УДК 624.016, 693.955

© А. Ф. Юдина, д-р техн. наук, профессор
© Ю. И. Тилинин, канд. техн. наук
© Д. А. Животов, канд. техн. наук
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: yudinaantonina2017@mail.ru,
tilinin.yu.i@lan.spbgasu.ru, d.zhivotov@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-2-104-111

© A. F. Yudina, Dr. Sci. Tech., Professor
© Yu. I. Tilinin, PhD in Sci. Tech.
© D. A. Zhivotov, PhD in Sci. Tech.
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: yudinaantonina2017@mail.ru,
tilinin.yu.i@lan.spbgasu.ru, d.zhivotov@mail.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УСИЛЕНИЯ БЕТОННЫХ КОЛОНН ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ

IMPROVING THE TECHNOLOGY OF CONCRETE COLUMN REINFORCEMENT AT RECONSTRUCTION OF FRAME BUILDINGS

При возведении зданий гражданского и промышленного назначения широко применялись сборные и сборно-монолитные строительные системы, состоящие из колонн и перекрытий. На сегодняшний день физический износ этих строительных конструкций, в частности железобетонных колонн, составляет в большинстве случаев 15–25 % по предложенной авторами шкале. Такой износ не является предельным состоянием, но для предотвращения его прогрессирования предлагается не только восстанавливать колонну цементацией, но и оклеивать грани железобетонной колонны углеродистым полотном, что не только упрочняет колонну, но и защищает ее от природного воздействия. Для новой технологии авторами разработана нормаль процесса.

Ключевые слова: колонны железобетонные, усиление, обойма стальная, обойма железобетонная, опалубка, армирование, углеволокно, инъектирование.

At the construction of public and residential buildings, prefabricated monolithic building systems consisting of columns and floors were widely used. According to the scale proposed by the authors, physical wear of such building structures, in particular, of reinforced concrete columns, is in most cases 15–25 %. Such wear is not a limiting condition, but to prevent its progression, it is proposed not only to restore the column by cementation, but to cover the edges of the concrete column with carbon-base binder, which not only strengthens the column, but also protects it from natural impact. The authors have developed a normal of the process for the new technology.

Keywords: reinforced concrete columns, strengthening, column steel casing, reinforced concrete casing, formwork, reinforcement, carbon fiber, injection.

Каркасные здания получили широкое распространение в промышленном и гражданском строительстве, особенно в период развития сборного домостроения во второй половине XIX века. При возведении каменных каркасных зданий в основном применялись сборные железобетонные колонны и конструкции покрытия и перекрытия [1].

Сроки службы железобетонных конструкций зданий, построенных в 60-е годы прошлого столетия, составляют около 52 лет. Исходя из долговечности монолитных железобетонных конструкций, теоретический износ составляет

около 30–40 %, а для сборных железобетонных зданий — 40–50 %. В то же время фактическое состояние несущих конструкций зависит от своевременности капитальных ремонтов и от условий эксплуатации [2]. Наибольший износ строительных конструкций характерен для производственных зданий химической промышленности, для конструкций очистных и водозаборных сооружений, для зданий банно-прачечных комбинатов, где сочетаются перепады температуры, влажность и химические испарения в воздухе. В современных экономических условиях многие перечисленные объекты в первоначальном

своем назначении не востребованы, то есть морально устарели и подлежат реконструкции при фактическом физическом износе не более 40 % [3]. Конструктивно-технологическое решение сборно-монолитного здания каркасного типа представляет собой колонную схему с безбалочным перекрытием [4]. Физический износ колонн оценивается в соответствии с ВСН 53-86(р)¹: «Реальный физический износ железобетонной колонны рассчитывается с учетом оценки дефектов отдельных участков поверхности колонны и вычисляется по формуле

$$\Phi_k = \sum_{i=1}^{i=n} \Phi_i \frac{P_i}{P_k}, \quad (1)$$

где Φ_k — степень износа колонны в целом, %; Φ_i — степень износа участка колонны, %; P — площадь участка колонны с однородным износом, м²; P_k — площадь поверхности колонны в целом, м²; n — количество участков колонны с разнородными признаками износа».

Примерный состав работ по усилению физически изношенных конструкций, приведенный в ВСН 53-86(р), приблизительно отражает техническое состояние и не содержит современных технологий ремонта. Однако как за рубежом, так и в России идет постоянная разработка нормативной документации, что может служить подтверждением актуальности исследования усиления железобетонных конструкций композиционными материалами [5].

