

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-амуре государственный
университет»

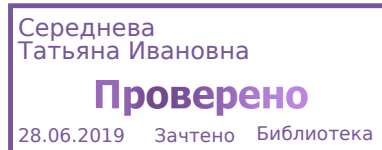
На правах рукописи

Вяткина Виктория Сергеевна

**Исследование несущих систем высотных зданий с
элементами пониженной жесткости**

Направление подготовки
08.04.01 «Строительство»

**АВТОРЕФЕРАТ
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**



2019

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

Научный руководитель

кандидат технических наук, доцент
Дзюба Виктор Александрович

Рецензент

заместитель начальника управления
потребительского рынка
администрации города
Комсомольска-на-амуре,
кандидат экономических наук,
доцент Гутник Елена Алексеевна

Защита состоится «27» июня 2019 г. в ___ часов ___ мин на заседании государственной аттестационной комиссии по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина 27, ФГБОУ ВО «КнАГУ», ауд. 212.

Автореферат разослан 23 июня 2019 г.

Секретарь ГЭК

И.В. Погорельских

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования

Расчет стержневых статически неопределимых систем производится с помощью современных вычислительных программных комплексов по упругой модели расчета. В связи с этим ограничена возможность учета повреждений структуры материала, накапливающихся в процессе нагружения конструкций.

Использование этих комплексов требует знания изгибной жесткости каждого конечного элемента, который входит в состав стержневой многоэтажной конструкции.

Однако изгибная жесткость, как показывают исследования железобетонных конструкций, является переменной величиной. С ростом нагрузки в бетоне образуются трещины, развиваются деформации ползучести, текучесть в арматуре. Поэтому изгибная жесткость является переменной величиной, функцией действующих в элементах усилий.

Если вести расчёт с постоянной жесткостью, то результаты расчета зданий будут показывать искаженное напряженно-деформированное состояние строительных конструкций. Наиболее правильным является такой расчет зданий, при котором жесткость, задаваемая в исходных данных вычислительного программного комплекса, будет соответствовать моменту, действующему в этом сечении. Для выполнения такого расчёта нужен закон изменения жёсткости как функции момента. Поэтому необходимо совершенствование и развитие деформационной модели железобетона, методов ее расчета с учетом физической нелинейности данного материала. Решением этой проблемы посвящена данная магистерская диссертация.

Целью диссертационной работы является:

- разработка автоматизированного расчета несущих систем высотных зданий с элементами пониженной жесткости.

Теоретической и методологической основой исследования послужили методы теоретического и практического исследования псевдопластического деформирования железобетонных конструкций на стадии, близкой к разрушению. В процессе работы над диссертацией изучены работы российских, зарубежных ученых, посвященные вопросам исследования железобетонных конструкций при больших деформациях. Наибольшее влияние на выполненное исследование оказали результаты работ Карпенко Н. И., Байкова В. И., Дзюбы В. А., Паньшина Л. Л., Дроздова П. Ф., Бондаренко В. М, Глушаковой Ю. С.

Автор защищает: исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных балок исследуемых сечений при одинаковом проценте армирования; анализ графиков зависимости «Момент – кривизна» при абсолютных и относительных значениях момента для балок исследуемых сечений; составление обобщенного графика «Момент – кривизна» для железобетонных балок исследуемых сечений при проценте армирования 0,5 %; зависимость кривизны и моментов от теоретических значений кривизны и момента образования трещины; закон изменения жесткости как функции момента; практическое применение обобщенного графика «Момент – кривизна» при расчете плоских железобетонных рам различной этажности как статически неопределимых систем.

Научную новизну работы составляют: исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных балок исследуемых сечений при одинаковом проценте армирования; составление обобщенного графика «Момент – кривизна» для железобетонных балок исследуемых сечений при проценте армирования 0,5 % по результатам анализа графиков зависимости при относительных значениях момента; практическое применение обобщенного графика «Момент – кривизна» при расчете плоских железобетонных рам различной этажности как статически неопределимых систем.

