планок предназначенные для устройства индикаторов. Планка представляет собой металлическую рамку размерами 220х220 мм с устроенными по периметру восьмью крепящими болтами на расстоянии:

- расстояние от краев планки – 70 мм.
- расстояние между крепящими болтами – 80 мм

Планки имеют специальные пазы для устройства разного оборудования, закрепляемые с помощью затяжных винтов. Пазы располагаются в середины планки с каждой из сторон, что позволяет вести наблюдение сразу за 4 приборами. Планки устанавливаются на расстоянии 300 мм друг от друга.

Испытания проводились на лабораторном испытательном гидравлическом прессе П-250 предназначен для испытаний образцов изделий строительных материалов на сжатие и проверки стандартных образцов бетонов. Перед установкой следует полностью очистить поверхность базы. Это необходимо для получения наиболее точных результатов, так как частицы ранее разрушенных образцов могут исказить полученные данные.

После очистки базы устанавливаем на нее опытный образец с заранее начерченной разметкой под установку планок. На нижней базе пресса расчерчена разметка для центрирования образца, по которой образец выставляется в ровное положение. Далее устанавливает планки по расчерченной линии, и плотно закрепляем затяжными болтами.

Бетон-материал пористый и имеет небольшие выемки (пузырьки), поэтому чтобы равномерно распределить усилие и более точно получить результаты эксперимента верхнюю и нижнюю плоскость образца, которые будут находиться в контакте с плитами пресса, смазывают гипсовым раствором.

В пазы верхней планки устанавливают индикаторы часового типа ИЧ-1, при этом язычок индикатора должен ходить свободно. Индикаторы нельзя

пережимать для предотвращения образования погрешностей при проведении эксперимента.

В нижнюю планку устанавливаются спицы с тарелочками, таким образом, чтобы спицы слегка придавливали язычки индикаторов (индикаторы начнут показывать ложные показатели). Спицы необходимо плотно зажать, для предотвращения передвижения. После установки всей навесной конструкции восстанавливаем индикаторы в положение нуля (0).

Используемый пресс П-250 оснащен двумя механизмами для опускания верхней базы плиты это электрический мотор и гидравлический механизм. Электромотор служит механизмом для придавливания образца и установки его в рабочее положение, при этом механизм автоматически отключается при получении сопротивления сжатию. В результате придавливания образца никакого напряжения не образуется. С этого момента образец считается готовым к эксперименту (рис. 3.2)



Рисунок 3.2 - Испытание опытного образца

Нагрузка при испытании увеличивается пропорционально – степенями. Одна ступень составляет 0,1 единицу от разрушающей нагрузки, выдержка на каждой ступени составляет 4-5 минут, после чего снимались показания приборов и записывался в журнал испытаний. Разрушение опытного образца произошло хрупко с хлопком по продольной оси образца

3.4 Результаты экспериментальных исследований

Из протоколов испытаний в таблицах 1, 2, 3 представлены значения нагрузок P и показания индикаторов осевых перемещений. По значениям нагрузки и площади сечения призмы определяем значения напряжений:

$$\sigma = \frac{P}{A_b} \text{ МПа,} \quad (26)$$

Где P – нагрузка, т

A_b – площадь поперечного сечения призмы, мм²;

Также из показаний приборов вычисляются относительные осевые деформации ϵ_b , по формуле:

$$\epsilon_b = \Delta l / l, \quad (27)$$

где $l=300$ мм база измерений осевых деформаций.

Результаты расчетов представлены в таблицах 3, 4, 5.

Таблица 3 - Результаты испытаний 1 образца

№ ступени нагрузки	P, т	σ , кг/см ²	Δl_1	Δl_2	Δl_3	Δl_4	Δl	$\epsilon \times 10^{-5}$
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	5	22	0,02	0,02	0,01	0,01	0,015	5
3	10	44	0,04	0,05	0,03	0,03	0,0375	12,5
4	20	89	0,1	0,1	0,07	0,06	0,0825	27,5
5	30	133	0,15	0,15	0,11	0,1	0,1275	42,5
6	40	178	0,2	0,21	0,15	0,13	0,1925	57,5
7	50	222	0,25	0,26	0,2	0,18	0,2225	74,17
8	60	267	0,3	0,31	0,24	0,22	0,2675	89,17
9	70	311	0,39	0,42	0,34	0,31	0,365	121,7
10	75	333	0,41	0,44	0,36	0,33	0,385	128,3
11	80	356	0,44	0,46	0,38	0,35	0,4075	135,8
12	85	378	0,46	0,48	0,4	0,37	0,4275	142,5
13	90	400	0,48	0,51	0,42	0,39	0,45	150,0
14	95	422	0,5	0,53	0,44	0,41	0,47	156,7
15	100	444	0,53	0,56	0,7	0,44	0,5	166,7
16	105	467	0,57	0,6	0,51	0,47	0,5735	179,2
17	110	489						

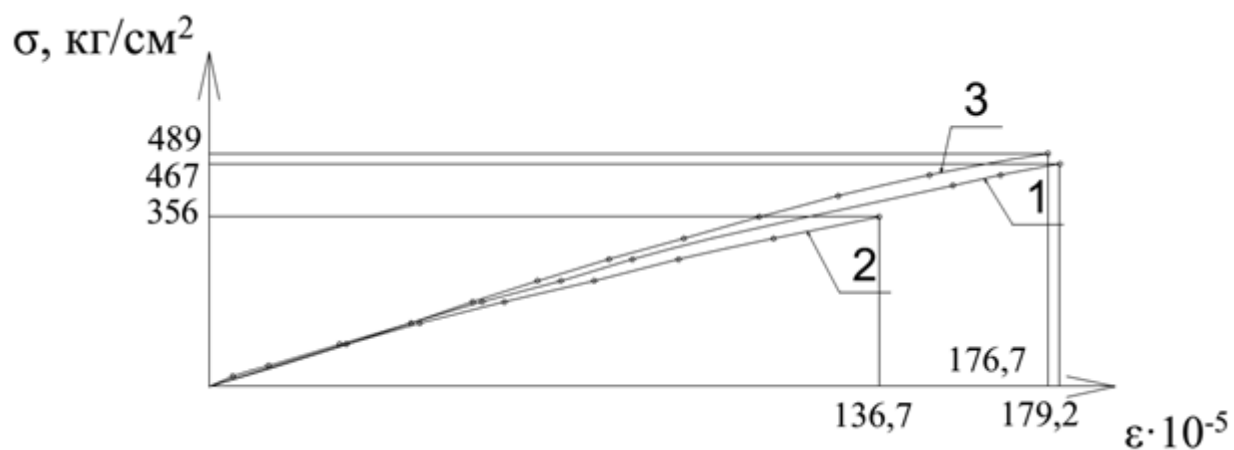
Таблица 4 - Результаты испытаний 2 образца

№ ступени нагрузки	P, т	σ , кг/см ²	Δl_1	Δl_2	Δl_4	Δl	$\varepsilon \times 10^{-5}$
1	0	0	0	0	0	0	0
2	20	89	0,09	0,1	0,07	0,087	28,9
3	30	133	0,15	0,14	0,11	0,133	44,4
4	40	178	0,23	0,18	0,15	0,187	62,2
5	50	222	0,31	0,23	0,19	0,243	81,1
6	60	267	0,38	0,28	0,23	0,297	98,9
7	70	311	0,45	0,34	0,28	0,357	118,9
8	80	356	0,53	0,41	0,33	0,423	141,1
9	70	311	0,51	0,38	0,3	0,397	132,2
10	60	267	0,47	0,34	0,27	0,36	120
11	40	178	0,38	0,25	0,2	0,247	92,2
12	20	89	0,26	0,15	0,1	0,17	56,7
13	0	0	0,03	0,03	0,01	0,023	7,8
14	20	89	0,14	0,14	0,09	0,123	41,1
15	40	178	0,25	0,23	0,17	0,216	72,2
16	60	267	0,35	0,32	0,25	0,307	102,2
17	80	356	0,47	0,43	0,33	0,41	136,7
18	90	400					

Таблица 5 - Результаты испытаний 3 образца

№ ступени нагрузки	P, т	σ , кг/см ²	Δl_1	Δl_2	Δl_3	Δl_4	Δl	$\varepsilon \times 10^{-5}$
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	30	133	0,13	0,14	0,13	0,11	0,1275	42,5
3	40	178	0,18	0,16	0,17	0,15	0,165	55,0
4	50	222	0,23	0,20	0,20	0,2	0,2075	69,2
5	60	267	0,28	0,25	0,24	0,24	0,2525	84,2
6	70	311	0,34	0,3	0,28	0,28	0,3	100
7	60	267	0,31	0,3	0,25	0,25	0,2775	92,5
8	40	178	0,23	0,23	0,22	0,18	0,215	71,7
9	20	133	0,15	0,13	0,09	0,11	0,1	40
10	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	3,33
11	20	133	0,11	0,12	0,11	0,09	0,1075	35,8
12	40	178	0,19	0,18	0,19	0,16	0,18	60
13	60	267	0,28	0,27	0,27	0,24	0,265	88,3
14	70	311	0,32	0,31	0,31	0,28	0,305	101,7
15	80	356	0,37	0,35	0,35	0,32	0,3475	115,83
16	90	400	0,42	0,4	0,4	0,37	0,3975	132,5
17	100	444	0,48	0,45	0,46	0,43	0,455	151,7
18	110	489						

По табличным данным строятся диаграммы изменения деформационных параметров бетона с ростом нагрузки в координатах « σ_b - ε_b » (рис 3.3).



- 1) Диаграммы бетона на сжатие первого образца;
- 2) Диаграммы бетона на сжатие второго образца;
- 3) Диаграммы бетона на сжатие третьего образца;

Рисунок 3.3 - Опытные диаграммы деформирования бетона имеют нелинейный характер выпуклостью к оси напряжения.

Выводы по 3 главе

При изготовлении бетонных образцов использовалась одинаковая бетонная смесь, но при испытании образцы имели разные характеристики (предельные уровни напряжения и разные деформации), что привело к построения отличающихся друг от друга графиков деформирования бетона.

Глава 4 Расчет сечения железобетонного элемента по прочности

4.1 Уравнение равновесия внутренних усилий в нормальном сечении железобетонного элемента

Основная задача при расчете бетона по прочности состоит в проверке условия равновесия:

$$\frac{b \times R_b}{10.1} \frac{1}{\rho} (10\varepsilon_{bu} - 2\varepsilon_{b0} - 5\varepsilon_{b1}) + \sum_{i=1}^n A_{si} \times \sigma_{si} + \sum_{i=1}^n A_{si}' \times \sigma_{si}' = 0, \quad (28)$$

$$A_s = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (29)$$

где R_b - расчетное сопротивление бетона осевому сжатию;

ρ - радиус кривизны;

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\varepsilon_b + \varepsilon_s}{h_0}, \quad (30)$$

ε_{bu} - предельные деформации бетона;

ε_{b0} - предельные относительные деформации бетона;

ε_{b1} - относительные деформации бетона;

$$\varepsilon_{b1} = \frac{0.6\sigma_b}{E_b}, \quad (31)$$

A_s - площадь сечения арматурного стержня;

σ_s - напряжение в арматуре;

ε_s - предельные деформации арматуры;

