

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 69.059

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО УСТРОЙСТВУ ОГОЛОВКОВ КОНСТРУКЦИИ УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН

канд. техн. наук, доц. И.Л. ОПАНАСЮК; С.В. ДАНИЛОВ
(Белорусско-Российский университет, Могилев)

Рассматривается эффективность усиления железобетонных колонн, зависящая не только от технико-экономических показателей способа усиления и принятых организационно-технологических решений, но и от эффективности совместной работы конструкции усиливаемой колонны и элементов усиления. Выполнен анализ технико-экономических показателей железобетонных колонн, усиленных стальной облоймой с обетонированием, и распределения трудоемкости производства бетонных работ по высоте усиливаемой колонны. Обоснованы рациональные технические решения по устройству оголовка конструкции усиления железобетонных колонн. Теоретически и экспериментально обоснованы конструктивно-технологические решения, обеспечивающие включение в совместную работу элементов усиления и восстанавливаемых железобетонных колонн, что обеспечивает увеличение несущей способности колонн, а следовательно, повышает надежность и безопасность эксплуатации восстанавливаемых строительных конструкций несущих каркасов зданий и сооружений.

Ключевые слова: восстановление железобетонной колонны стальной облоймой с обетонированием; технические решения формирования оголовка усиления железобетонной колонны; способы нагружения и включения в совместную работу.

Введение. Железобетонные колонны, являясь конструктивными элементами каркасов зданий и сооружений, относятся к элементам первой степени ответственности, снижение эксплуатационных качеств которых может привести к полному или ограниченному отказу работы несущих конструкций.

Техническое состояние железобетонных колонн определяется их соответствием показателям качества, предъявляемым при проектировании, изготовлении, монтаже и их эксплуатации. Если хотя бы один из показателей качества вышел за предельное значение или не выполняется одно из требований нормативной документации, значит, железобетонная колонна имеет дефект.

Анализ дефектов, присущих железобетонным колоннам, показал, что все они в той или иной степени влияют на снижение несущей способности железобетонных колонн. В соответствии с существующей методикой [1] оценку технического состояния железобетонных колонн производят по пяти категориям технического состояния. В зависимости от категории технического состояния назначают соответствующие мероприятия по восстановлению эксплуатационных качеств железобетонных колонн. Наиболее сложными и трудоемкими в исполнении являются технические решения по восстановлению железобетонных колонн, относящихся к IV категории технического состояния, характеризующейся многочисленными значительными дефектами (таблица 1).

Таблица 1. – Мероприятия по восстановлению эксплуатационных качеств железобетонных колонн

Категория технического состояния железобетонных колонн	Характерные дефекты и повреждения	Мероприятие по восстановлению эксплуатационных качеств железобетонных колонн
1	2	3
I – исправное (хорошее) состояние. Дефекты устраняются в процессе технического обслуживания	Единичные малозначительные дефекты, не снижающие несущую способность и долговечность колонны	Покрытие защитными составами во время технического обслуживания колонн
II – работоспособное (удовлетворительное) состояние. Дефекты устраняются в процессе технического обслуживания и текущего ремонта	Единичные или многочисленные малозначительные дефекты, существенно не снижающие несущую способность и долговечность колонны	Загирка трещин ремонтными составами, восстановление защитного слоя бетона во время текущего ремонта колонн
III – ограниченно работоспособное (не вполне удовлетворительное) состояние. Дефекты устраняются в процессе ремонта и усиления	Многочисленные малозначительные или единичные значительные дефекты. Несущая способность и долговечность существенно снижены	Ремонт с удалением поврежденного бетона, исправление поврежденной арматуры, бетонирование сколов, инъектирование трещин, усиление поврежденных участков колонн

Окончание таблицы 1

1	2	3
IV – неработоспособное (неудовлетворительное) состояние. Дефекты устраняются в процессе капитального ремонта и усиления посредством увеличения поперечного сечения с предварительной разгрузкой	Многочисленные значительные или единичные, многочисленные критические дефекты	Усиления с увеличением поперечного сечения на всю высоту колонн путем устройства железобетонных обойм, односторонних и двухсторонних наращиваний, стальных обойм и стальных обойм с обетонированием
V – предельное (предаварийное) состояние. Требуется вывод людей из опасной зоны, срочная разгрузка колонн и устройство временных креплений с последующей разборкой и заменой	Массовые значительные или многочисленные, массовые критические дефекты	В отдельных случаях применяют технические решения, характерные для IV категории технического состояния, либо разборку и замену конструкции колонны

Основная часть. Практика восстановления эксплуатационных качеств железобетонных колонн, относящихся к IV категории технического состояния, показывает, что наиболее часто для этих целей применяют такие способы усиления, как: устройство железобетонных обойм и рубашек; одностороннее и двухстороннее наращивание сечения колонны; усиление стальными обоймами без обетонирования и с обетонированием, характеризующимися различными по величине технико-экономическими показателями.

