

УДК 69.059

к.т.н., доцент Опанасюк И.Л., Данилов С.В.,
ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет»,
г. Могилев, Республика Беларусь

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ НАГРУЖЕНИЯ УСИЛЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН

Рассмотрены способы нагружения усиленных железобетонных колонн. Приведены теоретические значения эквивалентных напряжений и результирующих деформаций для модели железобетонной колонны, усиленной стальной обоймой с обетонированием при различных способах нагружения. Выполнен анализ результатов исследований и даны рекомендации по применению.

Ключевые слова: способ нагружения, модель железобетонной колонны, стальная обойма усиления с обетонированием.

Предпосылкой теоретических исследований явилось предположение о том, что несущая способность железобетонной колонны, усиленной стальной обоймой с обетонированием может изменяться в зависимости от способа ее нагружения – по всему сечению усиления либо через её бетонное ядро [1–3].

Решение этой задачи выполнено с использованием метода конечных элементов [4], позволяющего учесть конструктивно-технологические особенности, характер взаимодействия элементов усиления и усиливаемой колонны и перераспределение нагрузок между ними.

Задача решалась в контактной постановке с учетом упругопластических характеристик материалов. Для исключения необходимости определения внутренних усилий в системе, передаваемые между её элементами, а также создания адекватного нагружения, были использованы конечно-элементные модели, сформированные объемными элементами. Исследуемая конструкция модели железобетонной колонны, усиленной стальной обоймой с обетонированием приведена на рис. 1, а. Для сопоставления результатов также была создана модель железобетонной колонны, усиленной только обетонированием (рис. 1, б).

Для определения напряженного состояния элементов теоретические значения эквивалентных напряжений и результирующих деформаций вычислялись для моделей усиленных железобетонных колонн со следующими характеристиками.

Геометрические характеристики усиленной железобетонной колонны: сечение квадратное 400×400 мм; высота 3600 мм (рис. 1).

Характеристики бетона колонны [5, 6]: класс бетона С30/37; нормативное

сопротивление осевому сжатию $f_{ck} = 30$ МПа; нормативное сопротивление осевому растяжению $f_{ctk} = 2$ МПа; расчетное сопротивление сжатию $f_{cd} = 20$ МПа; расчетное сопротивление растяжению $f_{ctd} = 1,33$ МПа; модуль упругости $E_{cm} = 33 \times 10^3$ МПа; коэффициент поперечных деформаций (Пуассона) $\nu_c = 0,2$; плотность – 2400 кг/м^3 . Характеристики арматуры колонны: класс продольной арматуры S500, нормативное сопротивление $f_{yk}(f_{0,2k}) = 500$ МПа, расчетное сопротивление $f_{yd} = 450$ МПа; класс поперечной арматуры S240, нормативное сопротивление $f_{yk}(f_{0,2k}) = 240$ МПа, расчетное сопротивление $f_{yd} = 218$ МПа; модуль упругости арматуры $E_s = 2 \times 10^5$ МПа. Характеристики стали обоймы усиления [7]: $R_y = 240$ МПа; $R_u = 360$ МПа; $E = 2,06 \times 10^5$ МПа. Обетонирование конструкции усиления запроектировано из бетона аналогичного бетону усиливаемой колонны. Коэффициент трения стали по бетону – $0,45$ [8].