4.2 Расчет прочности железобетонного элемента по двухлинейной диаграмме

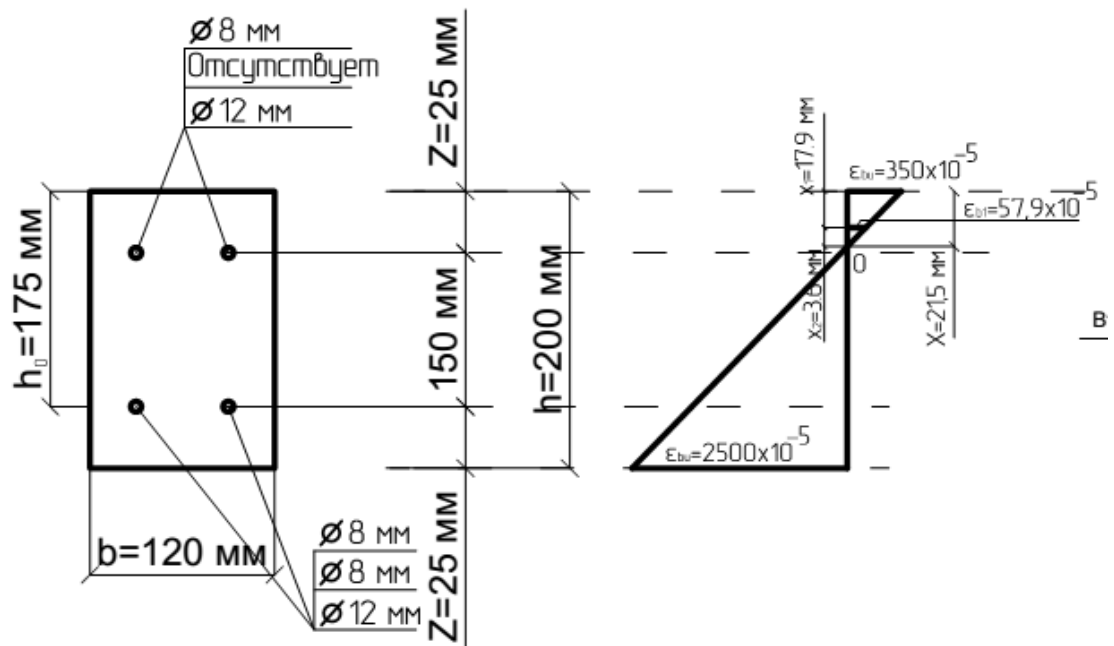


Рисунок 4.1. Расчетное сечение и эпюра деформаций

$$R_b = 165 \text{ кг/см}^2;$$

$$\rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 2500 \cdot 10^{-5}}{17,5} = 162,86$$

$$\varepsilon_{bu} = 350 \cdot 10^{-5};$$

$$\varepsilon_{b1} = 57,89 \cdot 10^{-5};$$

$$\sigma_s = 4000 \text{ кг/см}^2$$

$$\varepsilon_s = 2500 \cdot 10^{-5}$$

а) Арматура в сечении: нижняя – $\varnothing 8$ мм, верхняя $\varnothing 8$ мм

$$A_s = 0,5 \text{ см}^2;$$

Проверка условия равновесия:

$$\frac{12 \times 165}{162,86 \cdot 10^{-5}} \left(350 \cdot 10^{-5} - 57,89 \cdot 10^{-5} / 2 \right) - 4 \cdot 0,5 \cdot 4000 = -4096,65 \neq 0$$

Левая часть уравнения < 0 , что свидетельствует о переармировании.

Для реализации случая переармирования, необходимо выполнить следующие операции:

Приближение 1:

$$\Delta \varepsilon_s = 0,1 \times 2500 \cdot 10^{-5} = 250 \cdot 10^{-5}$$

$$\varepsilon_s = 2500 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 2250 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 2250 \cdot 10^{-5}}{17,5} = 148,57 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 165}{148,57 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 57,89 \cdot 10^{-5} / 2 - 4 \cdot 0,5 \cdot 4000 = -3721,32 \neq 0$$

Приближение 2:

$$\varepsilon_s = 2250 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 2000 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 2000 \cdot 10^{-5}}{17,5} = 134,29 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 165}{134,29 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 57,89 \cdot 10^{-5} / 2 - 4 \cdot 0,5 \cdot 4000 = -3266,15 \neq 0$$

Приближение 3:

$$\varepsilon_s = 2000 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 1750 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 1750 \cdot 10^{-5}}{17,5} = 120 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 165}{120 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 57,89 \cdot 10^{-5} / 2 - 4 \cdot 0,5 \cdot 4000 = -2702,59 \neq 0$$

Приближение 4:

$$\varepsilon_s = 1750 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 1500 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 1500 \cdot 10^{-5}}{17,5} = 105,71 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 165}{105,71 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 57,89 \cdot 10^{-5} / 2 - 4 \cdot 0,5 \cdot 4000 = -1986,73 \neq 0$$

Приближение 5:

$$\varepsilon_s = 1500 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 1250 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 1250 \cdot 10^{-5}}{17,5} = 91,43 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 165}{91,43 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 57,89 \cdot 10^{-5} / 2 - 4 \cdot 0,5 \cdot 4000 = -1047,15 \neq 0$$

Приближение 6:

$$\varepsilon_s = 1250 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 1000 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 1000 \cdot 10^{-5}}{17,5} = 77,14 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 165}{77,14 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 57,89 \cdot 10^{-5} / 2 - 4 \cdot 0,5 \cdot 4000 = 240,41 \neq 0$$

Знак изменился, уточняем коэффициент:

$$\text{Принимаем } \varepsilon_s = 1040,56 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 1040,56 \cdot 10^{-5}}{17,5} = 79,46 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 165}{79,46 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 57,89 \cdot 10^{-5} / 2 - 4 \cdot 0,5 \cdot 4000 = 0$$

Составим уравнение моментов относительно точки О:

$$M_{ult} = \frac{12 \times 165}{6 \cdot (79,46 \cdot 10^{-5})^2} \quad 3 \cdot (350 \cdot 10^{-5})^2 - (57,89 \cdot 10^{-5})^2 + 2 \cdot 0,5 \cdot 4000 \cdot 17,5 - 2,15 + 2 \cdot 0,5 \cdot 4000 \cdot 2,5 - 2,15 = 81832,49 = 8,18 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

б) Арматура в сечении: нижняя – $\varnothing 8$ мм, верхняя отсутствует.

$$A_s = 0,5 \text{ см}^2;$$

Проверка условия равновесия:

$$\frac{12 \times 165}{162,86 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 57,89 \cdot 10^{-5} / 2 - 2 \cdot 0,5 \cdot 4000 = -96,65 \neq 0$$

Левая часть уравнения < 0 , что свидетельствует о переармировании.

Приближение 1:

$$\Delta \varepsilon_s = 0,1 \times 2500 \cdot 10^{-5} = 250 \cdot 10^{-5}$$

$$\varepsilon_s = 2500 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 2250 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 2250 \cdot 10^{-5}}{17,5} = 148,57 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 165}{148,57 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 57,89 \cdot 10^{-5} / 2 - 2 \cdot 0,5 \cdot 4000 = 278,68 \neq 0$$

Знак изменился, уточняем коэффициент:

$$\text{Принимаем } \varepsilon_s = 2431,2 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 2431,2 \cdot 10^{-5}}{17,5} = 158,93 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 165}{158,93 \cdot 10^{-5}} 350 \cdot 10^{-5} - 57,89 \cdot 10^{-5} / 2 - 2 \cdot 0,5 \cdot 4000 = 0$$

Составим уравнение моментов относительно точки О:

$$M_{ult} = \frac{12 \times 165}{6 \cdot (158,93 \cdot 10^{-5})^2} 3 \cdot (350 \cdot 10^{-5})^2 - (57,89 \cdot 10^{-5})^2 + 2 \cdot 0,5 \cdot 4000 \cdot 17,5 - 2,15 = 66157,52 = 6,62 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

в) Арматура в сечении: нижняя – $\varnothing 12$ мм, верхняя – $\varnothing 8$ мм.

$$A_s = 0,5 \text{ см}^2;$$

Проверка условия равновесия:

$$\frac{12 \times 165}{162,86 \cdot 10^{-5}} 350 \cdot 10^{-5} - 57,89 \cdot 10^{-5} / 2 - 2 \cdot 0,5 \cdot 4000 - 2 \cdot 1,13 \cdot 4000 = -9136,65 \neq 0$$

Левая часть уравнения < 0 , что свидетельствует о переармировании.

Приближение 1:

$$\Delta \varepsilon_s = 0,1 \times 2500 \cdot 10^{-5} = 250 \cdot 10^{-5}$$

$$\varepsilon_s = 2500 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 2250 \cdot 10^{-5}$$

$$\rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 2250 \cdot 10^{-5}}{17,5} = 148,57 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 165}{148,57 \cdot 10^{-5}} 350 \cdot 10^{-5} - 57,89 \cdot 10^{-5} / 2 - 2 \cdot 0,5 \cdot 4000 - 2 \cdot 1,13 \cdot 4000 = -8761,32 \neq 0$$

Приближение 2:

$$\varepsilon_s = 2250 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 2000 \cdot 10^{-5}$$

$$\rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 2000 \cdot 10^{-5}}{17,5} = 134,29 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 165}{134,29 \cdot 10^{-5}} 350 \cdot 10^{-5} - 57,89 \cdot 10^{-5} / 2 - 2 \cdot 0,5 \cdot 4000 - 2 \cdot 1,13 \cdot 4000 = -8306,15 \neq 0$$

Приближение 3:

$$\varepsilon_s = 2000 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 1750 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 1750 \cdot 10^{-5}}{17,5} = 120 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 165}{120 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 57,89 \cdot 10^{-5}/2 - 2 \cdot 0,5 \cdot 4000 - 2 \cdot 1,13 \cdot 4000 \\ = -7742,59 \neq 0$$

Приближение 4:

$$\varepsilon_s = 1750 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 1500 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 1500 \cdot 10^{-5}}{17,5} = 105,71 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 165}{105,71 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 57,89 \cdot 10^{-5}/2 - 2 \cdot 0,5 \cdot 4000 - 2 \cdot 1,13 \cdot 4000 \\ = -7026,73 \neq 0$$

Приближение 5:

$$\varepsilon_s = 1500 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 1250 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 1250 \cdot 10^{-5}}{17,5} = 91,43 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 165}{91,43 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 57,89 \cdot 10^{-5}/2 - 2 \cdot 0,5 \cdot 4000 - 2 \cdot 1,13 \cdot 4000 \\ = -6087,15 \neq 0$$

Приближение 6:

$$\varepsilon_s = 1250 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 1000 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 1000 \cdot 10^{-5}}{17,5} = 77,14 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 165}{77,14 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 57,89 \cdot 10^{-5}/2 - 2 \cdot 0,5 \cdot 4000 - 2 \cdot 1,13 \cdot 4000 \\ = -4799,59 \neq 0$$

Приближение 7:

$$\varepsilon_s = 1000 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 750 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 750 \cdot 10^{-5}}{17,5} = 62,86 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 165}{62,86 \cdot 10^{-5}} 350 \cdot 10^{-5} - 57,89 \cdot 10^{-5} / 2 - 2 \cdot 0,5 \cdot 4000 - 2 \cdot 1,13 \cdot 4000 = -2926,77 \neq 0$$

Приближение 8:

$$\varepsilon_s = 750 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 500 \cdot 10^{-5}$$

$$\rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 500 \cdot 10^{-5}}{17,5} = 48,57 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 165}{48,57 \cdot 10^{-5}} 350 \cdot 10^{-5} - 57,89 \cdot 10^{-5} / 2 - 2 \cdot 0,5 \cdot 4000 - 2 \cdot 1,13 \cdot 4000 = 47,71 \neq 0$$

Знак изменился, уточняем коэффициент:

$$\text{Принимаем } \varepsilon_s = 503,11 \cdot 10^{-5}$$

$$\rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 503,11 \cdot 10^{-5}}{17,5} = 48,75 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 165}{48,75 \cdot 10^{-5}} 350 \cdot 10^{-5} - 57,89 \cdot 10^{-5} / 2 - 2 \cdot 0,5 \cdot 4000 - 2 \cdot 1,13 \cdot 4000 = 0$$

Составим уравнение моментов относительно точки О:

$$M_{ult} = \frac{12 \times 165}{6 \cdot (48,75 \cdot 10^{-5})^2} 3 \cdot (350 \cdot 10^{-5})^2 - (57,89 \cdot 10^{-5})^2 + 2 \cdot 1,13 \cdot 4000 \cdot 17,5 - 2,15 + 2 \cdot 0,5 \cdot 4000 \cdot 2,5 - 2,15 = 190728,2 = 19,07 \text{ кНм}$$