Более точная шкала оценки физического износа бетонных колонн приведена в табл. 1 с учетом уточнения значений по данным практических наблюдений и обобщений авторов. Предложены новые способы ремонта с использованием углепластика.

В последнее десятилетие для усиления конструкций применяют технологии наклейки лент и холстов из углеродистого волокна, применяемого в качестве внешнего армирования и имеющего механическую прочность на растяжение $R = 1700\text{--}4800$ МПа (рис. 1)² [6]. Большое пространство получило замоналичивание тре-

щин в железобетонных конструкциях инъектированием.

В результате испытаний несущая способность колонн увеличилась на 57 %. В предельном состоянии осевое сжатие колонн составило 11 мм/м. В стадии эксплуатации такие деформации недопустимы. Таким образом, ткани из углеродистого волокна применяются при околопредельном нагружении колонн для обеспечения необходимого коэффициента надежности. Для нагруженных колонн рекомендованный максимальный коэффициент усиления 1,8–2,0³.

Перед усилением колонн углеродным плотным или лентами с наклейкой на бетонную поверхность колонны эпоксидным клеевым составом производится инъектирование трещин шириной 1–2 мм. В состав простого процесса входят следующие операции:

1. Расшивка трещин.
2. Бурение шпуров под инъекционные пакеры под углом 30–45°.
3. Продувка отверстий сжатым воздухом.
4. Монтаж инъекционного оборудования.
5. Нагнетание полимерцементного состава в пакеры.
6. Снятие пакеров.
7. Заделка шпуров полимерцементным составом.
8. Заделка выколов и выбоин полимерцементным составом.

Устройство системы внешнего армирования допускается осуществлять в диапазоне температур окружающего воздуха и конструкций от +5 °С до +45 °С и влажности воздуха не более 80 %. Температура конструкции должна быть выше температуры точки росы минимум на 3 °С. Влажность конструкции в зоне усиления не должна превышать 4 % (СТО 38276489.001–2017).

Работы по усилению железобетонных конструкций путем внешнего армирования композиционными материалами включают следующие этапы:

- восстановление целостности и геометрической формы усиливаемой конструкции (включая, при необходимости, антикоррозионные мероприятия);

¹ ВСН 53-86(р). Ведомственные строительные нормы «Правила оценки физического износа жилых зданий». М.: Госгражданстрой, 1988. 26 с.

² СТО 38276489.001–2017. Усиление железобетонных конструкций композиционными материалами. Проектирование и технология производства.

³ Руководство по проектированию для FRP систем компании S&P. URL: <http://asoka.ru>.

Таблица 1

Шкала оценки физического износа бетонных колонн и применяемые технологии ремонта

Признаки износа	Степень износа, %	Технологии ремонта
Трещины в растянутой зоне до 0,5 мм, отколы глубиной до 3 мм — не более 1 на 1 м ²	10	Заделка отколов вручную
Трещины в растянутой зоне от 0,5 до 0,8 мм, отколы глубиной до 4,5 мм — не более 2 на 1 м ²	15	Заделка трещин и отколов вручную
Трещины в растянутой зоне от 0,9 до 1 мм, отколы глубиной до 5 мм — не более 3 на 1 м ²	20	Инъектирование цементным раствором, восстановление защитного слоя. Усиление углепластиковым полотном
Оголение арматуры (размером до 50 мм в одном месте на 1 м ²) и трещины шириной от 1,1 до 1,3 мм	25	Инъектирование цементным раствором, восстановление защитного слоя. Усиление углепластиковыми пластинами
Оголение арматуры (размером до 50 мм в двух местах на 1 м ²) и трещины шириной от 1,3 до 1,5 мм	30	Инъектирование цементным раствором, устройство стальных обойм с оштукатуриванием по сетке
Трещины в растянутой и сжатой зонах в основании и у консолей от 1,5 до 2 мм, отслоение защитного слоя — не более 1 на 1 м ²	40	Инъектирование цементным раствором, устройство стальных обойм с оштукатуриванием по сетке или устройство бетонной обоймы в несъемной опалубке
Трещины в растянутой и сжатой зонах в основании и у консолей от 1,5 до 2 мм, отслоение защитного слоя — не более 2 на 1 м ² . Искривление колонны 1:200 от высоты	50	Устройство дополнительного армирования и торкретирования
Раскрытие трещин в растянутой и сжатой зонах по всей высоте более 2 мм, отслоение защитного слоя в растянутой зоне по всей высоте. Искривление колонны 1:200 от высоты	60	Замена колонны или устройство работающих на сжатие обойм из монолитного бетона