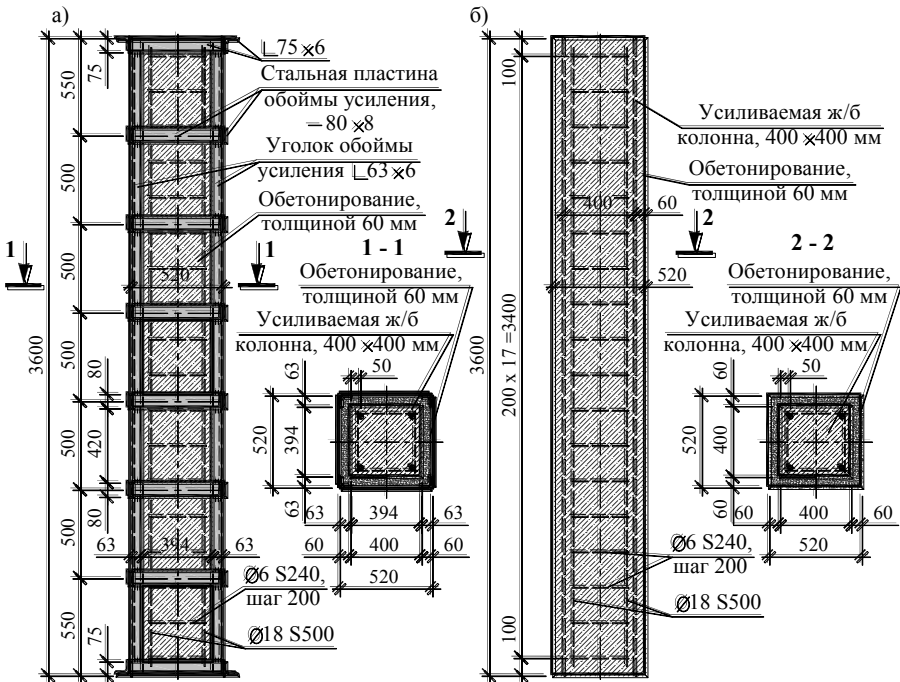


Рис. 1. Конструкции моделей усиленных железобетонных колонн: а – модель железобетонной колонны, усиленной стальной облойкой с обетонированием; б – модель железобетонной колонны, усиленной только обетонированием

Нагружение модели железобетонной колонны, усиленной стальной облойкой с обетонированием проводилось двумя способами.

Способ 1. Нагружение модели железобетонной колонны, усиленной стальной обоймой с обетонированием по всему сечению (рис. 2). На рис. 3, приведена картина распределения эквивалентных напряжений и развитие результирующих деформаций при данном способе нагружения при предельных нагрузках.

Способ 2. Нагружение модели железобетонной колонны, усиленной стальной обоймой с обетонированием на бетонное ядро, без нагружения стальной обоймы усиления (рис. 4). На рис. 5, приведена картина распределения эквивалентных напряжений и развитие результирующих деформаций при данном способе нагружения при предельных нагрузках.

Для сопоставления исследуемых данных также проводилось нагружение модели железобетонной колонны, усиленной только обетонированием с аналогичными геометрическими и прочностными характеристиками (рис. 6). На рис. 7, приведена картина распределения эквивалентных напряжений и развитие результирующих деформаций для данной модели усиленной железобетонной колонны при предельных нагрузках.

Исследование упругопластического деформирования моделей усиленных железобетонных колонн проводилось с использованием «пошагового» метода нагружения. С помощью данного подхода удалось получить зависимости результирующих деформаций и эквивалентных напряжений при различных способах нагружения, приведенных на рис. 8, 9.



Рис. 2. Схема нагружения модели железобетонной колонны, усиленной стальной обоймой с обетонированием по всему сечению (способ 1)

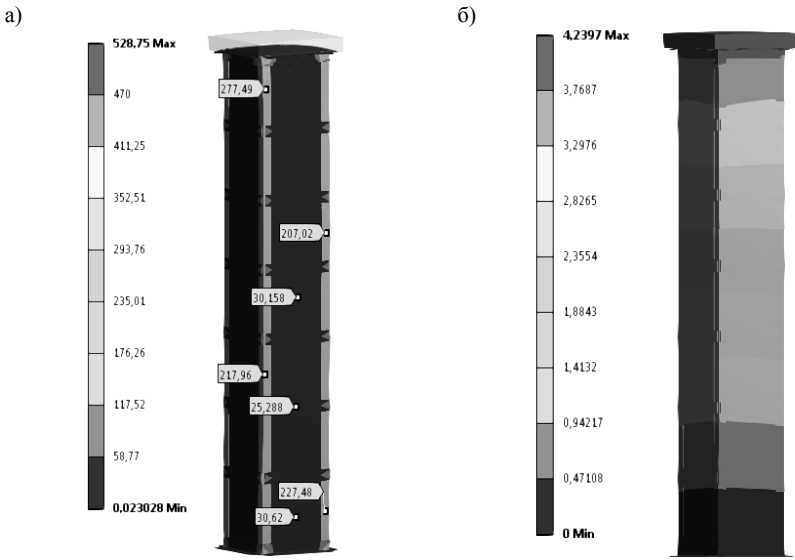


Рис. 3. Распределение эквивалентных напряжений и результирующих деформаций при нагружении модели железобетонной колонны, усиленной стальной облойкой с обетонированием по всему сечению (способ 1):
 а – эквивалентные напряжения, МПа; б – результирующие деформации, мм



Рис. 4. Схема нагружения модели железобетонной колонны, усиленной стальной облойкой с обетонированием на бетонное ядро (способ 2)