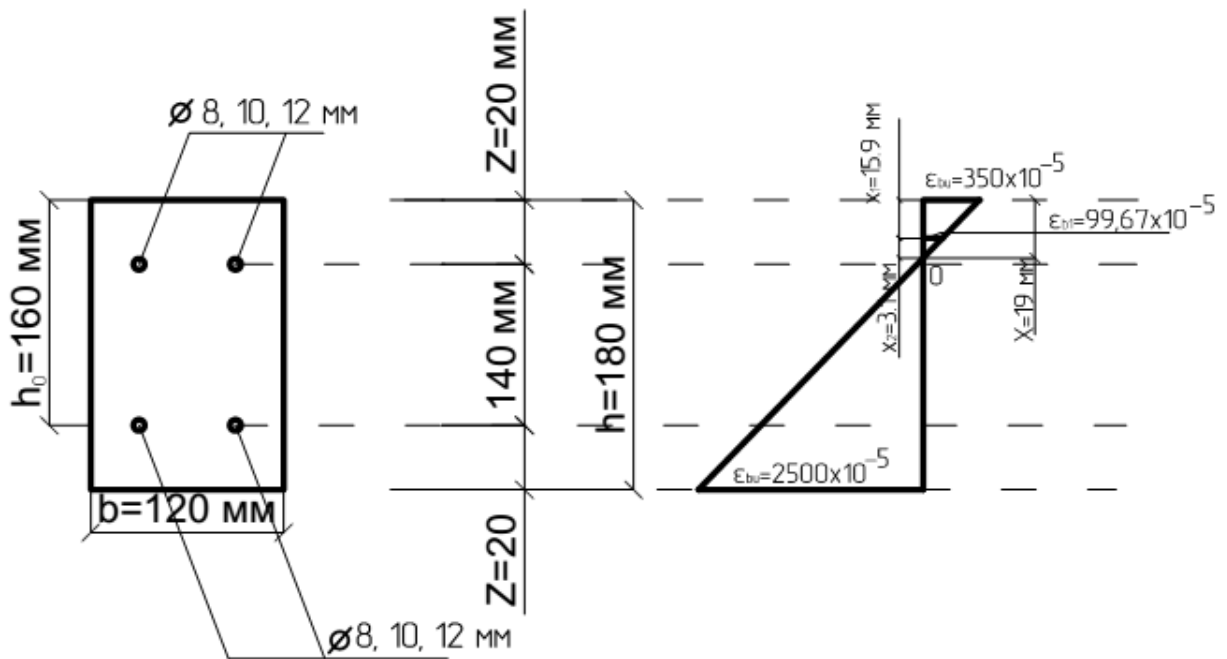


Рисунок 4.2. Расчетное сечение и эпюра деформаций

$$R_b = 306 \text{ кг/см}^2;$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 2500 \cdot 10^{-5}}{17,5} = 162,86$$

$$\varepsilon_{bu} = 350 \times 10^{-5};$$

$$\varepsilon_{b1} = 99,67 \times 10^{-5};$$

$$\varepsilon_s = 2500 \cdot 10^{-5}$$

а) Арматура в сечении: нижняя – $\varnothing 8$ мм, верхняя $\varnothing 8$ мм

$$A_s = 0,5 \text{ см}^2;$$

$$\sigma_s = 4780 \text{ кг/см}^2$$

Проверка условия равновесия:

$$\frac{12 \times 306}{178,13 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 99,67 \cdot 10^{-5} / 2 - 4 \cdot 0,5 \cdot 4780 = -3372,18 \neq 0$$

Левая часть уравнения < 0 , что свидетельствует о переармировании.

Приближение 1:

$$\Delta \varepsilon_s = 0,1 \times 2500 \cdot 10^{-5} = 250 \cdot 10^{-5}$$

$$\varepsilon_s = 2500 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 2250 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 2250 \cdot 10^{-5}}{16,0} = 162,5 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 306}{162,5 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 99,67 * 10^{-5}/2 \quad - 4 \cdot 0,5 \cdot 4780 = -2777,19 \neq 0$$

Приближение 2:

$$\varepsilon_s = 2250 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 2000 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 2000 \cdot 10^{-5}}{16} = 146,88 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 306}{146,88 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 99,67 * 10^{-5}/2 \quad - 4 \cdot 0,5 \cdot 5220 = -2055,62 \neq 0$$

Приближение 3:

$$\varepsilon_s = 2000 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 1750 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 1750 \cdot 10^{-5}}{16,0} = 131,25 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 306}{131,25 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 99,67 * 10^{-5}/2 \quad - 4 \cdot 0,5 \cdot 4780 = -1162,24 \neq 0$$

Приближение 4:

$$\varepsilon_s = 1750 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 1500 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 1500 \cdot 10^{-5}}{16} = 115,63 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 306}{115,63 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 99,67 * 10^{-5}/2 \quad - 4 \cdot 0,5 \cdot 4780 = -27,41 \neq 0$$

Приближение 5:

$$\varepsilon_s = 1500 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 1250 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 1250 \cdot 10^{-5}}{16,0} = 100 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 306}{100 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 99,67 * 10^{-5}/2 \quad - 4 \cdot 0,5 \cdot 4780 = -1462,06 \neq 0$$

Знак изменился, уточняем коэффициент:

$$\text{Принимаем } \varepsilon_s = 1494,7 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 1494,7 \cdot 10^{-5}}{16,0} = 115,29 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 306}{115,29 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 99,67 * 10^{-5}/2 \quad - 4 \cdot 0,5 \cdot 4780 = 0$$

Составим уравнение моментов относительно точки О:

$$M_{ult} = \frac{12 \times 165}{6 \cdot (115,29 \cdot 10^{-5})^2} \cdot 3 \cdot (350 \cdot 10^{-5})^2 - (99,67 \cdot 10^{-5})^2 + 2 \cdot 0,5 \cdot 4780 \cdot 16,0 - 1,96 + 2 \cdot 0,5 \cdot 4780 \cdot 2,0 - 1,96 = 83765,98 = 8,38 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

б) Арматура в сечении: нижняя – $\emptyset 10$ мм, верхняя $\emptyset 10$ мм

$$A_s = 0,785 \text{ см}^2;$$

$$\sigma_s = 5220 \text{ кг/см}^2$$

Проверка условия равновесия:

$$\frac{12 \times 306}{178,13 \cdot 10^{-5}} \cdot 350 \cdot 10^{-5} - 99,67 \cdot 10^{-5} / 2 - 4 \cdot 0,785 \cdot 5220 = -10203,0 \neq 0$$

Левая часть уравнения < 0 , что свидетельствует о перearмировании.

Приближение 1:

$$\Delta \varepsilon_s = 0,1 \times 2500 \cdot 10^{-5} = 250 \cdot 10^{-5}$$

$$\varepsilon_s = 2500 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 2250 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 2250 \cdot 10^{-5}}{16,0} = 162,5 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 306}{162,5 \cdot 10^{-5}} \cdot 350 \cdot 10^{-5} - 99,67 \cdot 10^{-5} / 2 - 4 \cdot 0,785 \cdot 5220 = -9607,99 \neq 0$$

Приближение 2:

$$\varepsilon_s = 2250 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 2000 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 2000 \cdot 10^{-5}}{16} = 146,88 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 306}{146,88 \cdot 10^{-5}} \cdot 350 \cdot 10^{-5} - 99,67 \cdot 10^{-5} / 2 - 4 \cdot 0,785 \cdot 5220 = -8886,42 \neq 0$$

Приближение 3:

$$\varepsilon_s = 2000 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 1750 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 1750 \cdot 10^{-5}}{16,0} = 131,25 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 306}{131,25 \cdot 10^{-5}} \cdot 350 \cdot 10^{-5} - 99,67 \cdot 10^{-5} / 2 - 4 \cdot 0,785 \cdot 5220 = -7993,04 \neq 0$$

Приближение 4:

$$\Delta \varepsilon_s = 0,1 \times 2500 \cdot 10^{-5} = 250 \cdot 10^{-5}$$

$$\varepsilon_s = 1750 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 1500 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 1500 \cdot 10^{-5}}{16,0} = 115,63 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 306}{115,63 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 99,67 \cdot 10^{-5}/2 - 4 \cdot 0,785 \cdot 5220 = -9858,21 \neq 0$$

Приближение 5:

$$\varepsilon_s = 1500 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 1250 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 1250 \cdot 10^{-5}}{16} = 100 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 306}{100 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 99,67 \cdot 10^{-5}/2 - 4 \cdot 0,785 \cdot 5220 = -5368,74 \neq 0$$

Приближение 6:

$$\varepsilon_s = 1250 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 1000 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 1000 \cdot 10^{-5}}{16,0} = 84,38 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 306}{84,38 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 99,67 \cdot 10^{-5}/2 - 4 \cdot 0,785 \cdot 5220 = -3327,62 \neq 0$$

Приближение 7:

$$\Delta \varepsilon_s = 0,1 \times 2500 \cdot 10^{-5} = 250 \cdot 10^{-5}$$

$$\varepsilon_s = 1000 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 750 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 750 \cdot 10^{-5}}{16,0} = 68,75 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 306}{162,5 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 99,67 \cdot 10^{-5}/2 - 4 \cdot 0,785 \cdot 5220 = -358,71 \neq 0$$

Приближение 8:

$$\varepsilon_s = 750 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 500 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 500 \cdot 10^{-5}}{16} = 53,13 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 306}{53,13 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 99,67 \cdot 10^{-5}/2 - 4 \cdot 0,785 \cdot 5220 = 4356,61 \neq 0$$

Знак изменился, уточняем коэффициент:

Принимаем $\varepsilon_s = 725,93 \cdot 10^{-5}$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 725,93 \cdot 10^{-5}}{16,0} = 67,25 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 306}{67,25 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 99,67 \cdot 10^{-5}/2 - 4 \cdot 0,785 \cdot 5220 = 0$$

Составим уравнение моментов относительно точки О:

$$\begin{aligned} M_{ult} &= \frac{12 \times 165}{6 \cdot (67,25 \cdot 10^{-5})^2} \quad 3 \cdot (350 \cdot 10^{-5})^2 - (99,67 \cdot 10^{-5})^2 + 2 \cdot 0,785 \cdot 5220 \\ &\quad \cdot 16,0 - 1,96 + 2 \cdot 0,785 \cdot 5220 \cdot 2,0 - 1,96 = 163777,6 \\ &= 16,38 \text{ кН} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

в) Арматура в сечении: нижняя – $\varnothing 12$ мм, верхняя $\varnothing 12$ мм

$$A_s = 1,13 \text{ см}^2;$$

$$\sigma_s = 5020 \text{ кг/см}^2$$

Проверка условия равновесия:

$$\frac{12 \times 306}{178,13 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 99,67 \cdot 10^{-5}/2 - 4 \cdot 1,13 \cdot 5020 = -16502,6 \neq 0$$

Левая часть уравнения < 0 , что свидетельствует о переармировании.

Приближение 1:

$$\Delta \varepsilon_s = 0,1 \times 2500 \cdot 10^{-5} = 250 \cdot 10^{-5}$$

$$\varepsilon_s = 2500 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 2250 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 2250 \cdot 10^{-5}}{16,0} = 162,5 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 306}{162,5 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 99,67 \cdot 10^{-5}/2 - 4 \cdot 1,13 \cdot 5020 = -15907,6 \neq 0$$

Приближение 2:

$$\varepsilon_s = 2250 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 2000 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 2000 \cdot 10^{-5}}{16} = 146,88 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 306}{146,88 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 99,67 \cdot 10^{-5}/2 - 4 \cdot 1,13 \cdot 5020 = -15186,0 \neq 0$$

Приближение 3:

$$\varepsilon_s = 2000 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 1750 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 1750 \cdot 10^{-5}}{16,0} = 131,25 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 306}{131,25 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 99,67 \cdot 10^{-5}/2 - 4 \cdot 1,13 \cdot 5020 = 14292,6 \neq 0$$

Приближение 4:

$$\Delta \varepsilon_s = 0,1 \times 2500 \cdot 10^{-5} = 250 \cdot 10^{-5}$$

$$\varepsilon_s = 1750 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 1500 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 1500 \cdot 10^{-5}}{16,0} = 115,63 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 306}{115,63 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 99,67 \cdot 10^{-5}/2 - 4 \cdot 1,13 \cdot 5020 = -13157,8 \neq 0$$

Приближение 5:

$$\varepsilon_s = 1500 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 1250 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 1250 \cdot 10^{-5}}{16} = 100 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 306}{100 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 99,67 \cdot 10^{-5}/2 - 4 \cdot 1,13 \cdot 5020 = -11668,3 \neq 0$$

Приближение 6:

$$\varepsilon_s = 1250 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 1000 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 1000 \cdot 10^{-5}}{16,0} = 84,38 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 306}{84,38 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 99,67 \cdot \frac{10^{-5}}{2} - 4 \cdot 1,13 \cdot 5020 = -9627,22 \neq 0$$