Рис. 1. Усиление колонн углеродистым волокном [7]

- подготовка поверхности конструкции в местах устройства усиливающих элементов внешнего армирования;
- разметка размещения элементов внешнего армирования в соответствии с принятой проектом схемой наклейки;
- раскрой усиливающих элементов (ленты, ткани, ламината, сетки, анкерного жгута);
- приготовление связующего (адгезива);
- наклейка усиливающих элементов;
- нанесение защитного покрытия (СТО 38276489.001–2017).

В практике современного строительства продолжают применяться традиционные конструкции и способы устройства усиления бетонных колонн, имеющих физический износ более 25 %, на которые разработаны Единые нормы и расценки, отражающие удельные затраты технических и трудовых ресурсов, необходимых для выполнения работ.

Традиционные технологии устройства конструкций усиления:

- устройство стальной обоймы из прокатных профилей (стальных уголков и полос, соединенных электросваркой) (рис. 2);

Рис. 2. Усиление колонны стальной обоймой

- устройство монолитной железобетонной обоймы;

- торкретирование стальной обоймы из строительной арматуры.

При устройстве железобетонной рубашки и толщине обоймы до 4 см применимы методы торкретирования (рис. 3).

Монолитное усиление колонны часто выполняют с использованием несъемной опалубки из цементно-стружечной плиты или дисперсно-армированной панели, изготовленной на цементном вяжущем материале [8].

При устройстве железобетонной рубашки в несъемной опалубке выполняются насечка и арматурный каркас обоймы, очистка поверхности сжатым воздухом, установка несъемных элементов опалубки и бетонирование. Обойма выполняется отдельными ярусами. Эффективно в качестве дополнительного армирования применение стальной фибры [9].

Однако развитие строительных материалов и средств механизации, применяемых при устройстве конструкции усиления, служит объективным поводом к подробному обобщению технологий усиления железобетонных колонн, имеющих физический износ до 25 %. На основе сравнительного анализа технологий усиления железобетонных колонн, имеющих физический износ до 25 %, авторами разработаны предложения по рациональной области применения рассмотренных технологий.

Рис. 3. Технологический процесс усиления железобетонной колонны рубашкой из армированного торкретбетона

Таблица 2

**Результаты экспертной оценки технологий усиления железобетонных колонн,
имеющих физический износ до 25 %**

№ п/п	Десять критериев оценки технологии	Значение критерия оценки по десятибалльной шкале технологии усиления колонн			
		Стальная обойма	Монолитная железобетонная	Углеродистое внешнее армирование	Инъектирование
1	Удельные затраты трудовых ресурсов	7	4	9	5
2	Удельные затраты материалов	9	8	5	5
3	Удельные среднегодовые затраты на текущий ремонт конструкций после их усиления	7	7	9	10
4	Прогнозируемая долговечность материалов конструкций усиления	7	8	6	7
5	Удельная стоимость технологического оборудования в единицу времени	5	6	8	5
	Итого технология усиления колонн (максимальное значение 100 баллов)	35	33	37	32

Авторами рассмотрены следующие критерии сравнения технологий:

1. Удельные затраты трудовых ресурсов [10].
2. Удельные затраты материалов.
3. Удельные среднегодовые затраты на текущий ремонт конструкций после их усиления.
4. Прогнозируемая долговечность материалов конструкций усиления.
5. Удельная стоимость технологического оборудования в единицу времени.

В экспертной оценке принимали участие кандидаты технических наук по специальности 05.23.08 «Технология и организация строительства».

Собранные результаты ответов подверглись статистической обработке.

Результаты экспертной оценки технологий усиления железобетонных колонн при их физическом износе до 25 % приводятся в табл. 2.

Коэффициент вариации оценок определяется следующим образом.

