

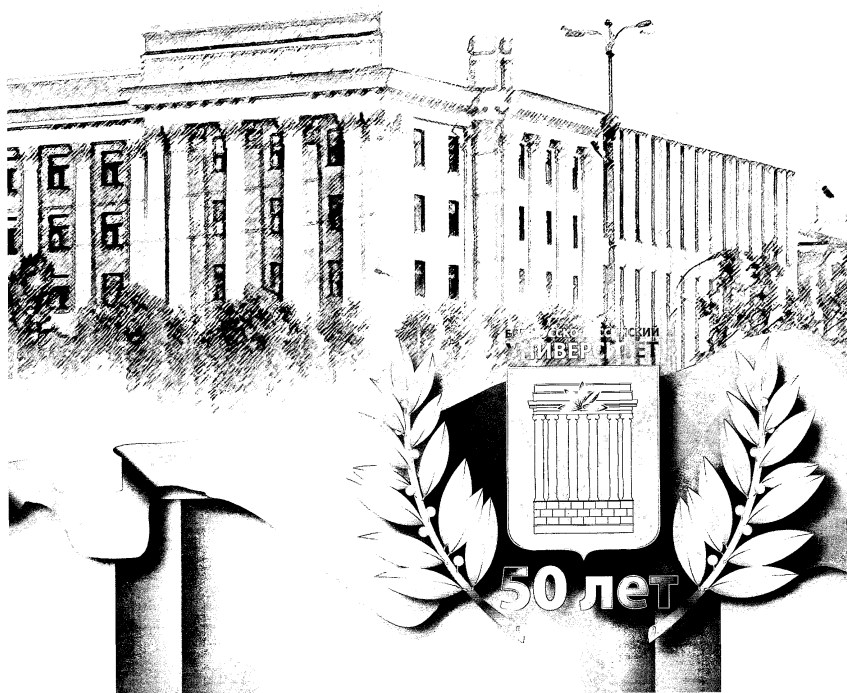
2011 год

ПС

ISSN 2077-8481

ВЕСТНИК

№ 4, 2011



УДК 624.01

И. Л. Опанасюк, С. В. Данилов

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО АНАЛИЗА ОЦЕНОЧНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

UDC 624.01

I. L. Apanasiuk, S. V. Danilov

RESEARCH OF THE WAYS OF REINFORCED-CONCRETE COLUMNS STRENGTHENING BY USING THE MULTI-CRITERION ANALYSIS OF ESTIMATING INDICES

Аннотация

На основе многокритериального анализа выполнено обоснование рациональных технологических и конструктивных решений по восстановлению эксплуатационных качеств железобетонных колонн.

Ключевые слова:

эксплуатационные качества, железобетонные колонны, оценочные показатели, многокритериальный анализ, категории технического состояния.

Abstract

Based on the multi-criteria analysis, rational technological and design solutions in the restoration of functional performance of reinforced concrete columns are justified.

Key words:

performance, reinforced concrete columns, estimating indices, multi-criterion analysis, categories of technical condition.

В нормальных эксплуатационных условиях большинство конструкций за установленный нормативный срок службы зданий и сооружений не исчерпывают физико-механических качеств материалов. Наряду с этим, из-за неудовлетворительного ухода, нарушения правил технической и технологической эксплуатации зданий и сооружений, сроки службы отдельных конструкций, эксплуатируемых в условиях агрессивных сред, сокращаются в несколько раз. К наиболее подверженным коррозионным воздействиям относятся железобетонные конструкции каркасов зданий, покрытий и стенового ограждения.

Рассматривая эту группу конструкций, железобетонные колонны мож-

но выделить как один из основных конструктивных элементов, обеспечивающих несущую способность каркасов, устойчивость и жесткость зданий и сооружений. Согласно технической литературе [1], нормативный срок эксплуатации колонн составляет 70...100 лет.

Организационно-технологические и конструктивные решения по восстановлению эксплуатационных качеств зависят от характера повреждений и категории технического состояния железобетонных конструкций. В соответствии с действующими нормами [2] техническое состояние строительных конструкций характеризуется пятью категориями технического состояния.