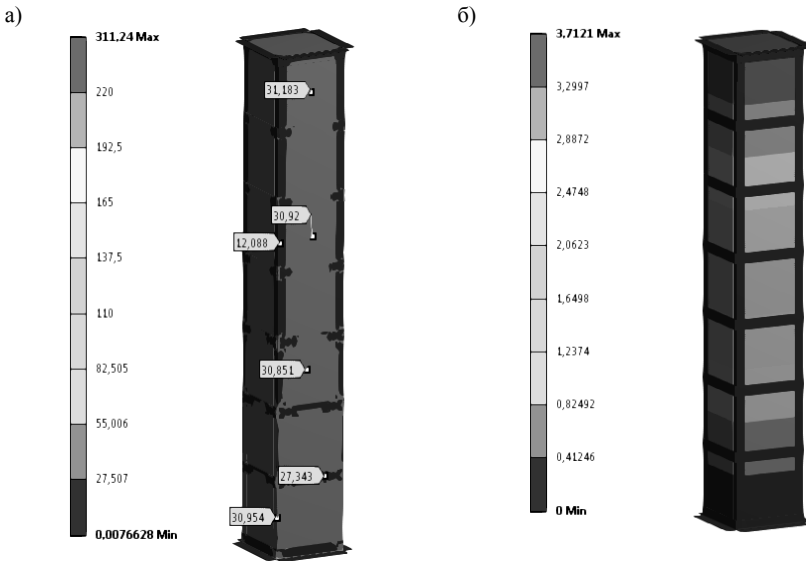


Рис. 5. Распределение эквивалентных напряжений и результирующих деформаций при нагружении модели железобетонной колонны, усиленной стальной обоймой с обетонированием на бетонное ядро (способ 2):
 а – эквивалентных напряжений, МПа; б – результирующие деформации, мм

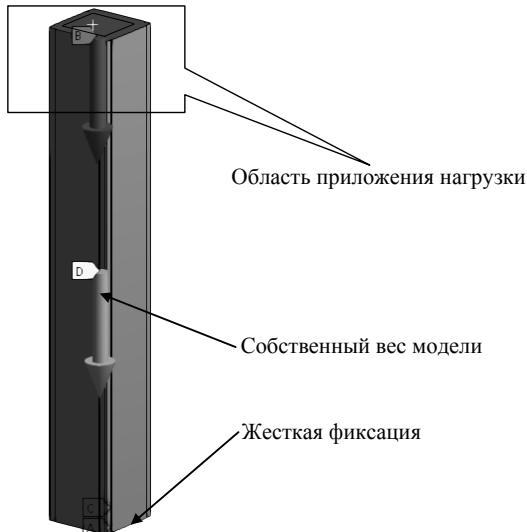


Рис. 6. Схема нагружения модели железобетонной колонны, усиленной только обетонированием

а)

б)

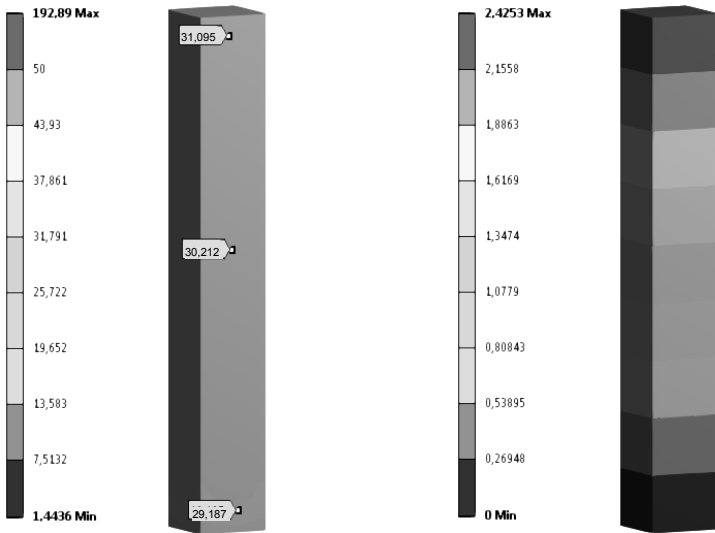


Рис. 7. Распределение эквивалентных напряжений и результирующих деформаций при нагружении модели железобетонной колонны, усиленной только бетоном:
 а – эквивалентные напряжения, МПа; б – результирующие деформации, мм