Выполненная аналитически-расчетным методом оценка приведенных технических решений по трудоемкости производства работ и прямым затратам, в основу которых заложены нормативные данные ресурсно-сметных норм и затрат труда, показала незначительный разброс их технико-экономических показателей, не определяющих приоритетность рассматриваемых вариантов восстановления эксплуатационных качеств железобетонных колонн [2].

Важнейшими принципами оценки проектных решений являются комплексный подход к анализу оценочных показателей и системный подход к выбору рациональных решений [3]. Комплексный подход предполагает учет в процессе оценки всей совокупности оценочных показателей, значимо влияющих на эффективность принимаемых решений. В связи с этим выполнена многокритериальная оценка и технико-экономическое обоснование наиболее эффективного способа восстановления эксплуатационных качеств железобетонных колонн с использованием метода выбора множества недоминируемых вариантов [3].

Данный метод позволяет учитывать: разноразмерные показатели эффективности (стоимость, материалоёмкость, продолжительность, трудоемкость производства работ и другие показатели); существующие временные и пространственные ограничения (сжатые сроки, стесненные условия производства работ); позволяет оптимизировать методы, минимизировать технологические расчеты с помощью ЭВМ и обосновать наиболее рациональный вариант восстановления эксплуатационных качеств железобетонных колонн.

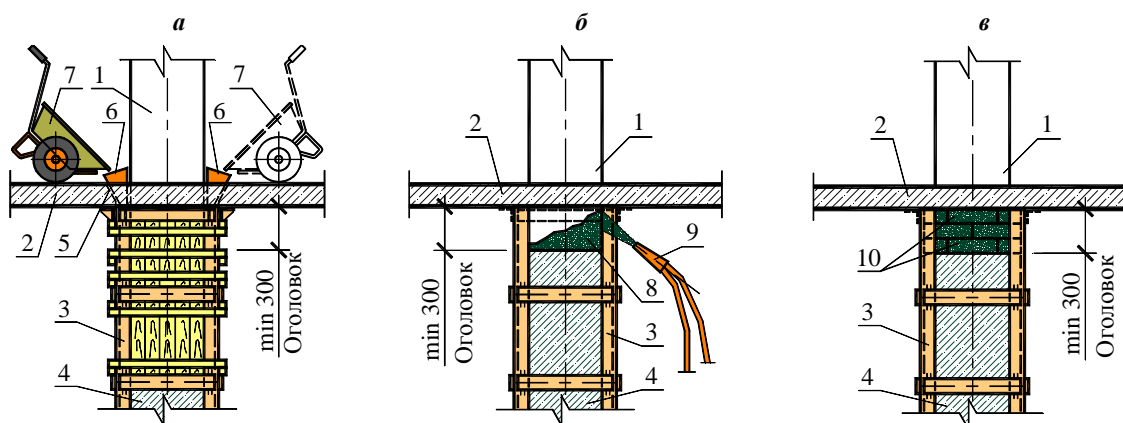
Метод выбора множества недоминируемых вариантов реализуется в несколько этапов:

- составление исходной матрицы принятия решения;
- составление нормализованной матрицы принятия решения;
- определение взвешенной матрицы;
- определение множества согласия и несогласия;
- определение матриц согласия и несогласия; определение доминирующих матриц согласия и несогласия;
- определение агрегированной матрицы доминирования; удаление менее предпочтительных вариантов.

Полученные результаты исследований показали, что наиболее эффективным является способ восстановления железобетонных колонн стальной обоймы с обетонированием [2]. В то же время при реализации этого способа на завершающем этапе существует ряд неисследованных конструктивных и организационно-технологических решений по устройству оголовка конструкции усиления. Сложности устройства оголовка при усилении колонн стальной обоймой с обетонированием связаны со сложностью укладки в него бетонной смеси.