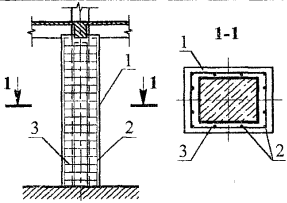
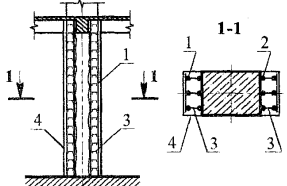
I и II категории технического

состояния железобетонных колонн характеризуются единичными мало-значительными дефектами, не снижающими несущей способности конструкций, которые устраняются в процессе технического обслуживания и текущего ремонта; III категория – многочисленными малозначительными дефектами, которые устраняются в процессе ремонта конструкций; IV категория – многочисленными значительными дефектами, которые устраняются в процессе капитального ремонта конструкций; V категория – массовыми критическими дефектами, предельным (предаварийным) состоянием конструкций, требующих полного их восстановления либо замены.

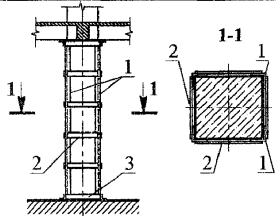
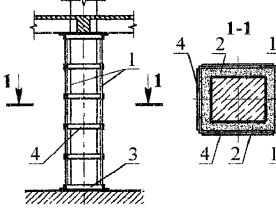
Наиболее технически сложным является восстановление эксплуатационных качеств железобетонных колонн при IV категории их технического состояния (неработоспособное неудовлетворительное состояние), которое характеризуется многочисленными значительными дефектами и физическим износом 41...60%.

Для восстановления эксплуатационных качеств железобетонных колонн при IV категории технического состояния существует большой арсенал способов, среди которых наибольшее распространение получили следующие: железобетонные обоймы; одностороннее и двухстороннее наращивание сечения; металлические обоймы; металлические обоймы с обетонированием (табл. 1).

Табл. 1. Способы восстановления эксплуатационных качеств железобетонных колонн

Способ восстановления и усиления	Схема восстановления эксплуатационных качеств железобетонных колонн	Рекомендуемая область применения
1	2	3
<p>1 Усиление колонны железобетонной обоймой</p>	 <p>1 – железобетонная обойма толщиной 60...100 мм; 2 – продольная арматура обоймы; 3 – поперечная арматура обоймы</p>	<p>При усилении и восстановлении центрально-сжатых железобетонных колонн в случаях сильного повреждения арматуры или защитного слоя</p>
<p>2 Усиление колонны двухсторонним наращиванием</p>	 <p>1 – дополнительная арматура; 2 – существующая арматура; 3 – соединительные коротыши; 4 – двухстороннее бетонное наращивание</p>	<p>При усилении и восстановлении центрально-сжатых колонн в случаях невозможности применения железобетонной или металлической обоймы</p>

Окончание табл. 1

1	2	3
<p>3 Усиление колонны металлической облоймой</p>	 <p>1 – продольные уголки облоймы; 2 – поперечные планки облоймы; 3 – опорные уголки</p>	<p>При усилении центрально-сжатых железобетонных колонн без возможности увеличения поперечного сечения и выполнении ремонтно-восстановительных работ в сжатые сроки</p>
<p>4 Усиление колонны металлической облоймой с бетонированием</p>	 <p>1 – продольные уголки облоймы; 2 – бетонная облойма толщиной 60 мм; 3 – опорные уголки; 4 – поперечные планки облоймы</p>	<p>При усилении и восстановлении центрально-сжатых железобетонных колонн. Наиболее простой в реализации и надежный в эксплуатации способ восстановления эксплуатационных качеств железобетонных колонн</p>

Для обоснования рационального выбора технологических и конструктивных решений по восстановлению эксплуатационных качеств железобетонных колонн (см. табл. 1) нами определены затраты труда (рис. 1) и прямые затраты в ценах 2006 г. (рис. 2), которые дают достаточно полную оценку рассматриваемых организационно-технологических и конструктивных решений по усилению и восстановлению железобетонных колонн.

В основу выполненных расчетов заложены нормативные данные ресурсно-сметных норм и затрат труда по основным статьям расходов прямых затрат. Конечным результатом выполненных расчетов явились такие технико-экономические показатели, как трудоемкость выполнения работ и суммарные прямые затраты на реализацию плани-

руемых мероприятий, что является основой для определения минимальных приведенных затрат и рациональных вариантов восстановления эксплуатационных качеств железобетонных колонн.