Практическая ценность: предложенный обобщенный график зависимости «Момент – кривизна» отражает зависимость кривизны и моментов от теоретических значений кривизны и момента образования трещины, показывая тем самым закон изменения жесткости как функции момента. Данный график применим для расчета железобетонных балочных конструкций с учетом физической нелинейности с применением современных программных комплексов. При помощи этого графика определяются значения жесткостей, соответствующих моменту, действующему в рассматриваемом сечении. Расчет в программном комплексе производится с введением уже рассчитанных жесткостей, что способствует получению более точных результатов.

Разработанный обобщенный график зависимости «Момент – кривизна» позволяет производить расчет как одноэтажных, так и многоэтажных конструкций рам, являющихся несущими системами высотных зданий с элементами пониженной жесткости.

Апробация работы и публикации

Основные положения диссертации опубликованы в трех научных статьях. Материалы диссертации доложены и апробированы на трех конференциях:

- Международная научно-практическая конференция «Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия» стр. 48–53, 29-30 ноября 2017 года, г. Комсомольск-на-Амуре.

- Международная научно-практическая конференция «Архитектура, строительство, землеустройство и кадастры на Дальнем Востоке в XXI веке» стр. 139 –142, 24-26 апреля 2018 года, г. Комсомольск-на-Амуре.

- Международная научно-практическая конференция «Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия» стр. 168–174, 29-30 ноября 2018 года, г. Комсомольск-на-Амуре.

Настоящая работа выполнена в 2017 – 2019 годах на кафедре «Строительство и архитектура» факультета кадастра и строительства КНАГУ под руководством к.т.н., доцента В. А. Дзюбы.

Структура и объем работы

Магистерская диссертация состоит из введения, трех глав, списка использованных источников (21 источник). Основной текст изложен на 114 страницах, содержит 7 таблиц и 73 рисунка.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель, задачи, предмет и объект исследования, раскрыты научная новизна и практическая значимость, апробация результатов.

В **первой главе** «Использование полных диаграмм деформирования бетона» были рассмотрены учет физической нелинейности при проектировании железобетонных конструкций, применение упругих и неупругих методов в расчетах несущих систем и автоматизированные методы расчета железобетонных конструкций.

На сегодняшний день при определении напряженно-деформированного состояния бетонных и железобетонных конструкций учитывается зависимость «Напряжение – деформация» полной диаграммы деформирования сжатого бетона.

Наиболее применимы в строительной механике железобетона следующие виды диаграмм деформирования: диаграмма Н.И. Карпенко; диаграмма В. Н. Байкова; диаграмма, рекомендованная ЕКБ-ФИП; диаграмма, предложенная Kent и Park; зависимость, предложенная Popovics S.; модифицированная зависимость Thorenfeldt; зависимость, предложенная Tsai.

На сегодняшний день неупругий расчет является более предпочтительным. При таком расчете учитывается нелинейная работа материалов в железобетонной конструкции, что позволяет выявить её истинное напряженно-деформированное состояние.

Однако нелинейный расчет предполагает использование итераций, многократного вычисления с корректировкой жесткостей и других параметров. Поэтому нелинейные расчеты слишком трудоемки для выполнения их вручную. По этой причине такие расчеты были не популярны долгое время. Но с развитием современной вычислительной техники и автоматизированной базы в настоящее время появились многие программные комплексы, и возросла заинтересованность в реализации неупругих расчетов при помощи вычислительной техники.

Наиболее популярными программными комплексами среди современных программных продуктов, реализующими неупругий расчет железобетонных конструкций, являются Лира, Мономах, Сапфир.

Несмотря на то, что перечисленные выше программные комплексы позволяют выполнить неупругий расчет конструкций, их использование имеет свои недостатки. Если возникает необходимость в корректировке жесткостных параметров, данная процедура производится практически вручную. Для учета физики процессов и корректировки расчетов самостоятельно существует программа «GID», которая обладает данными функциями.

Во **второй главе** «Исследование диаграмм «Момент – кривизна» (по данным машинного эксперимента)» представлена теория расчета напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов при изгибе по результатам вычисленных моментов, проведено исследование напряженно-деформированного состояния исследуемых балок и составлен обобщенный график «Момент – кривизна».