«Для оценки корректности экспертных оценок принят коэффициент вариации, определенный по следующей формуле:

$$V_j = \frac{\sigma_j}{M_j}, \quad (2)$$

где среднее квадратическое отклонение оценок, полученных j -й технологией, определяется по формуле

$$\sigma_j = \sqrt{D_j}, \quad (3)$$

где дисперсия D_j оценок, данных j -й технологии, определяется по формуле

$$D_j = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (C_{ij} - M_j)^2, \quad (4)$$

где n — число экспертов; C_{ij} — оценка (в баллах) j -й технологии i -м экспертом; M_j — среднее арифметическое значение величины оценки технологии (в баллах), определяется по формуле

$$M_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_{ij}. \quad (5)$$

В расчетах средних баллов по каждой технологии и соответствующему критерию определялся коэффициент вариации, который не превысил значения 0,28, что говорит о допустимой степени согласованности экспертов» [11].

Технология наружного армирования колонн, имеющих износ до 25 %, углеродистым полотном по данным экспертной оценки наиболее эффективна. Менее эффективна технология инъекти-

рования, стальная обойма эффективнее обоймы из железобетона, но уступает углеродистому полотну. В связи с отсутствием данных об изменении прочностных характеристик углеродистого волокна при длительной эксплуатации авторы не рекомендуют применять усиление колонн углеродистым полотном при физическом износе железобетонных колонн более 25 %.

Нанесение на подготовленную бетонную поверхность клеящего эпоксидного состава надо производить при температуре не ниже +15 °С. Причем обязательно производится грунтовка, закрепляющая отшлифованную бетонную поверхность и обеспечивающая хорошую адгезию эпоксидного клеящего состава к поверхности колонны. Грунтовку можно наносить кистью, валиком или пистолетом-распылителем.

Проведенные нормативные наблюдения за выполнением технологических процессов усиления колонн холстами из углепластика послужили основанием для предложенной новой технологии.

Состав операций по усилению железобетонных колонн с физическим износом до 25 %:

1. Расшивка трещин.
2. Просверливание отверстий для установки пакеров.
3. Установка пакеров.
4. Монтаж инъекционного оборудования.
5. Нагнетание цементного раствора.
6. Заделка выбоин.
7. Алмазная обработка бетонной поверхности.
8. Продувка сжатым воздухом.
9. Подготовка эпоксидного грунтовочного состава.
10. Раскрой холстов углеродистого полотна.
11. Наклеивание лент из углеродистого волокна вдоль по граням колонны.
12. Наклейка поперечных холстов из углеродистого волокна по всей высоте колонны.
13. Протирка оклеенной поверхности ветошью.

Состав звена:

Облицовщик конструкций углеродистым волокном:

- 3-й разряд — 1 чел.;
- 4-й разряд — 2 чел.

Применяемые машины и инструменты:

- внутрипостроечный транспорт (автомобиль, трактор грузоподъемностью до 5 т);
- установка инъекционная — 1 шт.;
- кельма штукатурная — 2 шт.;
- перфоратор электрический — 1 шт.;
- шпатели стальные — 2 шт.;
- шпатель пластиковый для наклейки холста — 2 шт.;
- кисть макловица — 1 шт.;
- валик для укатки холста — 2 шт.;
- шуруповерт электрический — 1 шт.;
- отвес;
- уровень.

Зарубежные исследования в области технологии усиления колонн материалами на основе углеродистого волокна направлены на автоматизацию технологического процесса намотки лент. Первые опытные образцы представляют собой роторный механизм с «бегущей» вдоль колонны в процессе намотки лентой (рис. 4)⁴.

С учетом российского опыта применения зарубежной технологии авторами проводятся исследования в области скоростной технологии одновременного устройства двухслойной оболочки. Цель исследования направлена на снижение трудоемкости работ по усилению колонн не менее чем на 30 %.

Выводы

Результаты исследований технологических процессов предназначены для применения при реконструкции и капитальном ремонте железобетонных каркасных сборных зданий в части ремонта колонн, имеющих износ не более 25 % по предложенной авторами шкале, с одновременным усилением в виде внешнего армирования углеродистым полотном. Авторы не рекомендуют применять углеродистое полотно для усиления колонн, имеющих физический износ более 25 %, в связи с отсутствием данных об изменении прочности углеродистого волокна при длительной эксплуатации. В дальнейших научных исследованиях авторами планируется выполнить уточнение разработанной нормали технологического процесса усиления колонн полотном из углеродистого волокна и рекомендуемого расхода ресурсов по результатам нормативных наблю-

⁴ FIB bulletin 14. Externally bonded FRP reinforcement for RC structures. July 2001. CNR-DT 200/2004.