Техническая реализация формирования оголовка усиления железобетонной колонны зависит от конструктивного решения сопряжения колонны с перекрытием, которое может быть плоским либо балочным. Наиболее технически сложно выполнить формирование оголовка усиления стальной обоймы с обетонированием при сопряжении железобетонной колонны с безбалочным плоским перекрытием (покрытием). Исследования по формированию оголовка конструкции усиления выполнены для трех вариантов производства работ, таких как:

- устройство бетонного оголовка с подачей бетонной смеси через технологические отверстия в перекрытии (рисунок 1, а);
- торкретирование оголовка высокопрочными растворными смесями (рисунок 1, б);
- устройство оголовка из мелкозернистых бетонных камней (рисунок 1, в).



а – устройство бетонного оголовка с подачей бетонной смеси через технологические отверстия;
б – устройство оголовка торкретированием высокопрочными растворными смесями;
в – устройство оголовка с использованием мелкозернистых бетонных камней;
 1 – усиливаемая колонна; 2 – безбалочное плоское перекрытие; 3 – стальная обойма; 4 – бетон усиления;
 5 – технологическое отверстие; 6 – распределительная воронка; 7 – тележка; 8 – торкрет-бетон;
 9 – сопло торкрет-установки; 10 – мелкозернистые бетонные камни на растворе с расширяющимся цементом

Рисунок 1. – Технические решения по устройству оголовка конструкции усиления железобетонной колонны при сопряжении ее с безбалочным плоским перекрытием (покрытием)

Для определения наиболее рационального технического решения по формированию оголовка усиливаемой железобетонной колонны определены затраты труда на производство работ при их усилении посредством устройства стальной обоймы с обетонированием. В качестве примера принята железобетонная колонна сечением 400×400 мм, высотой 3,6 м и сопряжением с безбалочным плоским перекрытием.

В калькуляцию затрат труда включены следующие работы: установка, переустановка и разборка инвентарных подмостей; установка и разборка щитовой опалубки; приготовление, подача и поярусная укладка бетонной смеси в опалубку, а также работы, связанные с формированием оголовка колонны. Работы по высоте разбиты на три яруса. Высота каждого яруса составляет 1,2 м. Для каждого яруса определены трудозатраты производства работ (рисунок 2).

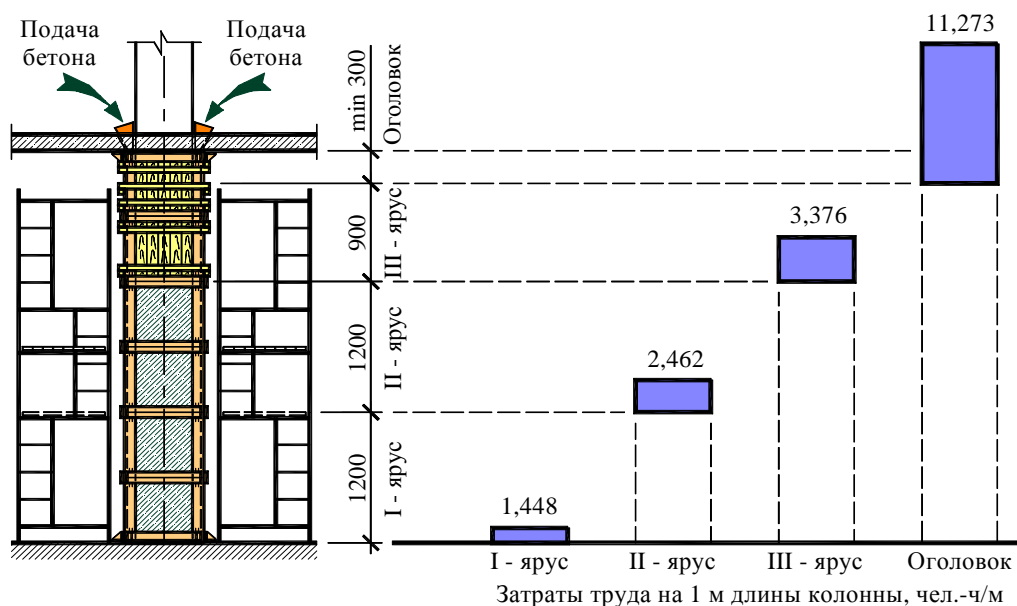
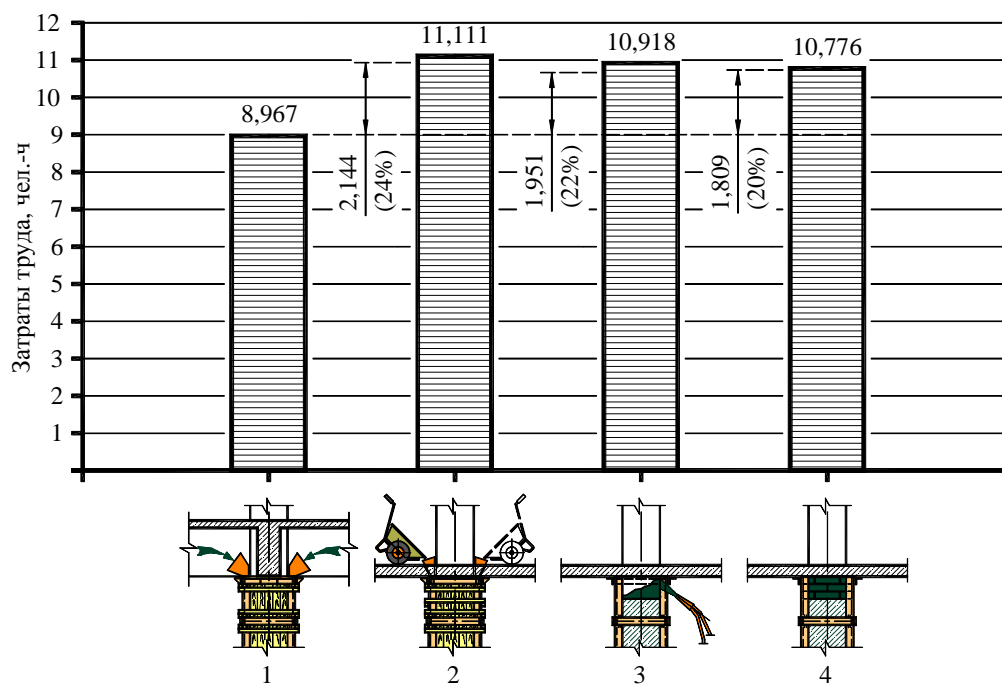