Для определения напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций при изгибе необходим расчет изгибающих моментов и кривизны. Такой расчет позволяет производить программа «GID». В качестве нагрузки на каждом этапе принимается деформация на крайнем сжатом волокне бетона.

Проектирование железобетонной конструкции в программном комплексе «GID» начинается с построения диаграммы сжатого бетона, предложенной В. А. Дзюбой с учетом данных диаграммы Н. И. Карпенко. Данная диаграмма описывается в виде составной функции, включающей три участка:

- Криволинейный участок 1 при изменении деформации от нуля до ε_L ;
- Прямолинейный участок 2 при деформации от ε_L до $\varepsilon_{0,25}$;
- Прямолинейный участок 3 при деформации от $\varepsilon_{0,25}$ до ε_0 .

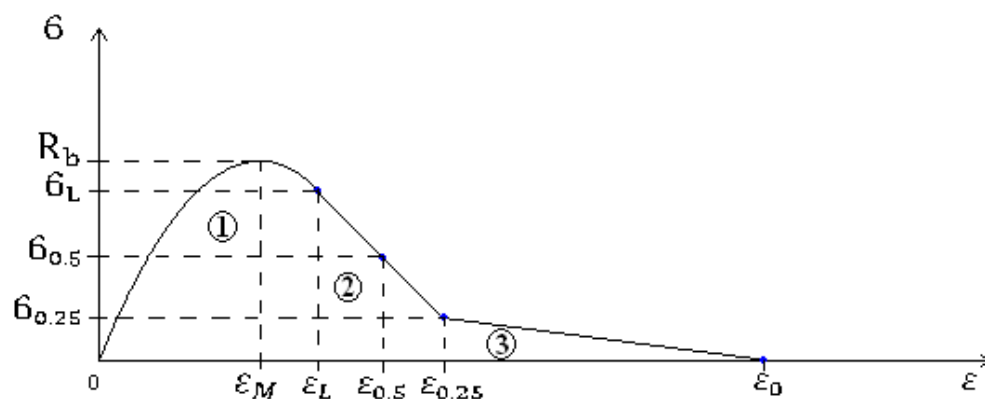


Рисунок 1 – Полная диаграмма деформирования сжатого бетона

В данном эксперименте исследовались железобетонные балки сечением:

- $0,8 * 0,3$ м;
- $0,5 * 0,2$ м;
- $0,3 * 0,12$ м.

Класс бетона – В20, арматура класса А400, процент армирования – 0,5 %.

Исходные данные для ввода в программу «GID»:

- призмная прочность бетона – $R_{b,n} = 15$ МПа;
- начальный модуль упругости бетона – $E_b = 27,5 * 10^3$ МПа;
- высота защитного слоя – $a = 0,06$ м.

С помощью программы «GID» был произведён расчет железобетонных балок и определены параметры напряжённо-деформированного состояния.

Используя полученные данные, были построены графики «Момент – кривизна» при абсолютных и относительных значениях момента (рисунок 2), (рисунок 3).