Приближение 7:

$$\varepsilon_s = 1000 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 750 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 750 \cdot 10^{-5}}{16,0} = 68,75 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 306}{68,75 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 99,67 \cdot 10^{-5}/2 - 4 \cdot 1,13 \cdot 5020 = -6658,31 \neq 0$$

Приближение 8:

$$\varepsilon_s = 750 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 500 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 500 \cdot 10^{-5}}{16} = 53,13 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 306}{53,13 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 99,67 \cdot 10^{-5}/2 - 4 \cdot 1,13 \cdot 5020 = -1943,0 \neq 0$$

Приближение 9:

$$\varepsilon_s = 500 \cdot 10^{-5} - 250 \cdot 10^{-5} = 250 \cdot 10^{-5}$$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 250 \cdot 10^{-5}}{16,0} = 37,5 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 306}{37,5 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 99,67 \cdot 10^{-5}/2 - 4 \cdot 1,13 \cdot 5020 = 6701,76 \neq 0$$

Знак изменился, уточняем коэффициент:

Принимаем $\varepsilon_s = 427,22 \cdot 10^{-5}$

$$1 \quad \rho = \frac{350 \cdot 10^{-5} + 427,22 \cdot 10^{-5}}{16,0} = 48,58 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{12 \times 306}{48,58 \cdot 10^{-5}} \quad 350 \cdot 10^{-5} - 99,67 \cdot 10^{-5}/2 - 4 \cdot 1,13 \cdot 5020 = 0$$

Составим уравнение моментов относительно точки О:

$$M_{ult} = \frac{12 \times 165}{6 \cdot (48,58 \cdot 10^{-5})^2} \quad 3 \cdot (350 \cdot 10^{-5})^2 - (99,67 \cdot 10^{-5})^2 + 2 \cdot 1,13 \cdot 5020 \cdot 16,0 - 1,96 + 2 \cdot 1,13 \cdot 5020 \cdot 2,0 - 1,96 = 192464,5 = 19,2 \text{ кНм}$$

Сравним результаты, полученные по расчету с опытными данными (табл.

6):

Таблица 6. Сравнение опытных и расчетных данных

M_p , кНм	M_p , кНм (Б-1)	M_p , кНм (Б-2)	M_p , кНм (Б-3)	M_p , кНм (К-8)	M_p , кНм (К-10)	M_p , кНм (К-12)
Расчет	8,18	6,62	19,07	8,38	16,38	19,2
Опыт	7,33	7,23	17,3	7,5	12,1	17,1

Опытные данные M_p (взяты из эксперимента Тошина Д.С.), указанные во 2-4 столбцах, взяты для сечений с:

- верхней арматурой $\varnothing 8\text{мм}$ и нижней арматурой $\varnothing 8\text{мм}$;

- нижней арматурой $\varnothing 8\text{мм}$;
- верхней арматурой 8 мм и нижней арматурой 12 мм.

Опытные данные M_p (взяты из эксперимента Ерышева В.А.), указанные в 5-7 столбцах, взяты для сечений с:

- верхней и нижней арматурой $\varnothing 8\text{мм}$;
- верхней и нижней арматурой $\varnothing 10\text{мм}$;
- верхней и нижней арматурой $\varnothing 12\text{мм}$.

Выводы по 4 главе

Проведен обзор вариантов представления диаграмм деформирования арматуры и бетона, отражающие физические зависимости « $\sigma_b - \epsilon_b$ ». Наиболее точно характеризующими связь между напряжениями и деформациями являются линейные зависимости. На основании данных зависимостей выполнен расчет железобетонного сечения. После расчета железобетонного сечения проведен сравнительный анализ, в соответствии с которым мы видим, что между опытными и расчетными данными есть процент расхождения, но они близки друг к другу, а значения, рассчитанные по двухлинейной и трехлинейной диаграммам имеют самые минимальные расхождения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной магистерской работе проведен анализ описания диаграмм деформирования бетона « σ_b - ϵ_b ». на сжатие применяемые в нормативных документах РФ и Европы.

Составлены алгоритмы для построения прямолинейных и криволинейных диаграмм деформирования бетона.

Проведен анализ расхождений деформаций в криволинейных диаграммах деформирования бетона, наиболее часто применяемых классов бетона (В10-В60).

На основании теоретического материала составлена блок-схема для построения диаграмм деформирования бетона

Разработан алгоритм построения криволинейных диаграмм деформирования бетона в Microsoft Excel.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Частично содержание диссертации изложено в следующих публикациях:
в изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов
и изданий ВАК:

1. Дзюба Р.Р. Исследование диаграмм деформирования бетона // Сборник статей Международной научно-практической конференции «Инструменты и механизмы современного инновационного развития». – 2016. – С. 15-18.
2. Дзюба Р.Р. Исследования диаграмм деформирования бетона для расчета железобетонных конструкций // Символ науки. – 2016. – №3. – С. 42-45.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Крылов, С.М. Особенности деформирования изгибаемых железобетонных элементов при разгрузке и повторных нагружениях / С.М. Крылов, В.В. Чижевский, С.Б. Стародубская // Исследования железобетонных конструкций при статических, повторных и динамических воздействиях. – М. : НИИЖБ, 1984. – С. 78 – 82.
- 2 Лившиц, Я.Д. Расчет железобетонных конструкций с учетом влияния усадки и ползучести бетона / Я.Д. Лившиц // Вища школа, Киев, 1976. – 278 с.
- 3 СНБ 5.03.01-02 Бетонные и железобетонные конструкции. – Строительные нормы Республики Беларусь. – Минск. – 2003.
- 4 СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. - ОАО НИЦ Строительство. НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, 2012.
- 5 Ерышев В.А., Тошин Д.С. Диаграмма деформирования бетона при многократных повторных нагружениях // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2005. №10. С. 109-114.
- 6 Ерышев В.А., Латышев Д.И., Тошин Д.С. Методика расчета деформаций изгибаемого железобетонного элемента при разгрузке // Известия Орловского Государственного технического университета. 2009. №2. С. 6-13.
- 7 Александровский, С.В. К итогам Международного симпозиума по усадке бетонов / С.В. Александровский // Бетон и железобетон. – 1968. – № 11.
- 8 Бабич, Е.М. Работа элементов на поперечную силу при многократно повторных нагружениях / Е.М. Бабич, А.П. Погореляк, А.С. Залесов // Бетон и железобетон. – 1981. – № 6. – С. 8 – 9.
- 9 Бабич, Е.М. Экспериментальное исследование модуля упругости бетонных образцов при различной интенсивности сжимающих нагрузок / Е.М. Бабич, Л.П. Макаренко // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1967. – № 3. – С. 20–27.

- 10 Ерышев В.А., Латышев Д.И., Бондаренко А.С. К методике описания диаграммы малоциклового нагружения // Известия Орловского Государственного технического университета. 2009. №1. С. 22-28.
- 11 Ерышев В.А., Бондаренко А.С., Царев В.С. Влияние усадки бетона на деформирование железобетонных конструкций // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2011. №4(18). С.52-55.
- 12 Ерышев В.А., Латышева Е.В., Бондаренко А.С. Усадочные деформации в бетонных и железобетонных элементах // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. №4(22). С. 97-102.
- 13 Карпенко Н.И., Ерышев В.А., Латышева Е.В., Бондаренко А.С. Деформации железобетонного элемента с учетом усадочных деформаций // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета, серия: Строительство и архитектура. 2013г. №31(50) ч.2. Строительные науки. С.344-358.
- 14 Ерышев В.А., Латышева Е.В., Ключников С.В., Седина Н.С. К построению диаграмм циклического нагружения бетона при одноосном сжатии // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. №1(23). С.104-109.
- 15 Карпенко Н.И., Ерышев В.А., Латышева Е.В. К построению диаграмм деформирования бетона повторными нагрузками сжатия при постоянных уровнях напряжений // Строительные материалы. 2013г. №6. С.48-52.
- 16 Ерышев В.А., Латышева Е.В., Бондаренко А.С., Баранова Ю.С. Деформационные параметры бетона при разгрузке с напряжений сжатия // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2014г. №1(27). С.87-93.
- 17 Карпенко Н.И., Ерышев В.А., Латышева Е.В. Методика расчета параметров деформирования бетона при разгрузке с напряжений сжатия // Вестник Московского государственного строительного университета. 2014г. №3. С.168-178.

- 18 Карпенко Н.И., Ерышев В.А., Латышева Е.В. Методика построения диаграмм деформирования бетона повторными нагрузками сжатия при переменных уровнях напряжений // Жилищное строительство. 2014г. №7. С.9-
- 19 Карпенко Н.И., Ерышев В.А., Латышева Е.В., Кокарев С.А. Методика описания диаграммы бетона с переменными уровнями напряжений сжатия и частичной разгрузкой // Научно-технический и производственный журнал «Промышленное и гражданское строительство». 2015г. №3. С.12-15.
- 20 Карпенко, Н.И. Деформации железобетонного элемента с учетом усадочных деформаций / Н.И. Карпенко, В.А. Ерышев, Е.В. Латышева, А.С. Бондаренко // Вестник Волжского государственного архитектурно-строительного университета, серия: Строительство и архитектура. – 2013. – № 31(50) – ч.2. – С. 344 – 358.
- 21 Карпенко, Н.И. К построению диаграмм деформирования бетона повторными нагрузками сжатия при постоянных уровнях напряжений / Н.И. Карпенко, В.А. Ерышев, Е.В. Латышева // Строительные материалы. – 2013. – № 6. – С. 48 – 52.
- 22 Кузовчикова, Е.А. Исследование влияния малоцикловых сжимающих воздействий на деформативности, прочность и структурные изменения бетона / Е.А. Кузовчикова, А.В. Яшин // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1976. – № 10. – С. 30 – 35.
- 23 Маркин, А.П. Кинетика разрушения бетона при циклических нагружениях / А.П. Маркин, Г.А. Фокин // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1982. – № 1. – С. 75 – 77.
- 24 Косолапов, А.В. Особенности развития объемных деформаций бетонов различных составов при сжатии / А.В. Косолапов, В.А. Беккер // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1978. – № 7. – С. 80 – 84.
- 25 Кокарев, А.М. Деформации железобетонных элементов с трещинами при повторных и знакопеременных нагружениях и разгрузках : автореферат дисс. ... канд. техн. наук / А.М. Кокарев. – 1983. – 21 с.

- 26 Котов, В.А. Влияние вида напряженного состояния на способность бетона сопротивляться разрушению в конструкциях, подвергаемых повторно-переменному нагружению : дис. ... канд. техн. наук / В.А. Котов. – М. : 1983. – 232 с.
- 27 Крамарчук, П.П. Исследования деформативности бетона и изгибаемых железобетонных элементов под действием длительных повторных нагрузок : дисс. ... канд. техн. наук / П.П. Крамарчук. – М. : Изд-во Киев, 1971. – 24 с.
- 28 Кузнецов, А.В. Метод расчета стержневых железобетонных конструкций на повторные и знакопеременные нагрузки с учетом действия моментов и нормальных сил : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.В. Кузнецов. – 1992. – 25 с.
- 29 Куприянов, В.В. Расчет упругопластических рам на повторно-переменную и подвижную нагрузку : автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.В. Куприянов. – 1972. – 20 с.
- 30 Тошин, Д.С. Нелинейный расчет деформаций изгибаемых железобетонных элементов при разгрузке с применением деформационной модели : дис. ... канд. техн. наук / Д.С. Тошин. – Тольятти. – 2009. – 130 с.
- 31 Цепелев, С.В. Прочность и деформативность неразрезных железобетонных балок при многократно повторных нагрузках: дис. канд. техн. наук / С.В. Цепелев. – М. : – 1986. – 130 с.
- 32 Яковлев, С.К. Исследования приспособляемости железобетонных конструкций при действии повторных кратковременных нагрузок: дис. канд. техн. наук / С.К. Яковлев – М. : – 1984. – 181 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