Рисунок 2. – Распределение затрат труда на производство работ с устройством бетонного оголовка и подачей бетонной смеси через технологические отверстия

На третьем ярусе отдельно выделен верхний участок – оголовок колонны, высотой не менее 300 мм. Для этого участка отдельно определены трудозатраты по устройству опалубки, укладке бетонной смеси, торкретированию высокопрочными растворными смесями, а также устройству оголовка из мелкозернистых бетонных камней с использованием раствора на расширяющемся цементе.

Как видно из гистограмм, приведенных на рисунке 2, распределение трудовых затрат по ярусам производства работ неравномерно. Увеличение затрат труда на II и III ярусах при одинаковых объемах работ происходит из-за необходимости подачи применяемых материалов на значительную высоту. При устройстве оголовка конструкции усиления при сопряжении усиливаемой железобетонной колонны с безбалочным плоским перекрытием значительное увеличение затрат труда связано с ограниченным доступом к месту производства работ, сложностью подачи и укладки бетонной смеси. Дополнительные затраты при устройстве бетонного оголовка также связаны с устройством и заделкой технологических отверстий для подачи и укладки бетонной смеси и малыми объемами опалубочных работ. Трудоемкость устройства бетонного оголовка усиления колонны, приведенная к одному метру длины колонны, в 3...5 раз больше трудоемкости поярусной укладки бетонной смеси в конструкцию усиления.

При применении способа торкретирования оголовка высокопрочными растворными смесями и устройстве оголовка из мелкогазобетонных камней необходимость устройства технологических отверстий отпадает. При этом затраты труда на устройство оголовков данными способами ниже устройства бетонного оголовка (рисунок 3).



Технические решения формирования оголовка конструкции усиления колонны

- 1 – устройство оголовка конструкции усиления колонны с балочным перекрытием через проемы в верхней части опалубки; 2 – устройство оголовка конструкции усиления колонны с безбалочным плоским перекрытием через технологические отверстия; 3 – устройство оголовка конструкции усиления колонны с безбалочным плоским перекрытием способом торкретирования; 4 – устройство оголовка конструкции усиления колонны с безбалочным плоским перекрытием с использованием мелкогазобетонных камней

Рисунок 3. – Затраты труда на устройство оголовков усиливаемых колонн при различных их сопряжениях с перекрытием

Затраты труда на устройство оголовка конструкции усиления через технологические отверстия в перекрытии при сопряжении усиливаемой железобетонной колонны с безбалочным плоским перекрытием составляют 11,111 чел.-ч, что на 24% больше по сравнению с аналогичным усилением железобетонной колонны при сопряжении ее с балочным перекрытием (см. рисунок 3).