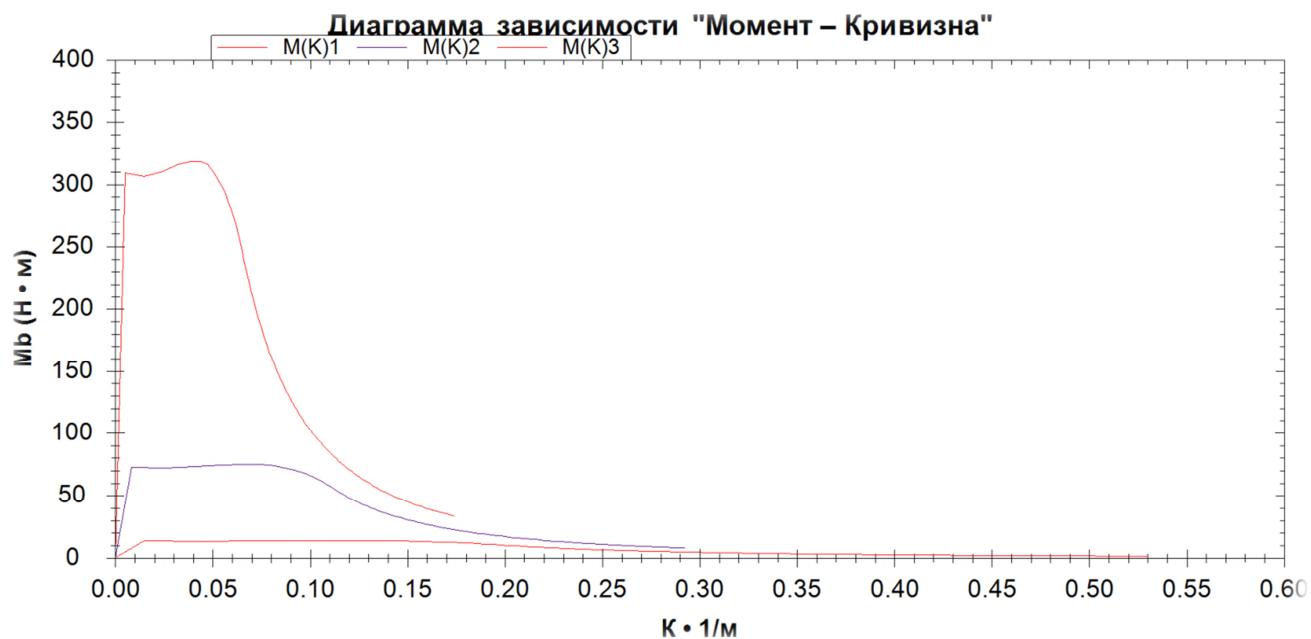


Рисунок 2 – График зависимости «Момент-кривизна» при абсолютных моментах

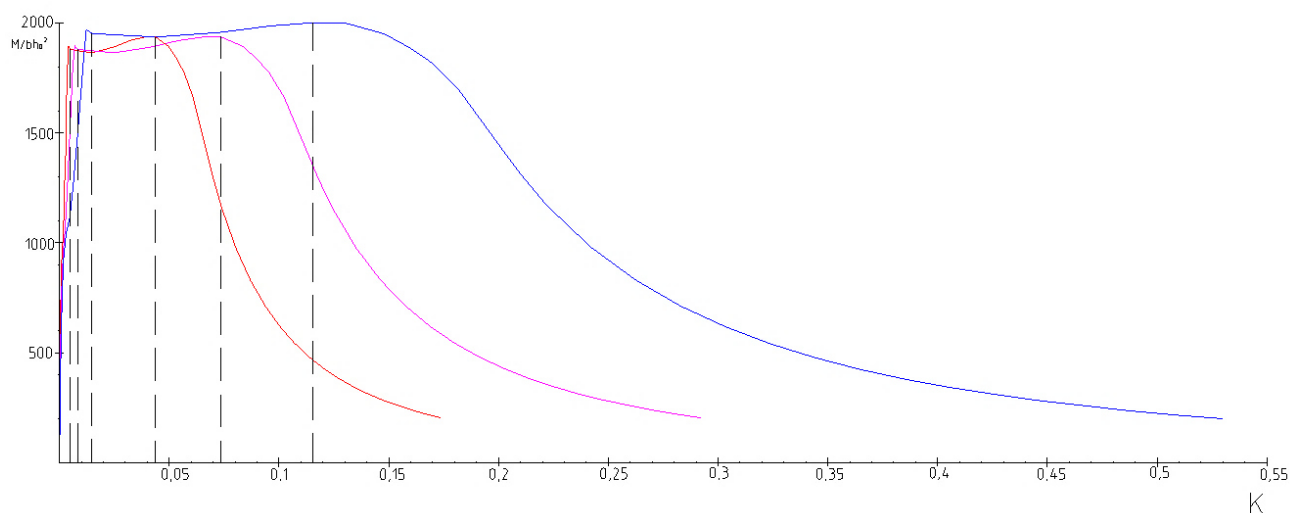


Рисунок 3 – График зависимости «Момент-кривизна» при относительных моментах

Таблица 1 – Зависимость кривизны и моментов от теоретических значений кривизны и момента образования трещины