При восстановлении эксплуатационных качеств железобетонных колонн сечением 300×300 мм наименее трудоемким является способ двухстороннего наращивания сечения (см. рис. 1, а), затраты труда которого в среднем составляют 16,9 чел.-ч, что на 16, 18 и 25 % меньше, чем при восстановлении соответственно металлической облоймой с бетонированием, металлической облоймой и железобетонной облоймой. Также способ двухстороннего наращивания сечения является наиболее экономичным (см. рис. 2, а), прямые затраты которого в среднем составляют 593,5 тыс. р., что на 10, 15 и 26 % меньше, чем при вос-

становлении соответственно металлической облоймой с бетонированием, желе-

зобетонной облоймой и металлической облоймой.

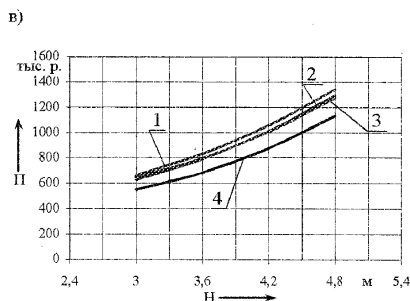
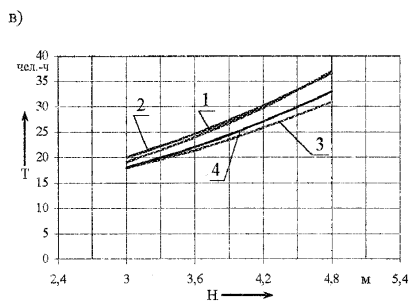
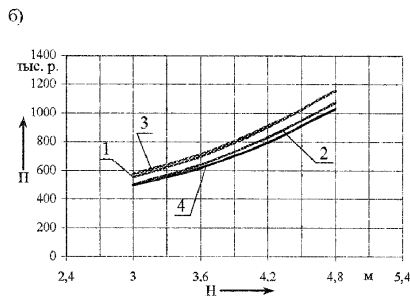
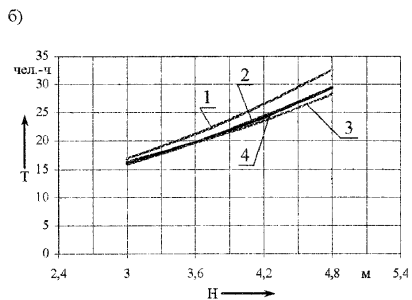
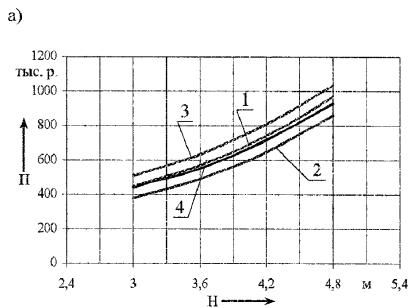
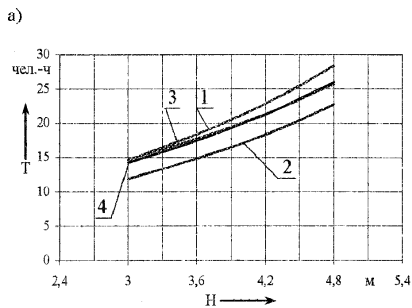


Рис. 1. Зависимость затрат труда на восстановление ж/б колонн от геометрических размеров колонны: а – колонн сечением 300×300 мм; б – колонн сечением 400×400 мм; в – колонн сечением 500×500 мм; 1 – железобетонная облойма; 2 – одностороннее наращивание; 3 – металлическая облойма; 4 – металлическая облойма с бетонированием

Рис. 2. Зависимость прямых затрат на восстановление ж/б колонн от геометрических размеров колонны: а – колонн сечением 300×300 мм; б – колонн сечением 400×400 мм; в – колонн сечением 500×500 мм; 1 – железобетонная облойма; 2 – одностороннее наращивание; 3 – металлическая облойма; 4 – металлическая облойма с бетонированием

При восстановлении эксплуатационных качеств железобетонных колонн сечением 400×400 мм наименее трудоёмким является устройство металлической обоймы (см. рис. 1, б), затраты труда которой в среднем составляют 21,9 чел.-ч, что на 2, 3 и 11 % меньше, чем при восстановлении соответственно металлической обоймой с обетонированием, двухсторонним наращиванием и железобетонной обоймой. Однако наиболее экономичным является устройство металлической обоймы с обетонированием (см. рис. 2, б), прямые затраты которой в среднем составляют 734,5 тыс. р., что на 4, 12 и 14 % меньше, чем при восстановлении соответственно двухсторонним наращиванием, железобетонной обоймой и металлической обоймой.