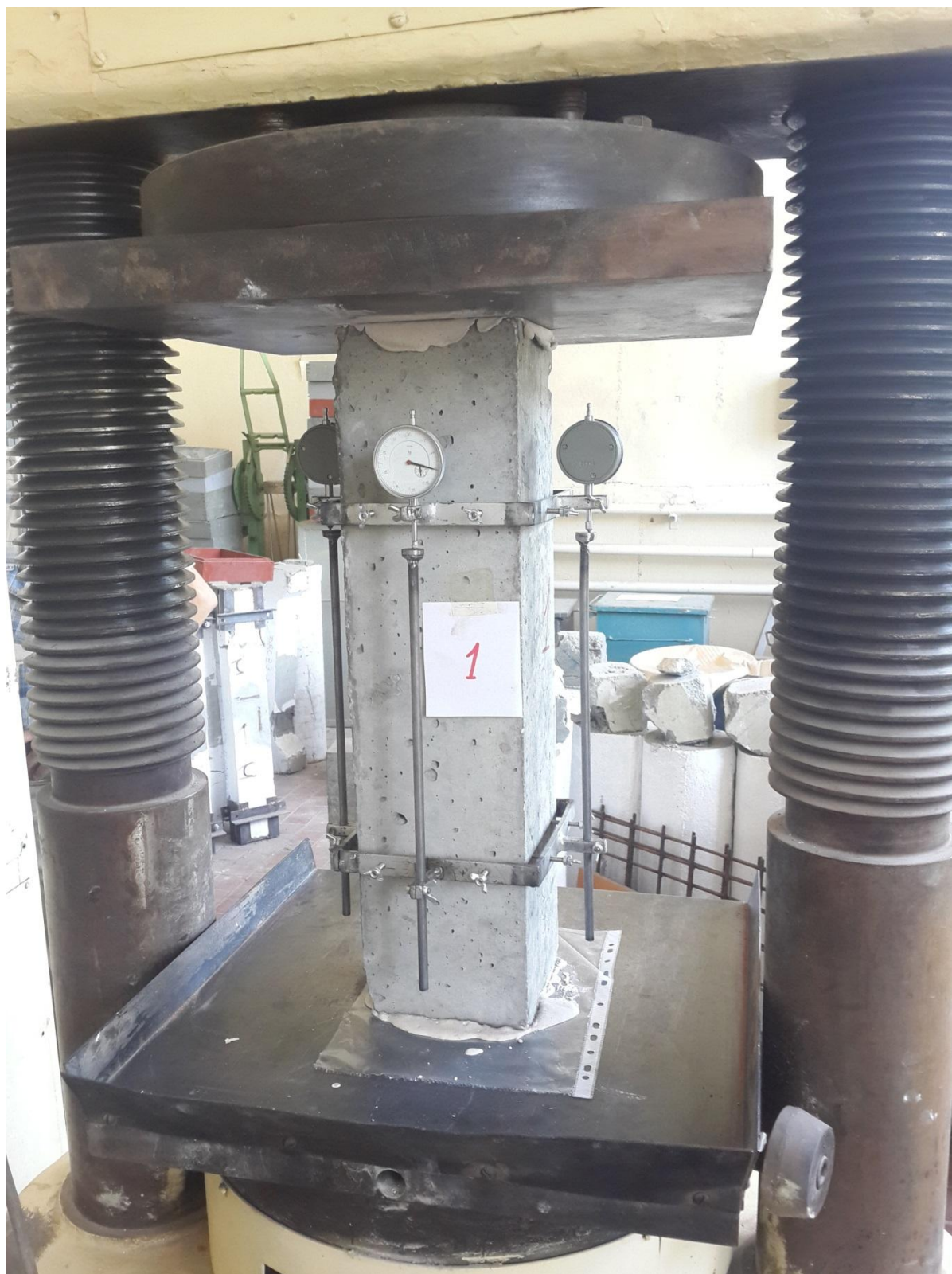


Рисунок А.1 - Образец №1 до разрушения



Рисунок А.2 - Образец №1 после разрушения



Рисунок А.3 - Образец №2 до разрушения



Рисунок А.4 - Образец №2 после разрушения



Рисунок А.5 - Образец №3 до разрушения



Рисунок А.6 - Образец №3 после разрушения



Рисунок А.7 - Наглядный пример линии разрушения Образца №3

образец №1 при криволинейной деформации

№ ступени нагрузки	Время приложения нагрузки, мин	Нагрузка на образец, МПа	Показания приборов при измерении продольных деформаций Δl , мм								Средние приращения, Δl , мм $\cdot 10^{-5}$
			1		2		3		4		
			отсчет	приращение	отсчет	приращение	отсчет	приращение	отсчет	приращение	
1	11:24	57 0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,015
2	11:29	107 0,04	0,02	0,05	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01	0,03	0,035
3	11:33	207 0,1	0,06	0,1	0,05	0,04	0,06	0,04	0,03	0,03	0,0825
4	11:39	307 0,15	0,05	0,15	0,05	0,11	0,04	0,1	0,03	0,04	0,1275
5	11:45	407 0,2		0,21		0,15		0,13		0,04	0,1425
6	11:50	507 0,25		0,26		0,20		0,18			0,1725
7	11:55	607 0,3		0,31		0,24		0,22			0,1975
8	12:01	707 0,39		0,42		0,34		0,31			0,2375
9	12:06	857 0,41		0,44		0,36		0,33			0,2675
10	12:10	807 0,44		0,46		0,38		0,35			0,2875
11	12:14	857 0,46		0,48		0,40		0,37			0,3075
12	12:18	907 0,48		0,51		0,42		0,39			0,3275
13	12:22	957 0,5		0,53		0,44		0,41			0,3475
14	12:26	1007 0,53		0,56		0,47		0,44			0,3675

Рисунок А.8 - Журнал испытания образца №1

образец №2

N	Время	МТ	М _п	1 отсчет	2 отсчет	30 отсчет	4 отсчет	ΔL, мм	ε 10 ⁻⁵
1		8	0	0	0	0	0		
2	13:44	10	20	0,04	0,05	0,06	0,03	0,125	14,2
3	13:45	20	80	0,11	0,11	0,04	0,06	0,087	29,2
4	13:51	30	133	0,20	0,18	0,04	0,08	0,186	
0		0	0	0	0	0	0		
1	14:04	20	89	0,09	0,1	0,08	0,04	0,087	28,9
2	14:07	30	133	0,15	0,14	0,1	0,11	0,133	41,7
3	14:09	40	178	0,23	0,18	0,11	0,15	0,187	55,8
4	14:12	50	222	0,31	0,23	0,12	0,19	0,243	70,83
5	14:15	60	267	0,38	0,28	0,13	0,23	0,297	85
6	14:18	70	311	0,45	0,34	0,16	0,28	0,357	102,5
7	14:20	80	356	0,53	0,41	0,18	0,33	0,423	120,8
8	14:23	40	341	0,51	0,38	0,15	0,3	0,397	111,7
9	14:25	60	267	0,47	0,34	0,12	0,24	0,36	100
10	14:28	40	178	0,38	0,25	0,05	0,2	0,247	73,3
11	14:31	20	89	0,26	0,15	0,0	0,1	0,17	56,7
12	14:34	0	0	0,03	0,03		0,01	0,023	4,8
13	14:36	20	89	0,14	0,14	0,1	0,09	0,123	41,1
14	14:38	10	178	0,25	0,22	0,17	0,17	0,216	72,2
15	14:41	60	267	0,35	0,32	0,23	0,25	0,304	102,2
16	14:43	80	356	0,44	0,43	0,28	0,33	0,41	136,4
17	14:46	90	40						
18									
19									
20									