№ точки на графике	Составляющая от K_{cr}	Составляющая от M_{cr}
1	K_{cr}	M_{cr}
3	$K_{el}=5 K_{cr}$	$2 M_{cr}$
9	$K_{1,pl}=20 K_{cr}$	$4 M_{cr}$
15	$K_{2,pl}=200 K_{cr}$	$4 M_{cr}$
26	$500 K_{cr}$	M_{cr}
31	$700 K_{cr}$	$0,7 M_{cr}$
36	$900 K_{cr}$	$0,4 M_{cr}$

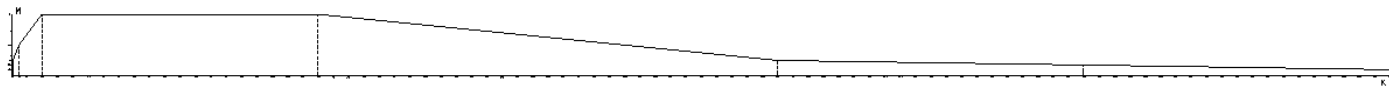


Рисунок 4 – Обобщённый график «Момент – кривизна»

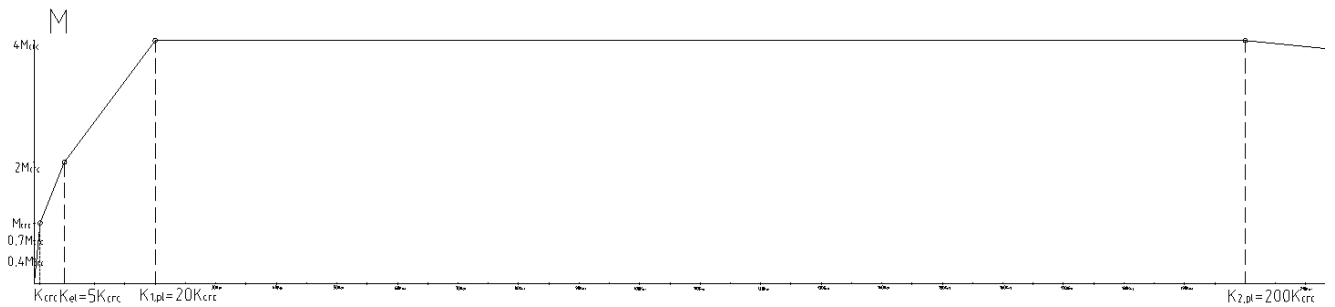


Рисунок 5 – Фрагмент обобщённого графика «Момент – кривизна»

В третьей главе «Практическое применение обобщенного графика «Момент – кривизна»» был произведен расчет одноэтажной и двухэтажной плоских железобетонных рам с использованием полученного обобщенного графика «Момент – кривизна».

В первом эксперименте использовалась железобетонная рама с полным каркасом. Высота этажа $H_{эт} = 3,5$ м; длина ригеля – $L_b = 7$ м. Поперечное сечение колонн – $h_c = b_c = 0,4$ м; сечение ригеля – $b_b = 0,2$ м, $h_b = 0,5$ м.