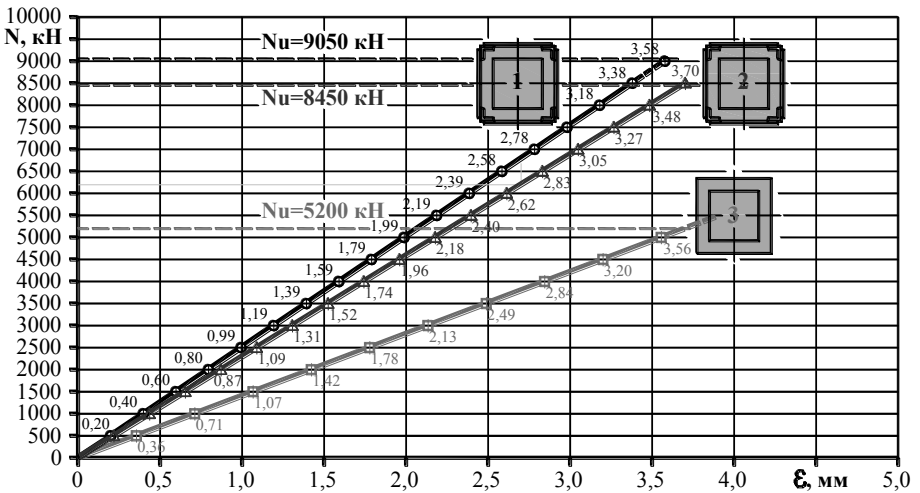


Рис. 8. Изменение результирующих деформаций с ростом нагрузки при различных способах нагружения: 1 – при нагружении модели железобетонной колонны, усиленной стальной облойкой с бетоном по всему сечению;
 2 – при нагружении модели железобетонной колонны, усиленной стальной облойкой с бетоном на бетонное ядро; 3 – при нагружении модели железобетонной колонны, усиленной только бетоном

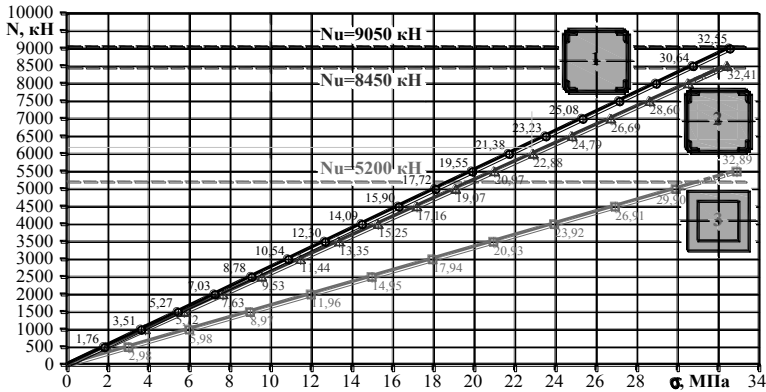


Рис. 9. Изменение эквивалентных напряжений с ростом нагрузки при различных способах нагружения: 1 – при нагружении модели железобетонной колонны, усиленной стальной облоймой с обетонированием по всему сечению;

2 – при нагружении модели железобетонной колонны, усиленной стальной облоймой с обетонированием на бетонное ядро; 3 – при нагружении модели железобетонной колонны, усиленной только обетонированием

Анализ полученных результатов показал, что наибольшей несущей способностью обладает модель железобетонной колонны, усиленной стальной облоймой с обетонированием при первом способе нагружения. При этом нагружении предельное напряженно-деформированное состояние наступает в усиленной модели колонны при достижении нагрузки 9050 кН, что на 74 % больше, чем при нагружении модели железобетонной колонны, усиленной только обетонированием. Характер распределения эквивалентных напряжений и развитие результирующих деформаций при данном способе нагружения представлены на рис. 3.

Исследования модели железобетонной колонны, усиленной стальной облоймой с обетонированием при втором способе нагружения позволили установить, что предельное напряженно-деформированное состояние наступает при достижении нагрузки 8450 кН, что на 63 % больше, чем при нагружении модели железобетонной колонны, усиленной только обетонированием. Деформирование бетонного ядра модели усенной колонны и стальной облоймы усиления происходило совместно на всех этапах нагружения. Характер распределения эвивалентных напряжений и развитие результирующих деформаций при данном способе нагружения представлены на рис. 5.

При нагружении модели железобетонной колонны, усиленной только обетонированием предельное напряженно-деформированное состояние наступает при достижении нагрузки 5200 кН. на Характер распределения эквивалентных напряжений и развитие результирующих деформаций при

данном способе нагружения представлены на рис. 7.

Сравнение деформации по высоте исследуемой модели железобетонной колонны, усиленной стальной обоймой с обетонированием при различных способах нагружения дало возможность установить, что результирующие деформации в бетоне больше у нагружаемого оголовка модели, а к опоре модели они уменьшаются (рис. 3, 5, 7). Изменение поперечных деформаций, установленных внутри бетонного ядра, имеет скачкообразный характер, что свидетельствует об образовании в бетоне микро- и макротрещин. Поперечные деформации бетона и стальной обоймы усиления практически совпадают, что говорит о совместной их работе.