Рис. 4. Автоматизированный намотыватель ленты

дений, с учетом исследования адгезии эпоксидного клеящего состава к бетонной поверхности. Кроме того, авторами предложена технология скоростной одновременной намотки двух слоев лент на усиливаемую круглую колонну.

Библиографический список

1. Golovina S., Oblasov Yu. The architecture and artistic features of high-rise buildings in USSR and the United States of America during the first half of the twentieth century // High-Rise Construction 2017. E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 33, Issue 01032. 18 p.
2. Тилинин Ю. И. Организация и технология производства работ при реконструкции жилых кирпичных зданий исторического центра Санкт-Петербурга // Сб. науч. тр. межвуз. науч.-практ. конф. «Современные направления развития технологии, организации и экономики строительства» / под общ. ред. А. Н. Бирюкова. СПб.: ВИ (ИТ), 2015. С. 264–270.
3. Юдина А. Ф. Реконструкция и техническая реставрация зданий и сооружений. 6-е изд., испр. М.: Академия, 2019. 320 с.
4. Колчеданцев Л. М., Зубов Н. А., Роцупкин Н. П., Колчеданцев А. Л. Конструктивно-технологические решения сборно-монолитного здания экономического класса // Строительные материалы. 2011. № 3. С. 37–39.
5. Денисова А. Д., Шеховцов А. С. Анализ конструктивных решений усиления изгибаемых железобетонных элементов при помощи систем внешнего армирования с предварительным напряжением // Материалы 70-й Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых «Актуальные проблемы современного строительства»: [в 3 ч.]. Ч. 2. СПб.: СПбГАСУ, 2017. С. 144–149.
6. Бадьин Г. М., Сычев С. А. Современные технологии строительства и реконструкции зданий. СПб.: БХВ-Петербург, 2013. 288 с.
7. Старовойтова И. А., Семенов А. Н., Зыкова Е. С., Хозин В. Г., Сулейманов А. М. Модифицированные клеевые связующие для систем внешнего армирования строительных конструкций. Ч. 1. Требования к клеям. Технологические характеристики // Строительные материалы. 2017. № 11. С. 50–54.
8. Сулейманов А. М., Зыкова Е. С., Старовойтова И. А., Семенов А. Н. Модифицированные клеевые связующие для систем внешнего армирования строительных конструкций. Ч. 2. Физико-механические характеристики клеев // Строительные материалы. 2017. № 12. С. 64–67.
9. Колчеданцев Л. М., Васин А. П., Осипенкова И. Г., Ступакова О. Г. Технологические основы монолитного бетона. Зимнее бетонирование / под ред. Л. М. Колчеданцева. СПб.: Лань, 2016. 280 с.
10. Пат. 67610 Российская Федерация, МПК E04G 23/02. Элемент усиления колонн / В. В. Теряник, А. В. Лу, А. Ю. Бирюков; Тольяттинский государственный университет. № 2007116504/22; заявл. 02.05.2007; опубл. 27.10.2007.
11. Лихачев В. Д. Трудоемкость как критерий оценки эффективности технических и технологических решений // Материалы 72-й науч. конф. профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. 5–7 октября 2016 г.: [в 3 ч.]. Ч. I. Архитектура и строительство. СПб.: СПбГАСУ, 2016. С. 108–111.
12. Гуцыкова С. В. Метод экспертных оценок. Теория и практика. М.: Когито-Центр, 2011. 144 с.