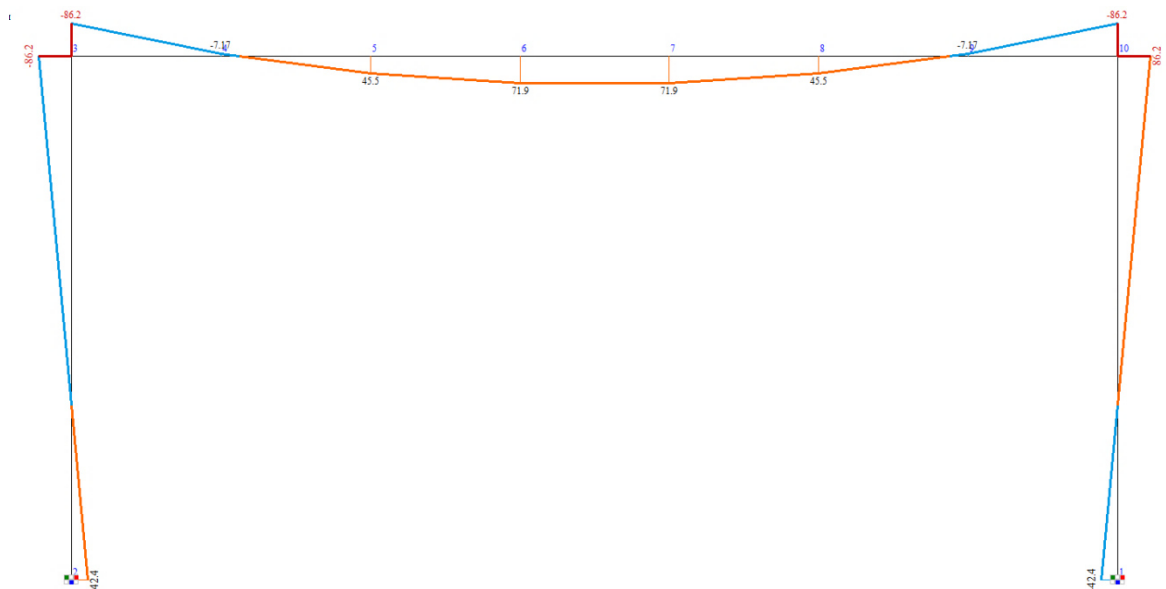


Рисунок 6 – Первоначальная эпюра M_y (PCU расчетные максимальные)

В течение нескольких этапов была рассчитана реальная жесткость балки на каждом участке с учетом рассчитанных значений моментов и кривизны, и получена эпюра изгибающих моментов, отражающая истинное напряженно-деформированное состояние исследуемой рамы.

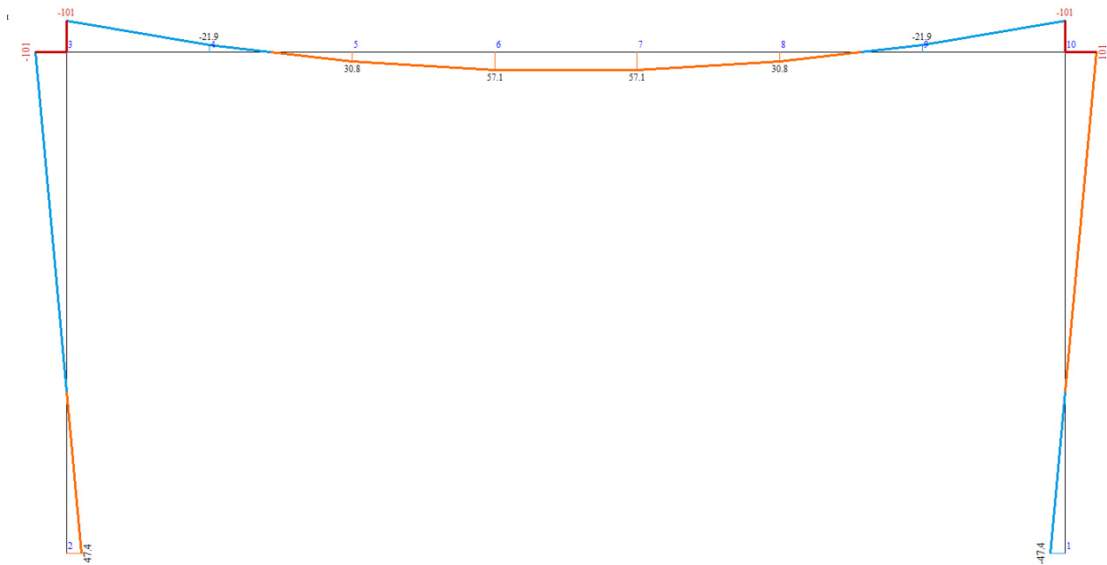


Рисунок 7 – Конечная эпюра M_y (PCY расчетные максимальные)

Во втором эксперименте использовалась двухэтажная железобетонная рама с полным каркасом. Высота этажа $H_{\text{эт}} = 3,5$ м; длина ригеля – $L_b = 7$ м. Поперечное сечение колонн – $h_c = b_c = 0,4$ м; сечение ригеля – $b_b = 0,2$ м, $h_b = 0,5$ м.