Анализ полученных зависимостей (рис. 8, 9) при различных способах нагружения позволил установить, что при небольших нагрузках стальная обойма усиления деформируется упруго, а в бетоне начинают проявляться пластические деформации. С возрастанием нагрузки в бетоне образуются микротрещины, увеличивается боковое давление на стальную обойму. При дальнейшем росте нагрузок напряжения в стальной обойме достигают предела текучести, в бетонном ядре продолжается процесс трещинообразования в плоскостях, параллельных плоскости действующего усилия. Некоторое превышение напряжений предела текучести в элементах стальной обоймы усиления обусловлено наличием концентраторов напряжений (ввиду пластического деформирования стали в зонах концентрации и как следствие перераспределения напряжений их можно не учитывать). В таком состоянии исследуемая модель железобетонной колонны, усиленной стальной обоймой с обетонированием способна воспринимать возрастающую нагрузку, хотя при этом наблюдаются весьма значительные деформации. Наряду с этим, результирующие деформации в случае нагружения модели колонны, усиленной стальной обоймой с обетонированием по всему сечению при одних и тех же нагрузках ниже, чем в случае нагружения рассматриваемой модели на бетонное ядро, а также при нагружении модели железобетонной колонны, усиленной только обетонированием.

Таким образом, результаты проведенных теоретических исследований позволили установить, что при передаче нагрузки только на бетонное ядро модели железобетонной колонны, усиленной стальной обоймой с обетонированием (второй способ нагружения), разрушающая нагрузка составила 8450 кН, что на 63 % больше, чем при нагружении модели железобетонной колонны, усиленной только обетонированием. При передаче нагрузки на все сечение модели железобетонной колонны, усиленной стальной обоймой с обетонированием (первый способ нагружения), разрушающая нагрузка составила 9050 кН, что на 7 % больше, чем при передаче нагрузки на

бетонное ядро исследуемой модели железобетонной колонны (второй способ нагружения), и на 74 % по сравнению с моделью железобетонной колонны, усиленной только обетонированием. Таким образом, происходит перераспределение усилий в сечении исследуемой модели железобетонной колонны с бетона на упругоработающую стальную обойму усиления.

Результаты выполненных исследований способов нагружения железобетонной колонны, усиленной стальной обоймой с обетонированием, свидетельствуют о том, что наиболее эффективным является первый способ нагружения – приложение нагрузки по всему сечению усиления одновременно на бетонное ядро и стальную обойму усиления.

Список использованных источников

1. Стороженко, Л.И. Расчет трубобетонных конструкций / Л.И. Стороженко, П.И. Плахотный, А.Я. Черный. – Киев : «Будівельник», 1991. – 120 с.
2. Баташев, В.М. Прочность, трещиностойкость и деформации железобетонных элементов с многоядным армированием / В.М. Баташев. – Киев, 1978. – 120 с.
3. Барашиков, А.Я. Расчет железобетонных конструкций на действие длительных переменных нагрузок / А.Я. Барашиков. – Киев, 1977. – 156 с.
4. Бондаренко, В.М. Инженерные методы нелинейной теории железобетона / В.М. Бондаренко, С.В. Бондаренко. – М. : Стройиздат, 1982. – 288 с.
5. Бетонные и железобетонные конструкции (с изменениями) : СНБ 5.03.01-02. – Введ. 01.07.03. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва РБ, 2003. – 144 с.
6. Бетоны. Классификация. Общие технические требования : СТБ 1310-2002. – Введ. 09.07.01. – Минск : РУП «Стройтехнорм», 2001. – 13 с.
7. Нормы проектирования. Стальные конструкции : СНиП II-23-81*. – Введ. 14.08.81. – М : ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 96 с.
8. Нормы проектирования. Каменные и армокаменные конструкции : СНиП II-22-81. – Введ. 31.12.81. – М : Стройиздат, 1983. – 40 с.

АНОТАЦІЯ

Розглядаються способи завантаження підсилених залізобетонних колон. Наведені теоретичні значення еквівалентних напружень і результуючих деформацій для моделі залізобетонної колони, підсиленої сталеву обіймою з обетонуванням при різних способах навантаження.

Ключові слова: спосіб навантаження, модель залізобетонної колони, сталева обійма підсилення з обетонуванням.

ANNOTATION

The methods of loading of reinforced concrete columns. The theoretical values of equivalent stresses and strains Resultant-RATE model for reinforced concrete columns reinforced with steel clip with concreting at various ways of loading. The analysis of the research results and recommendations for use.

Keywords: way to load model concrete columns, steel reinforcement.