При восстановлении эксплуатационных качеств железобетонных колонн сечением 500×500 мм наименее трудоёмким является устройство металлической обоймы (см. рис. 1, в), затраты труда которой в среднем составляют 24,1 чел.-ч, что на 4, 14 и 16 % меньше, чем при восстановлении соответственно металлической обоймой с обетонированием, железобетонной обоймой и двухсторонним наращиванием. В свою очередь, наиболее экономичным является устройство металлической обоймы с обетонированием (см. рис. 2, в), прямые затраты которой в среднем составляют 810,6 тыс. р., что на 15, 16 и 20 % меньше, чем при восстановлении соответственно двухсторонним наращиванием, металлической обоймой и железобетонной обоймой.

Из приведенных графиков (см. рис. 1 и 2) видно, что установленные затраты труда и прямые затраты характеризуются незначительным разбросом значений, а их динамика зависит от поперечного сечения и высоты колонны. Значения этих показателей могут изменяться в зависимости от условий производства работ, применяемых материалов, средств механизации и других пространственных и временных ограничений.

Как видно из вышеприведенного анализа, достаточно сложно дать предпочтение одному из рассматриваемых вариантов восстановления эксплуатационных качеств железобетонных колонн, т. к. технико-экономические показатели имеют близкие значения и разные размерности, а также трудно сопоставимы по конструктивным соображениям. Из рассматриваемых способов наиболее технически сложными в исполнении являются усиления колонн металлической обоймой, железобетонной обоймой и способ двухстороннего наращивания. Усиление металлической обоймой с обетонированием является наиболее применимым способом с точки зрения простоты реализации и надежности в процессе эксплуатации.

Исходя из вышеизложенного следует, что важнейшим принципом оценки проектных решений являются комплексный подход к анализу оценочных показателей и системный подход к выбору рациональных решений. Данный комплексный подход предполагает учет в процессе оценки всей совокупности оценочных показателей, значимо влияющих на эффективность принимаемых решений. Системный подход к выбору рациональных решений дает возможность на всех стадиях ремонтно-восстановительных работ принимать решения, наиболее полно соответствующие целям, стоящим перед создаваемыми системами (в рассматриваемом случае – восстановление эксплуатационных качеств железобетонных колонн).

Для выбора рациональных решений восстановления эксплуатационных качеств железобетонных колонн необходимо создание системы вариантов организационно-технологических и конструктивных решений, каждый из которых характеризуется конечным множеством оценочных показателей, достаточно полно описывающих свойства сравниваемых вариантов.

Существующий математический

аппарат, рекомендуемый для отыскания оптимальных решений, базируется на оценке качества принимаемого решения на основе одного скалярного критерия. Иными словами, вариант a оценивается скалярным критерием $x(a)$, причем вариант a_0 , оптимальный из множества возможных решений, выбирают с условием $x(a_0) \geq x(a)$ для всех $a \in A$. Такой принцип оценки и выбора рационального решения получил название скалярного или однокритериального [3].

При оценке решения по восстановлению эксплуатационных качеств железобетонных колонн применение скалярного принципа правомерно в том случае, когда для ситуации, в которой осуществляется принятие решения, может быть обоснован очевидный приоритет одного из оценочных показателей. При этом значения остальных показателей могут быть весьма далеки от оптимальных.

Наиболее объективным является метод выбора наилучшего варианта с учетом значений конечного множества оценочных показателей, характеризующих сравниваемые варианты [3]. Рассмотрим общий случай, когда имеется m вариантов, сопоставляемых по n показателям эффективности. Нетрудно дать оценку каждому варианту по конкретному показателю. Однако гораздо сложнее сопоставить варианты по разным показателям эффективности, которые часто имеют разные размерности или же трудно сопоставимы по другим соображениям. Поэтому удобно представить варианты восстановления железобетонных колонн $\{a_i\}$, ($i = \overline{1, m}$) и результаты их реализации в матричной форме $\{x^{ij}\}$, ($i = \overline{1, m}$; $j = \overline{1, n}$).

Для оценки технических решений на стадии организационно-технологического проектирования используют отдельные оценочные показатели, а именно прямые затраты, состоящие из затрат на материалы; затраты на эксплуатацию машин и механизмов и зара-

ботной платы рабочих; трудоемкость и продолжительность выполнения работ.

Анализ полученных результатов (см. рис. 1 и 2) показывает, что при значительном разбросе отдельных оценочных показателей по прямым затратам и трудоемкости выполнения работ они не сопоставимы по присущей им размерности. Также в одном случае прямые затраты приоритетны для одного варианта усиления, а затраты труда более оптимальны для другого варианта.