Рисунок А.9 - Журнал испытания образца №2

Бетон класса В10

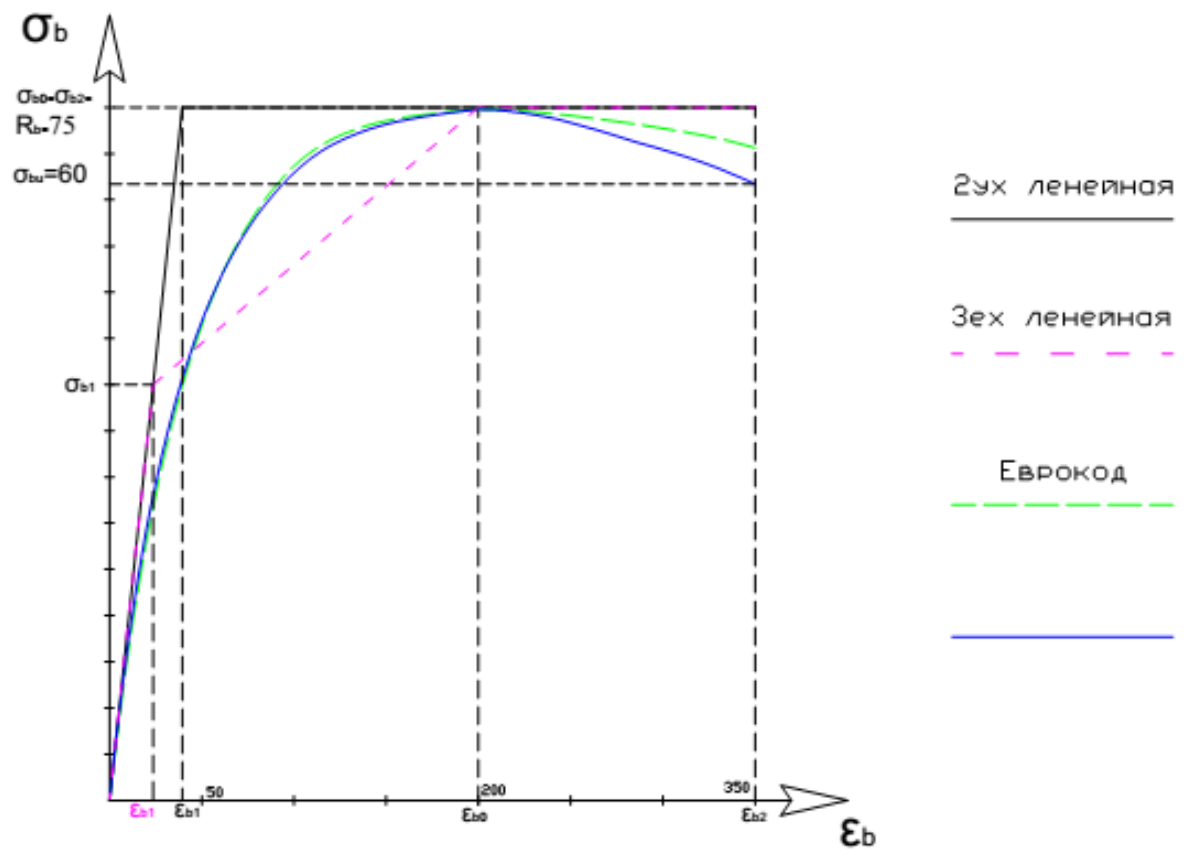


Рисунок А.11 - Диаграммы деформирования бетона для класса В10

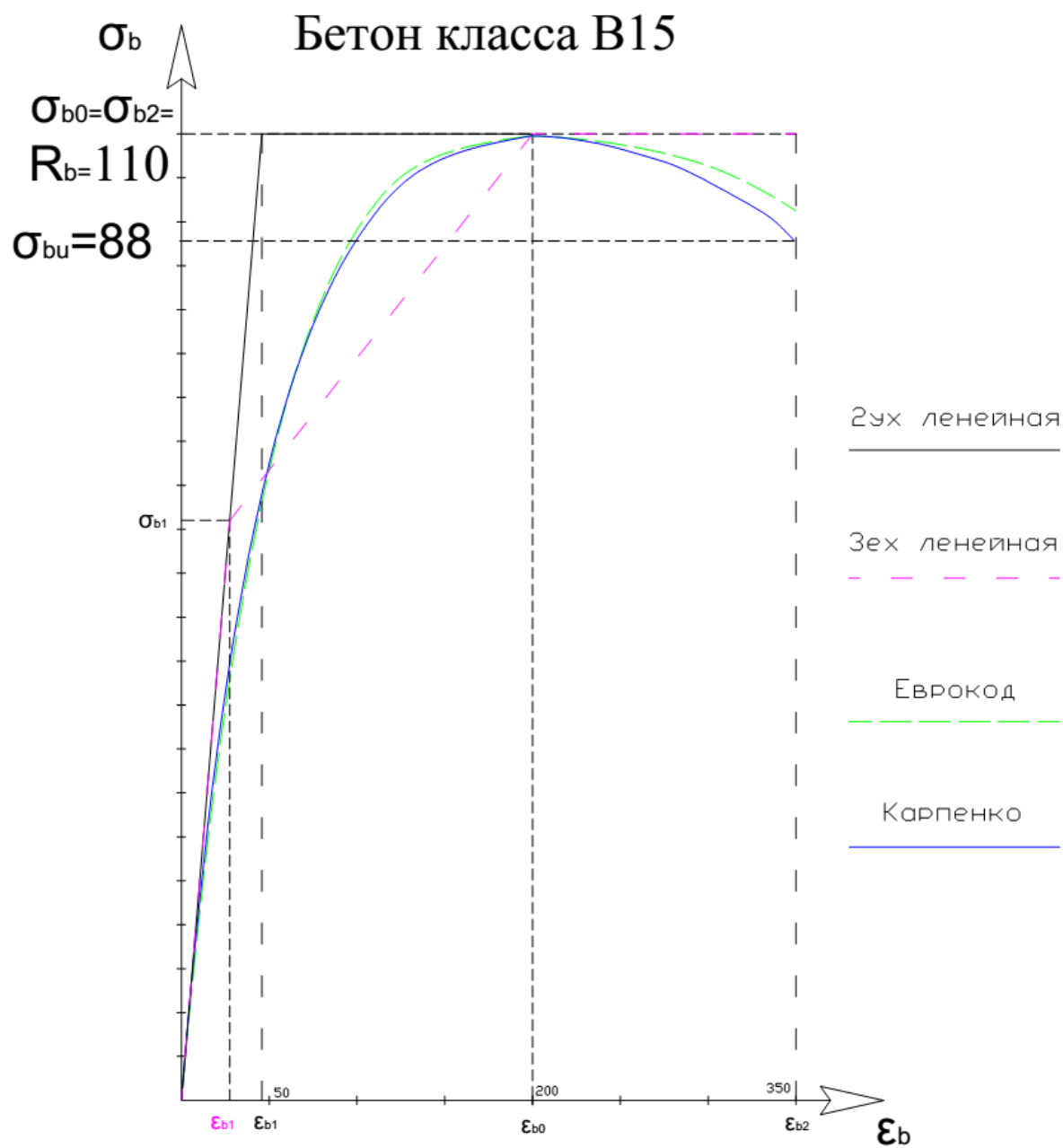


Рисунок А.12 - Диаграммы деформирования бетона для класса В15

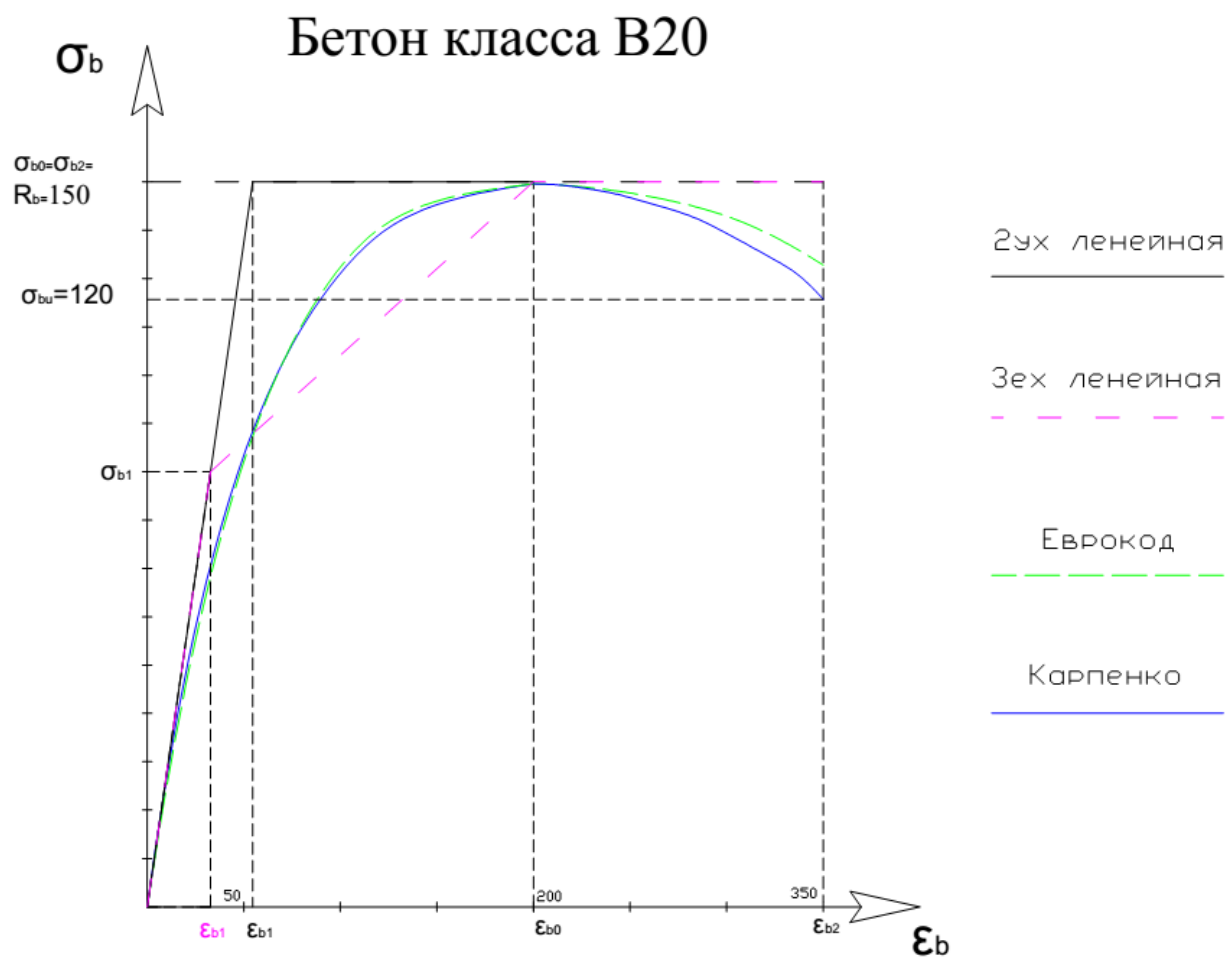


Рисунок А.13 - Диаграммы деформирования бетона для класса В20

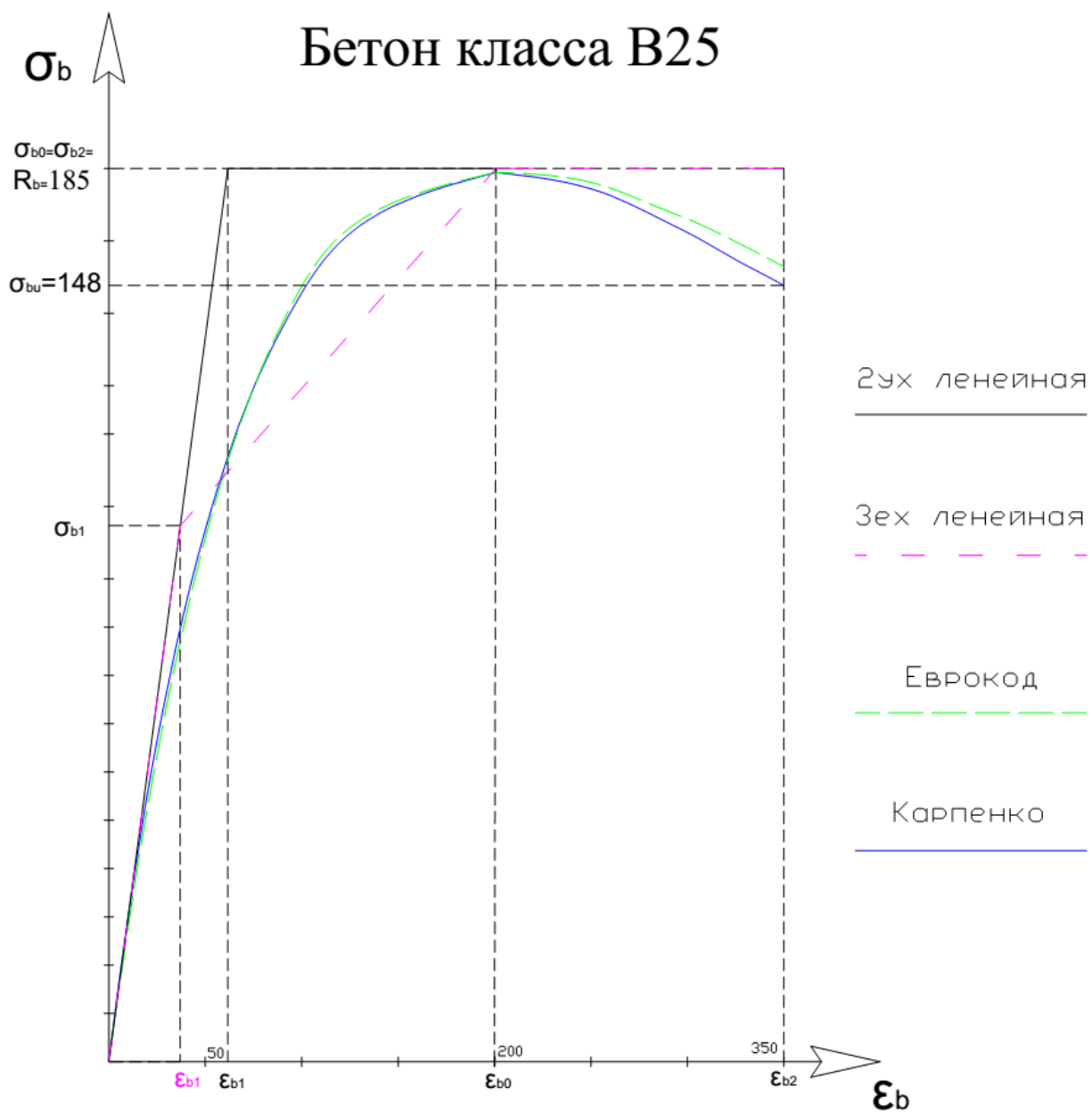