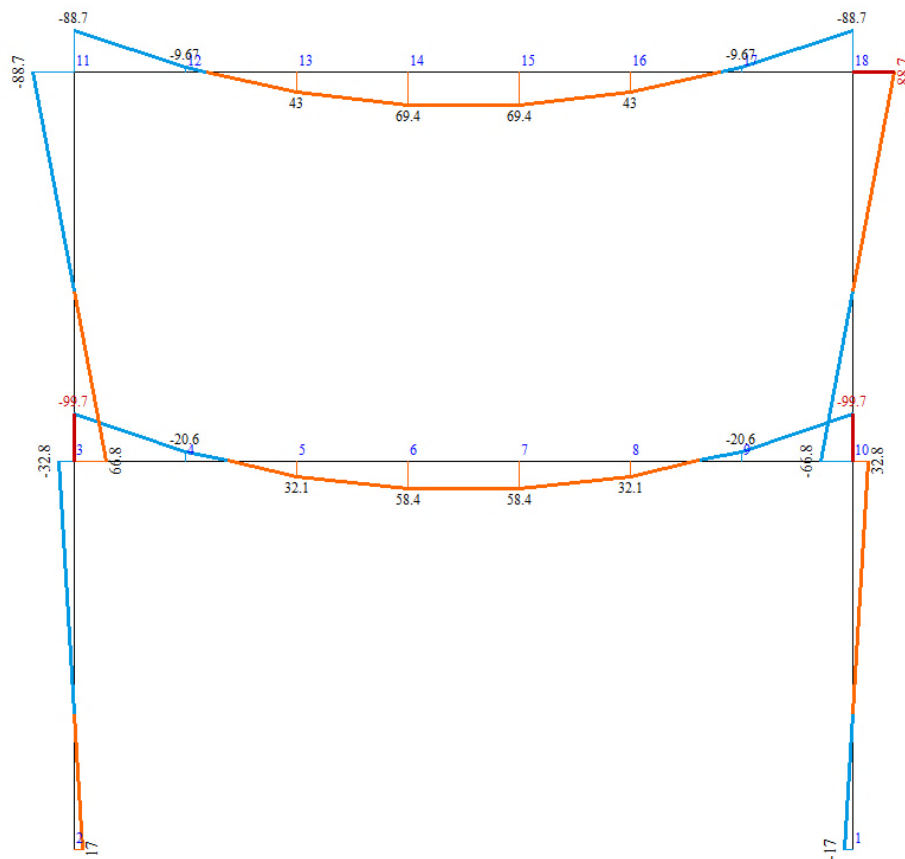


Рисунок 8 – Первоначальная эпюра M_y (PCY расчетные максимальные)

В течение нескольких этапов была рассчитана реальная жесткость балки на каждом участке с учетом рассчитанных значений моментов и кривизны, и получена эпюра изгибающих моментов, отражающая истинное напряженно-деформированное состояние исследуемой рамы.