При устройстве оголовка способом торкретирования высокопрочными растворными смесями с сопряжением усиливаемой железобетонной колонны с безбалочным плоским перекрытием затраты труда составляют 10,918 чел.-ч, что на 22% больше по сравнению с аналогичным усилением железобетонной колонны при сопряжении ее с балочным перекрытием (см. рисунок 3).

Затраты труда при устройстве оголовка усиливаемой колонны с использованием мелкогазобетонных камней с ее сопряжением с безбалочным плоским перекрытием составляют 10,776 чел.-ч, что на 20% больше по сравнению с аналогичным усилением железобетонной колонны при сопряжении ее с балочным перекрытием (см. рисунок 3).

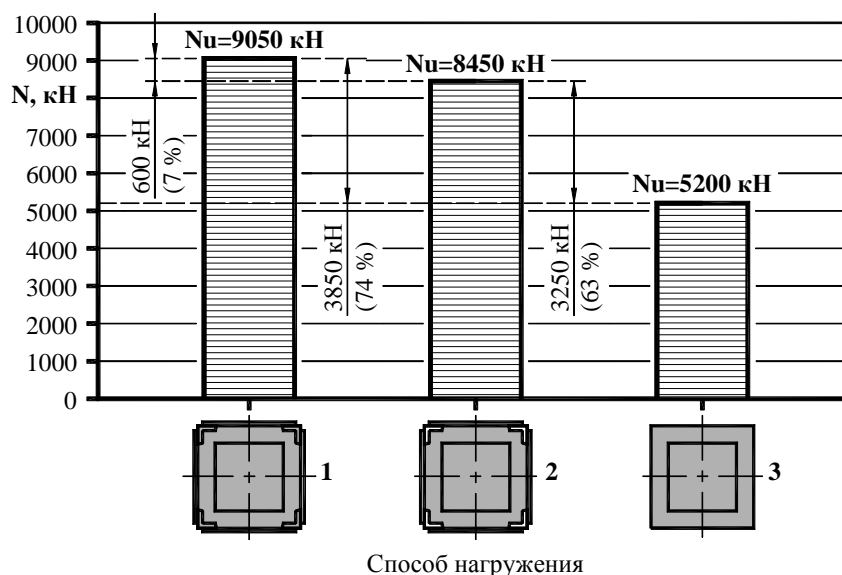
Из приведенного выше анализа следует, что при сопряжении усиливаемой железобетонной колонны с безбалочным плоским перекрытием наиболее рациональным и перспективным из рассматриваемых технических решений является формирование оголовка конструкции усиления бетонными вкладышами. При таком решении затраты труда на 2...4% ниже рассматриваемых способов.

Учитывая значительную трудоемкость и сложность устройства оголовка усиления колонны, становится очевидным, что при определенных условиях (неразрушенной верхней части железобетонной колонны) усиление стальной обоймой с обетонированием может быть выполнено без формирования оголовка [4].

При наличии оголовка конструкции усиления нагрузка на усиливаемую железобетонную колонну может передаваться по всему сечению усиления или на бетонное ядро, а при его отсутствии – только на сечение усиливаемой колонны [5; 6].

С целью обоснования необходимости устройства оголовка проведены теоретические и экспериментальные исследования несущей способности железобетонных колонн, усиленных стальной обоймой с обетонированием при различных способах их нагружения.

Теоретические исследования выполнены с использованием метода конечных элементов, позволяющего учесть конструктивно-технологические особенности и характер взаимодействия элементов усиления и усиливаемой колонны. Исследования проводились для усиливаемых моделей колонн сечением 400×400 мм и высотой 3,6 м. Результаты теоретических исследований моделей усиливаемых железобетонных колонн приведены на рисунке 4.



1 – при нагружении модели железобетонной колонны, усиленной стальной обоймой с обетонированием, по всему сечению оголовка; 2 – при нагружении модели железобетонной колонны, усиленной стальной обоймой с обетонированием, на бетонное ядро оголовка; 3 – при нагружении модели железобетонной колонны без оголовка

Рисунок 4. – Результаты теоретических исследований по определению несущей способности моделей усиливаемых железобетонных колонн

Анализ полученных результатов показал, что наибольшей несущей способностью обладает модель железобетонной колонны, усиленная стальной обоймой с обетонированием при передаче нагрузки по всему сечению (рисунок 4) – первый способ нагружения. При таком нагружении предельное напряженно-деформированное состояние наступает при достижении нагрузки 9050 кН, что на 7% больше, чем при передаче нагрузки на бетонное ядро исследуемой модели колонны (второй способ нагружения), и на 74% выше по сравнению с моделью железобетонной колонны без оголовка (рисунок 4).