Эти особенности затрудняют выбор базового варианта для сравнительной оценки возможных технологических и конструктивных решений, а также наиболее рационального варианта производства работ.

В связи с этим нами предлагается научно-обоснованная модель выбора рациональных организационно-технологических решений восстановления эксплуатационных качеств железобетонных колонн на базе разноразмерных оценочных показателей с использованием методики выбора подмножества недоминируемых вариантов [3].

Данная методика реализуется в несколько этапов: составление на основе оценочных показателей исходной матрицы; составление нормализованной матрицы; определение матриц согласия и несогласия; определение доминирующих матриц согласия и несогласия; определение агрегированной матрицы (матрицы принятия решения).

Эта методика была применена при обосновании рационального варианта технологического и конструктивного решения восстановления эксплуатационных качеств железобетонных колонн с IV категорией технического состояния на ПРУП «Кричвеццементно-шифер». Оценка вариантов осуществлялась по шести основным показателям эффективности: трудозатратам на установку временных подмостей; трудозатратам на подготовительные работы; трудозатратам на восстановление экс-

платационных качеств железобетонных колонн; заработной плате рабочих; стоимости эксплуатации машин и механизмов; стоимости материалов.

Заключение

Проведенные исследования по предлагаемой методике показали, что наиболее надежным в работе и экономически обоснованным из предлагаемых является способ восстановления эксплуатационных качеств железобетонных колонн с IV категорией техни-

ческого состояния по средствам устройства металлической обоймы с обетонированием.

Преимуществом предлагаемой методики перед другими является то, что она позволяет производить выбор рационального варианта восстановления эксплуатационных качеств железобетонных колонн при неограниченном числе исходных оценочных показателей и оперативно выполнять технологические расчеты с помощью ЭВМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендации по оценке состояния и усилению строительных конструкций промышленных зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1991. – 184 с.
2. **СНБ 1.04.01-04.** Здания и сооружения. Основные требования к техническому состоянию и обслуживанию строительных конструкций и инженерных систем, оценка их пригодности к эксплуатации / МАиС РБ. – Минск, 2004. – 23 с.
3. **Завадкас, Э.-К. К.** Системотехническая оценка технологических решений строительного производства / Э.-К. К. Завадкас. – Л.: Стройиздат, 1991. – 254 с.

LIST OF LITERATURE

1. Recommendations for estimating the condition and strengthening the structural units of industrial buildings and structures. – M.: Strojizdat, 1991. – 184 p.
2. **SNB 1.04.01-04.** Buildings and structures. Basic requirements to the technical condition and maintenance of building structures and engineering systems, the estimation of their serviceability / MAiS RB. – Minsk, 2004. – 23 p.
3. **Zavadskas, Э.-К. К.** Systems-engineering evaluation of technological solutions in the construction industry / E.-K. K. Zavadskas. – L.: Strojizdat, 1991. – 254 p.

LIST OF LITERATURE (TRANSLITERATION)

1. Rekomendatsii po otsenke sostoyaniya i usileniyu stroitel'nykh konstruksij promyshlennykh zdaniy i sooruzhenij. – M.: Strojizdat, 1991. – 184 s.
2. **SNB 1.04.01-04.** Zdaniya i sooruzheniya. Osnovnye trebovaniya k tekhnicheskomu sostoyaniyu i obsluzhivaniyu stroitel'nykh konstruksij i inzhenernykh sistem, otsenka ikh prigodnosti k ekspluatatsii / MAiS RB. – Minsk, 2004. – 23 s.
3. **Zavadskas, Э.-К. К.** Sistemotekhnicheskaya otsenka tekhnologicheskikh reshenij stroitel'nogo proizvodstva / E.-K. K. Zavadskas. – L.: Strojizdat, 1991. – 254 s.

Статья сдана в редакцию 12 сентября 2011 года

Иван Лукьянович Опанасюк, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет. Тел.: 8-029-542-96-82.
Сергей Васильевич Данилов, ст. преподаватель, Белорусско-Российский университет. Тел.: 8-0297-45-95-97.

Ivan Lukyanovich Opanskiuk, PhD, Associate Professor, Belarusian-Russian University. Tel.: +375-295-42-96-82.
Sergey Vasilyevich Danilov, senior lecturer, Belarusian-Russian University. Tel.: +375-297-45-95-97.