Рисунок А.14 - Диаграммы деформирования бетона для класса В25

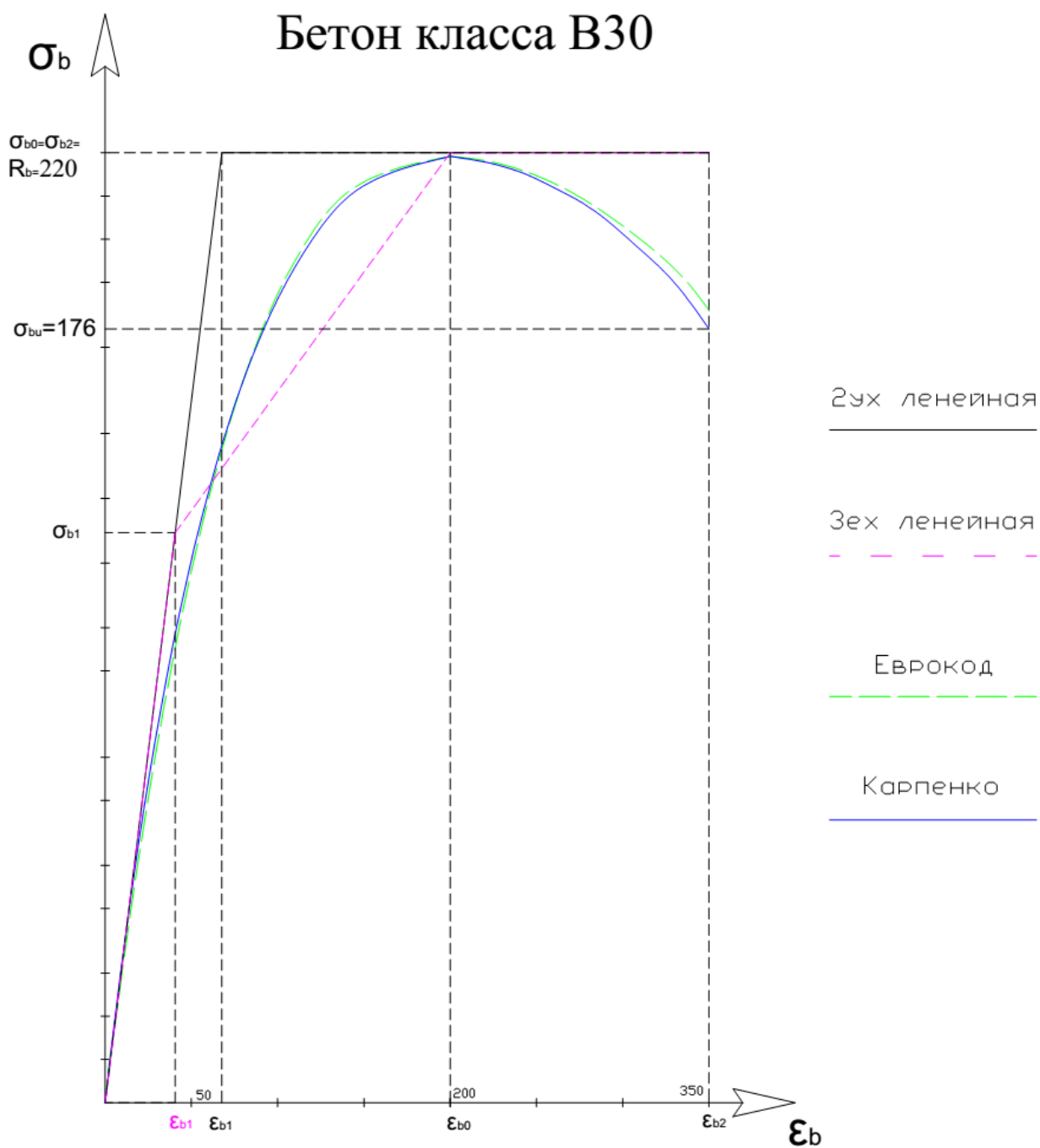


Рисунок А.15 - Диаграммы деформирования бетона для класса В30

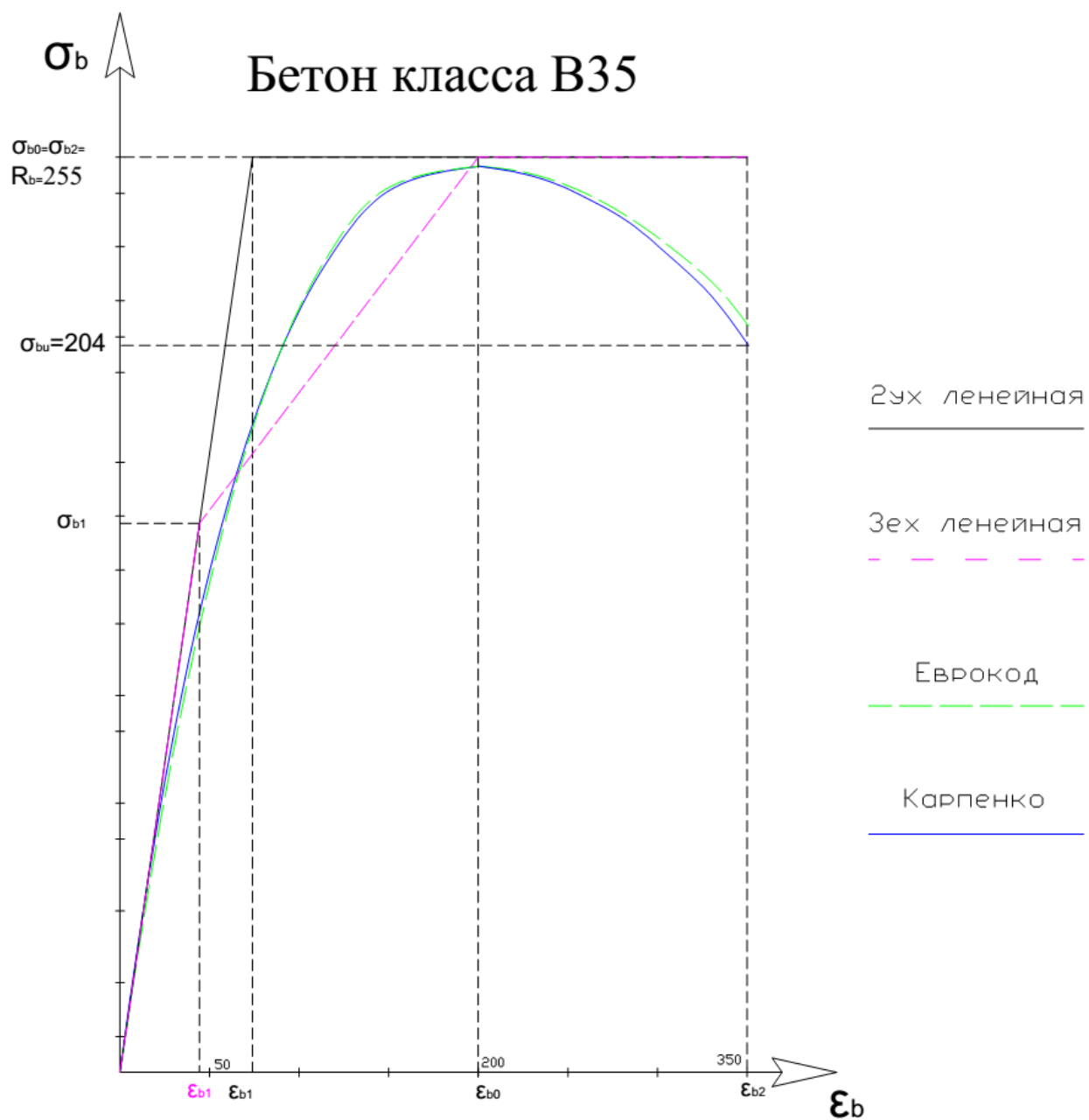


Рисунок А.16 - Диаграммы деформирования бетона для класса В35

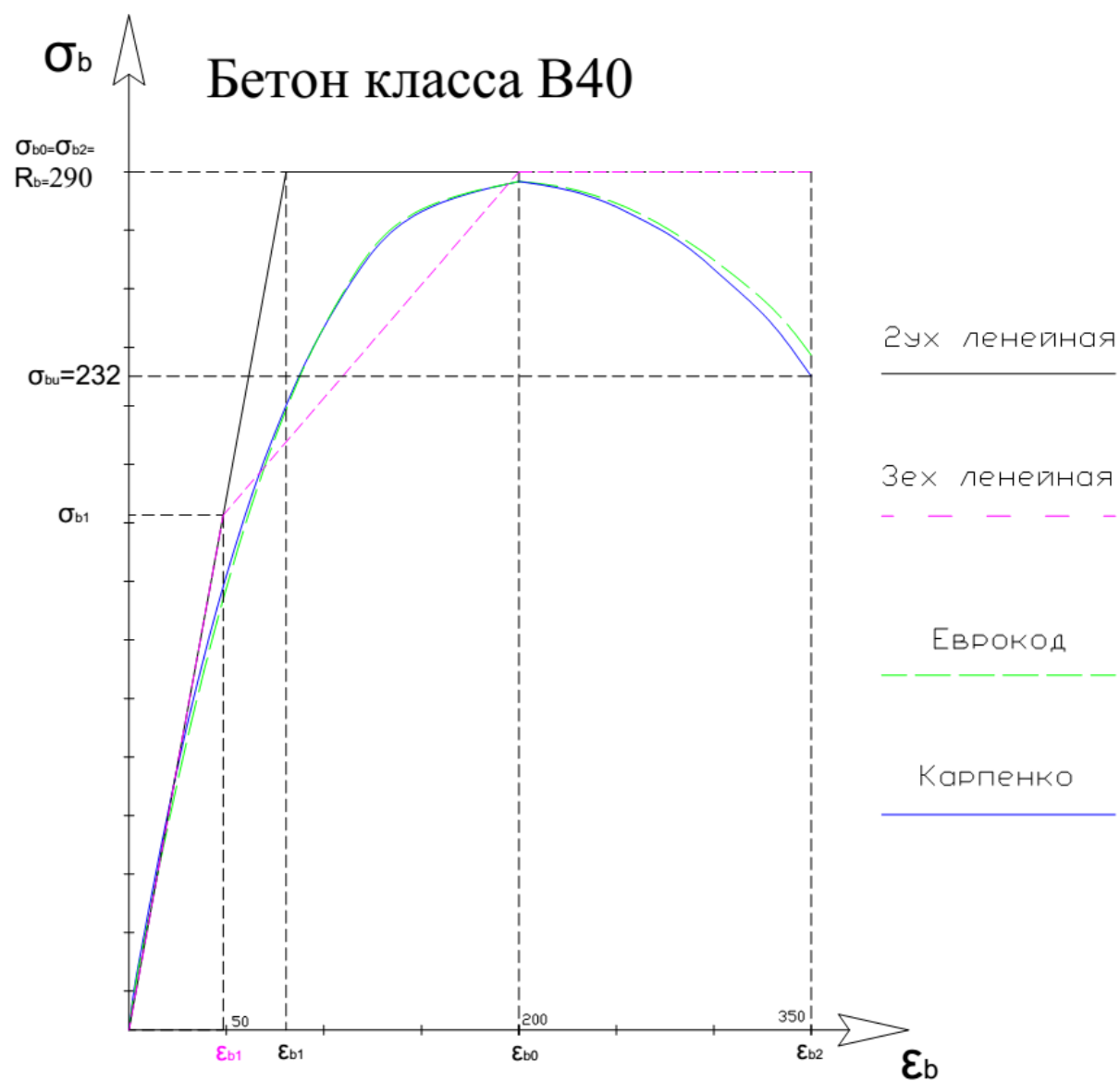


Рисунок А.17 - Диаграммы деформирования бетона для класса В40