Исследования модели железобетонной колонны, усиленной стальной обоймой с обетонированием при передаче нагрузки только на бетонное ядро (второй способ нагружения), позволили установить следующее: предельное напряженно-деформированное состояние наступает при достижении нагрузки 8450 кН, что на 63% больше, чем при нагружении модели железобетонной колонны без оголовка (рисунок 4). При нагружении модели железобетонной колонны без оголовка предельное напряженно-деформированное состояние наступает при достижении нагрузки 5200 кН (см. рисунок 4).

Для подтверждения теоретических изысканий проведены экспериментальные исследования по определению несущей способности опытных образцов колонн при тех же схемах нагружения, данные которых подтвердили результаты теоретических исследований. Экспериментальные исследования выпол-

нялись на 16 опытных образцах колонн сечением 100×100 мм и высотой 600 мм, усиленных стальной облоймой, и на 8 опытных контрольных образцах без усиления.

Заключение. На основании результатов проведенных теоретических и экспериментальных исследований установлено рациональное конструкторское решение по устройству оголовков конструкции усиления железобетонных колонн, доказана необходимость их устройства, несмотря на трудоемкость и сложность формирования. Наиболее эффективным способом нагружения служит приложение нагрузки по всему сечению усиливаемой колонны – одновременно на бетонное ядро и стальную облойму усиления, что позволяет на 7% и более повысить несущую способность железобетонных колонн, усиленных стальной облоймой с обетонированием, по сравнению с нагружением только на бетонное ядро. В целом, усиление железобетонных колонн стальной облоймой с обетонированием позволяет повысить их несущую способность на 70...80%.

Таким образом, включение в совместную работу с колонной всех элементов усиления обеспечивает максимальную несущую способность и требуемые эксплуатационные показатели качества восстанавливаемых железобетонных колонн.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что для технико-экономического обоснования способов восстановления железобетонных колонн и других конструктивных элементов зданий и сооружений рационально применять многокритериальную оценку вариантов производства работ с использованием метода выбора множества недоминируемых вариантов [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Техническое состояние и техническое обслуживание зданий и сооружений. Основные требования : ТКП 45-1.04-305-2016 ; МАиС Респ. Беларусь. – Минск, 2016. – 107 с.
2. Опанасюк, И.Л. Исследование способов усиления железобетонных колонн с использованием многокритериального анализа оценочных показателей / И.Л. Опанасюк, С.В. Данилов // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2011. – № 4. – С. 157–163.
3. Завадскас, Э.-К.К. Системотехническая оценка технологических решений строительного производства / Э.-К.К. Завадскас. – Л. : Стройиздат, 1991. – 254 с.
4. Рекомендации по оценке состояния и усилению строительных конструкций промышленных зданий и сооружений. – М. : Стройиздат, 1991. – 184 с.
5. Бетонные и железобетонные конструкции (с изм.) : СНБ 5.03.01-02 ; МАиС Респ. Беларусь. – Минск, 2003. – 144 с.
6. Возведение строительных конструкций, зданий и сооружений. Основные требования : ТКП 45-1.03-314-2018 ; МАиС Респ. Беларусь. – Минск, 2018. – 123 с.

Поступила 01.03.2019

THE TECHNICAL SOLUTIONS OF THE DEVICE OF HEADROOM DESIGN STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS

I. OPANASYUK, S. DANILOV

The effectiveness of reinforced concrete columns strengthening depends not only on the technical and economic indicators of the method of strengthening and the adopted organizational and technological solutions, but also on the efficiency of joint work of the reinforced column construction and strengthening elements. The analysis of technical and economic indicators of reinforced concrete columns reinforced with a steel cage with concrete and the distribution of the labor intensity of concrete work on the height of the reinforced column was performed. Explain rational technical solutions for the device tip design of strengthening reinforced concrete columns. Theoretically and experimentally justified design and technological solutions to ensure the inclusion in the joint work of reinforcement elements and recoverable reinforced concrete columns, which provides an increase in the bearing capacity of columns by 7% or more, and as a result increases the reliability and safety of operation of the restored building structures bearing frames of buildings and structures.

Keywords: restoration of reinforced concrete columns with steel form; betonyrovaly-going technical solutions for the formation of the head of strengthening reinforced concrete columns; methods of loading and inclusion in collaborative work.