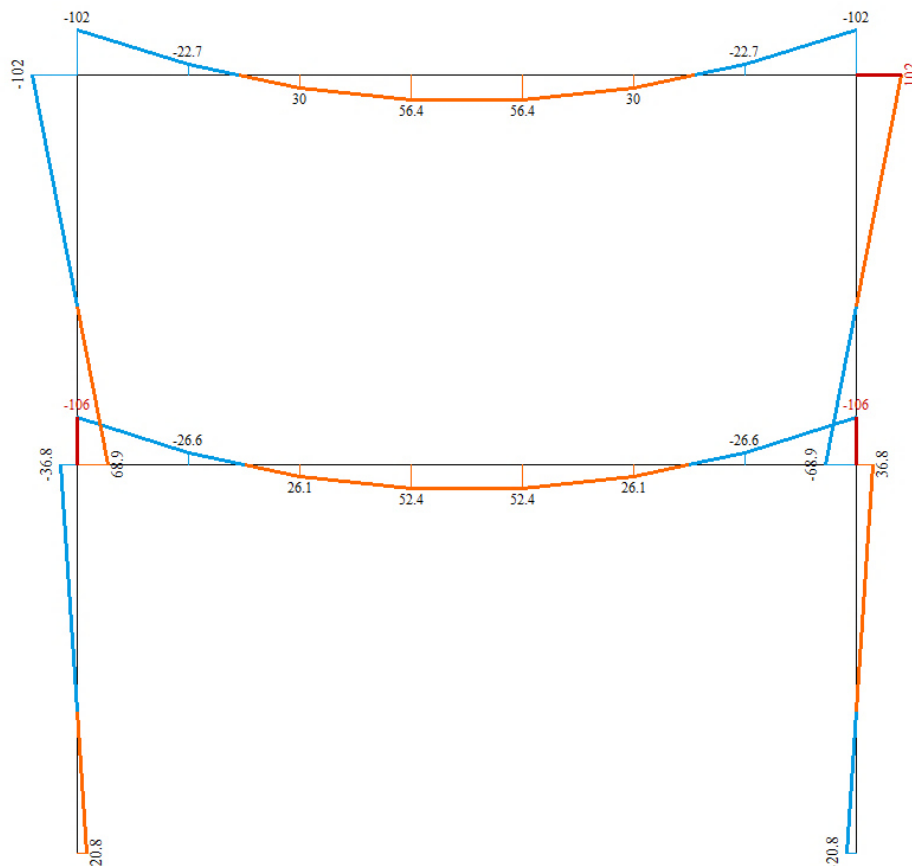


Рисунок 9 – Конечная эпюра M_y (PCY расчетные максимальные)

Выводы по диссертации

1. Анализ построенных графиков зависимости «Момент–кривизна» при относительных моментах показал, что все элементы при одинаковом проценте армирования имеют общий вид диаграммы «Момент–кривизна»: восходящую ветвь, площадку текучести и нисходящую ветвь. Наиболее характерными являются точки, определяющие начало и конец площадки текучести.

2. Максимальное значение $\frac{M}{b \cdot h_0^2}$ остаётся постоянным для всех балок, как остаются постоянными и деформации в бетоне сжатой зоны, и деформации в арматуре растянутой зоны в момент начала и окончания текучести балки.

3. Фактическая диаграмма «Момент – кривизна» аппроксимируется шестью линейными участками. Характерные точки этих участков являются функцией момента образования трещины и кривизны образования трещины. Так, например, в точке начала текучести кривизна в двадцать раз больше кривизны образования трещины: $K_{1,pl}=20 K_{cr}$, а момент – в четыре раза больше момента образования трещины: $M=4 M_{cr}$. На этом основании получен обобщенный график «Момент – кривизна» для исследованных сечений, отражающий закон изменения жесткости как функции момента.

4. Полученный график применим для расчета железобетонных балочных конструкций с учетом физической нелинейности с применением современных программных комплексов.

5. Разработанный обобщенный график зависимости «Момент – кривизна» позволяет производить автоматизированный расчет как одноэтажных, так и многоэтажных конструкций рам, являющихся несущими системами высотных зданий с элементами пониженной жесткости.

Материалы диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Вяткина, В. С. Техничко-экономическая оценка железобетонных колонн высотных зданий / В. С. Вяткина, В. А. Дзюба // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : материалы междунар. науч.-практ. конф., Комсомольск-на-Амуре, 29-30 ноября 2017 г. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2018. – Ч. 2. – С. 48–53.

2. Вяткина, В. С. Влияние параметров армирования на жесткость железобетонных элементов / В. С. Вяткина, В. А. Дзюба // Архитектура, строительство, землеустройство и кадастры на Дальнем Востоке в XXI веке : материалы междунар. науч.-практ. конф., Комсомольск-на-Амуре, 24-26 апреля 2018 г. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2018. – С. 139–142.

3. Вяткина, В. С. Аппроксимация диаграмм «Момент – кривизна» при низких процентах армирования / В. С. Вяткина, В. А. Дзюба // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : материалы междунар. науч.-практ. конф., Комсомольск-на-Амуре, 29-30 ноября 2018 г. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2019. –С. 168–174.