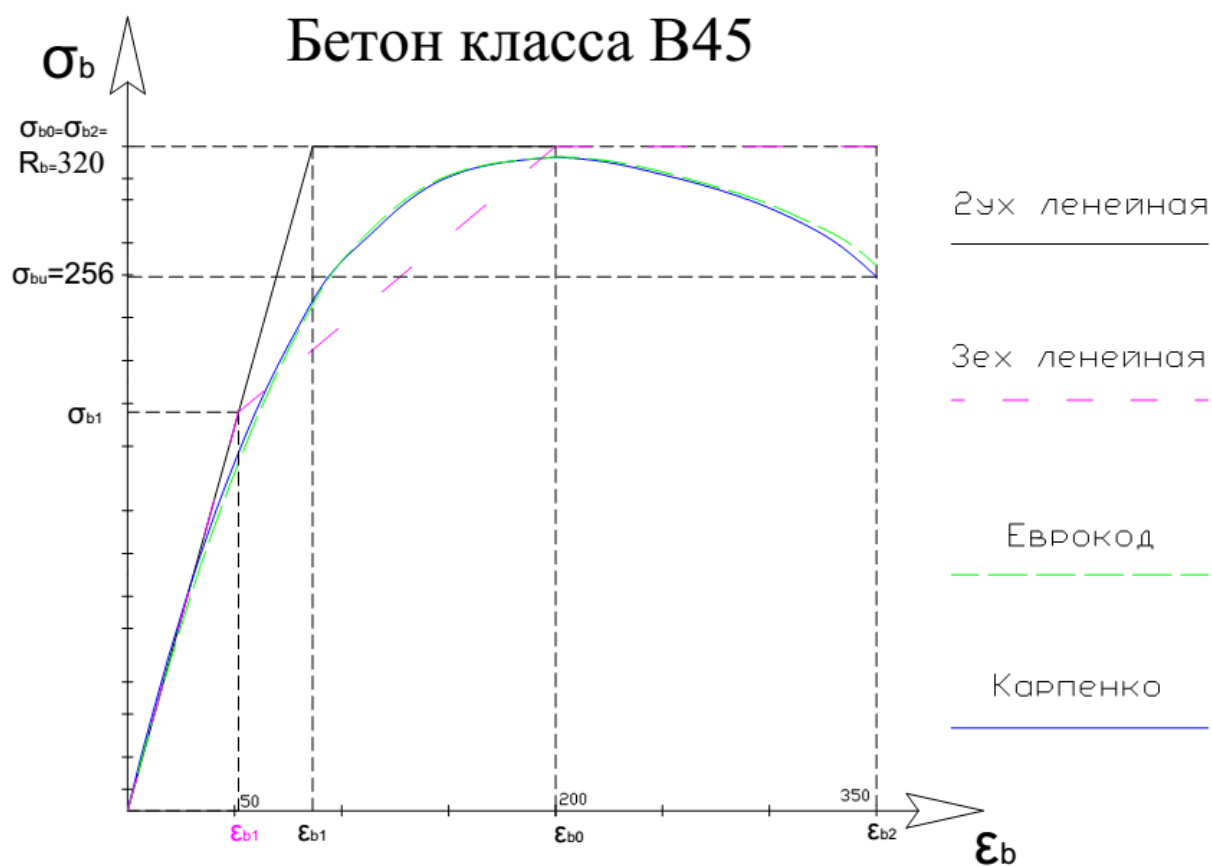


Рисунок А.18 - Диаграммы деформирования бетона для класса В45

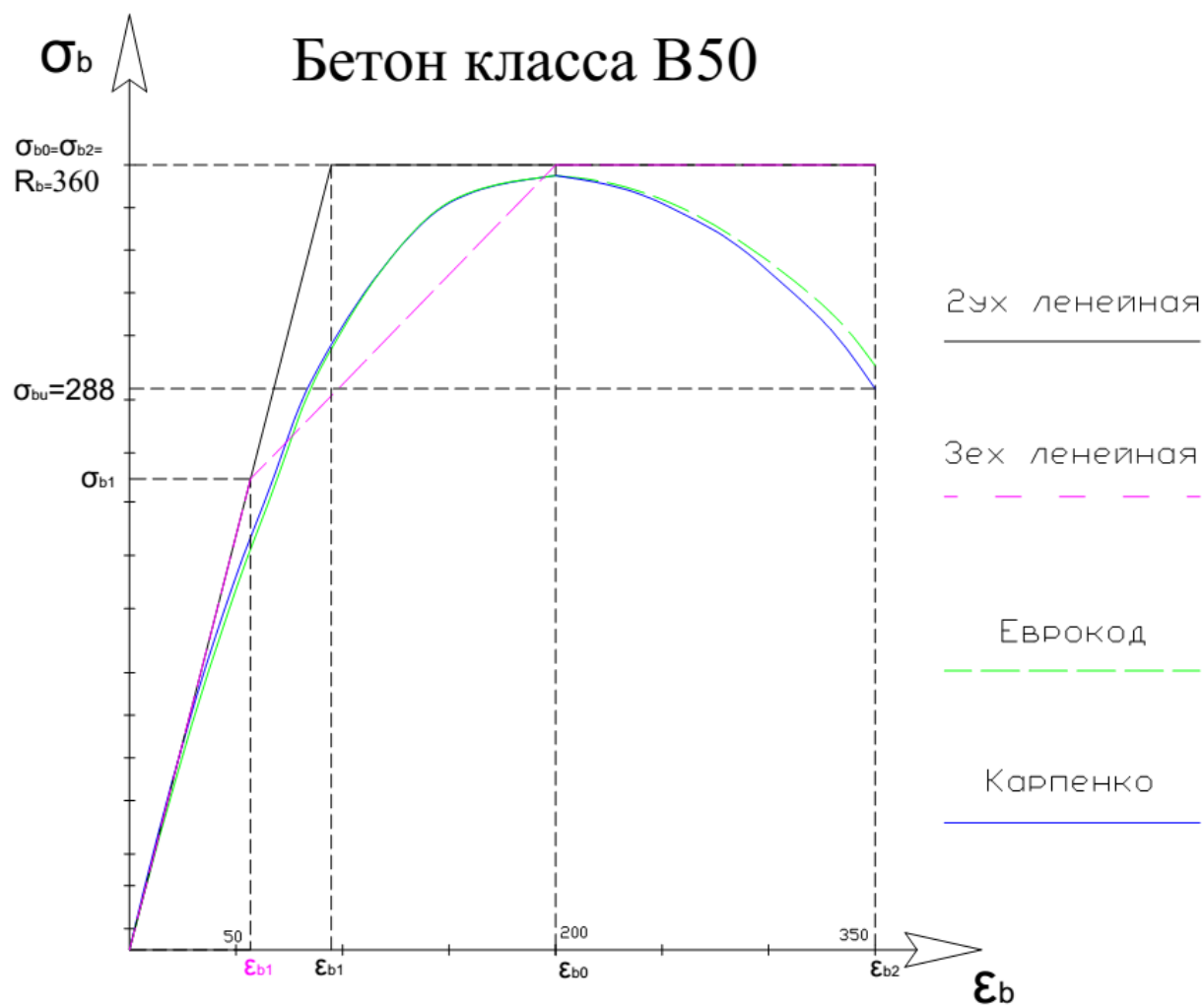


Рисунок А.19 - Диаграммы деформирования бетона для класса В50

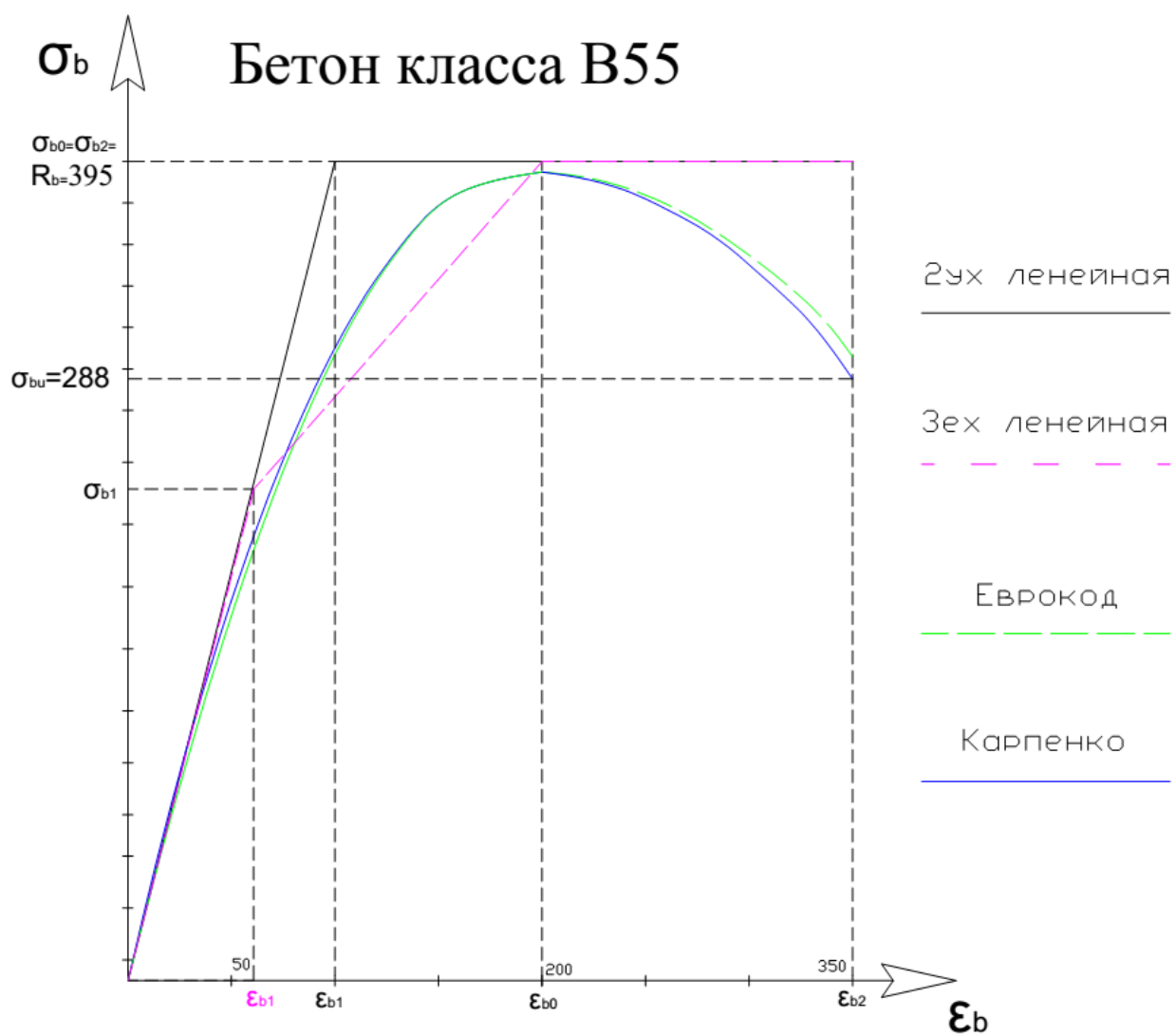


Рисунок А.20 - Диаграммы деформирования бетона для класса В55

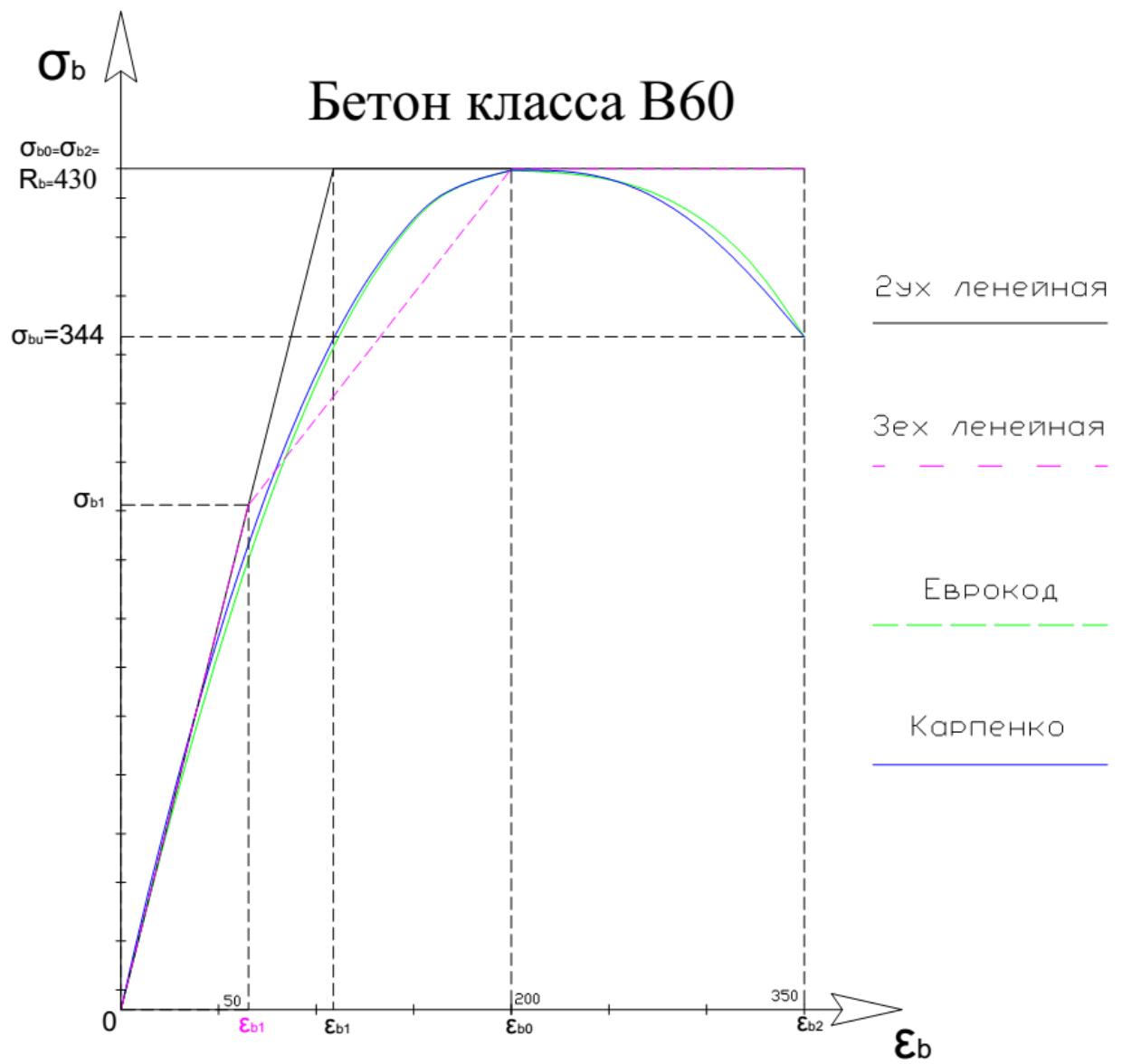


Рисунок А.21 - Диаграммы деформирования бетона для класса В60