References

1. Golovina S., Oblasov Yu. The architecture and artistic features of high-rise buildings in the USSR and the United States of America during the first half of the twentieth century. *High-Rise Construction 2017. E3S Web of Conferences*, 2018, vol. 33, iss. 01032, 18 p.
2. Tilinin Yu. I. *Organizatsiya i tekhnologiya proizvodstva rabot pri rekonstruktsii zhilykh kirpichnykh zdaniy istoricheskogo tsentra Sankt-Peterburga* [Organization and technology of work production at reconstruction of residential brick buildings in the historic centre of Saint Petersburg]. *Trudy mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Sovremennye napravleniya razvitiya tekhnologii, organizatsii i ekonomiki stroitel'stva»* [Proc. of the interuniversity sci. and pract. conf. "Modern directions of development of technology, organization and economy of construction"]. Ed. by Biryukov A. N. St. Petersburg, VI (IT) Publ., 2015, pp. 264–270.
3. Yudina A. F. *Rekonstruktsiya i tekhnicheskaya restavratsiya zdaniy i sooruzheniy* [Reconstruction and technical renovation of buildings and structures]. 6-th ed., revised. Moscow, Akademiya Publ., 2019, 320 p.
4. Kolchedantsev L. M., Zubov N. A., Roshchupkin N. P., Kolchedantsev A. L. *Konstruktivno-tekhnologicheskie resheniya sborno-monolitnogo zdaniya ekonomicheskogo klassa* [Structural and technological design solutions of precast-monolithic building of economic class]. *Stroitel'nye materialy – Building materials*, 2011, no. 3, pp. 37–39.
5. Denisova A. D., Shekhovtsov A. S. *Analiz konstruktivnykh resheniy usileniya izgibaemykh zhelezobetonnykh ehlementov pri pomoshchi sistem vneshnego armirovaniya s predvaritel'nym napryazheniem* [Analysis of design solutions for strengthening the flexible reinforced concrete elements using external reinforcement with pre-stress]. *Trudy 70-y Vseros. nauch.-prakt. konf. studentov, aspirantov i molodykh «Aktual'nye problemy sovremennogo stroitel'stva»* [Proc. of the 70-th All-Russia sci.-pract. conf. of students, postgraduates and young scientists "Actual problems of modern construction"]. In 3 Parts. Pt. 2. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2017, pp. 144–149.
6. Bad'in G. M., Sychev S. A. *Sovremennye tekhnologii stroitel'stva i rekonstruktsii zdaniy* [Modern technologies of construction and reconstruction of buildings]. St. Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2013, 288 p.
7. Starovoytova I. A., et al. *Modifitsirovannye kleeveye svyazuyushchie dlya sistem vneshnego armirovaniya stroitel'nykh konstruktsey. Ch. 1. Trebovaniya k kleyam. Tekhnologicheskie kharakteristiki* [Modified adhesive binder systems for the external reinforcement of building structures. Pt. 1. Requirements for adhesives. Technological characteristics]. *Stroitel'nye materialy – Building materials*, 2017, no. 11, pp. 50–54.
8. Suleymanov A. M., Zykova E. S., Starovoytova I. A., Semenov A. N. *Modifitsirovannye kleeveye svyazuyushchie dlya sistem vneshnego armirovaniya stroitel'nykh konstruktsey. Ch. 2. Fiziko-mekhanicheskie kharakteristiki kleev* [Modified adhesive binder systems for the external reinforcement of building structures. Part 2. Physical and mechanical characteristics of adhesives]. *Stroitel'nye materialy – Building materials*, 2017, no. 12, pp. 64–67.
9. Kolchedantsev L. M., Vasin A. P., Osipenkova I. G., Stupakova O. G. *Tekhnologicheskie osnovy monolitnogo betona. Zimnee betonirovanie* [Technological basics of monolithic concrete. Winter concreting]. Ed. by Kolchedantsev L. M. Moscow, St. Petersburg, Lan Publ., 2016, 280 p.
10. Teryanik V. V., Lu A. V., Biryukov A. Yu. *Ehlement usileniya kolonn* [The reinforcement element of columns]. Patent RF, no. 67610, 2007.
11. Likhachev V. D. *Trudoemkost' kak kriteriy otsenki ehffektivnosti tekhnicheskikh i tekhnologicheskikh resheniy* [Labor intensity as a criterion for evaluating the effectiveness of technical and technological solutions]. *Trudy 72-y nauch. konf. professorov, prepodavateley, nauchnykh rabotnikov, inzhenerov i aspirantov universiteta, 5–7 oktyabrya 2016 g.* [Proc. of the 72-nd sci. conf. of professors, teachers, researchers, engineers and graduate students of the University, October 5–7, 2016]. In 3 Parts. Pt. I. *Arkhitektura i stroitel'stvo – Architecture and construction*, St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2016, pp. 108–111.
12. Gutsykova S. V. *Metod ehkspertnykh otsenok. Teoriya i praktika* [Method of expert assessments. Theory and practice]. Moscow, Kogito-Tsentr Publ., 2011, 144 p.