

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 624.012.45:658.011.46

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ ВИБРОПРЕССОВАННЫХ БЕТОННЫХ КАМНЕЙ

канд. техн. наук, доц. Ю.В. ПОПКОВ, В.В. ГРИНЁВ, В.Н. СТАХЕЙКО, С.В. ЛЯШКОВ  
(Полоцкий государственный университет)

*Представлен анализ технико-экономической эффективности практического применения сжатых комплексных сборно-монолитных железобетонных конструкций на основе вибропрессованных бетонных камней. В основу методики определения эффективности положен функционально-стоимостной анализ производства, позволяющий определить экономическую целесообразность варианта нововведения.*

*Технико-экономический анализ использования в практике строительства конструкций колонн с применением бетонных вибропрессованных камней показал их экономическую целесообразность в сравнении с колоннами из армокаменной кирпичной кладки и монолитного железобетона. Внедрение в практику строительства рассматриваемых конструкций позволяет снизить себестоимость продукции на 30...35 % и более, оптимизировать его потребительские свойства в соответствии с современными требованиями по темпам строительства и энергосбережению.*

**Введение.** Развитие новых технологий привело к тому, что экономический рост определяется той долей продукции, которая содержит прогрессивные знания и современные решения. Этот процесс характеризуется как переход от индустриальной экономики к экономике инновационных или высоких технологий [7].

В практике строительства объектов различного назначения имеют широкое распространение стеновые бетонные камни. В Республике Беларусь наметилась тенденция все большего развития производства стеновых бетонных изделий по технологии вибропрессования. Производство таких стеновых изделий дешевле по сравнению с производством керамического кирпича. Конструктивные разработки несущих элементов зданий из бетонных камней классифицируются наряду со сборными железобетонными системами как «малый» сборный бетон.

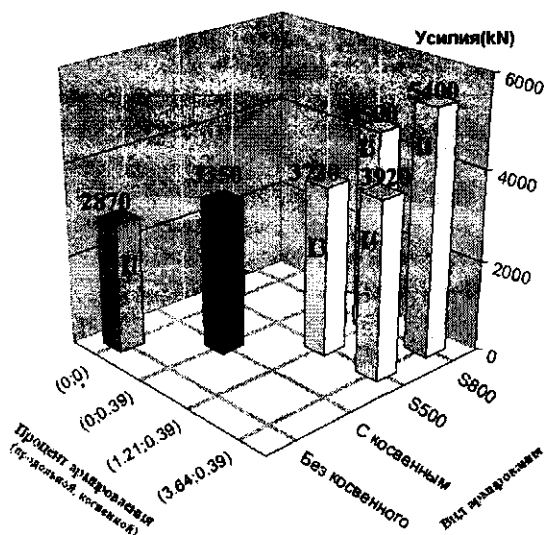
Высокие физико-механические характеристики вибропрессованного бетона позволяют выпускать пустотные камни, имеющие ряд преимуществ перед традиционными стеновыми материалами. Существенное отличие, и в определенном смысле преимущество, вибропрессованных бетонных камней состоит в том, что они могут быть изготовлены с большим процентом пустотности. Эта особенность геометрии таких изделий позволяет создавать высокопрочную несущую конструкцию путем заполнения пустот монолитным бетоном или железобетоном. Полученная таким образом композиция представляет собой комплексную конструкцию [2, 8], компоненты которой при совместном деформировании под воздействием внешней нагрузки значительно отличаются по структурным и механическим характеристикам.

В нормативных документах не содержится необходимых сведений для проектирования комплексных конструкций с использованием пустотных камней, что свидетельствует о том, что вопросы их прочности мало изучены. Отсутствие достаточной опытно-экспериментальной, нормативной базы проектирования и анализа экономической эффективности использования комплексных сборно-монолитных бетонных и железобетонных конструкций на основе вибропрессованных пустотных камней сдерживает развитие этого направления в строительстве.

**Основная часть.** С целью разработки предложений к расчету прочности комплексных сборно-монолитных железобетонных конструкций, содержащих вибропрессованные бетонные камни, в Полоцком университете проведены экспериментально-теоретические исследования образцов колонн с различным армированием, максимально приближенных к элементам натуральных конструкций по размерам сечений, схемам их армирования и составу бетона. В образцах колонн использовались пустотелые бетонные камни из мелкозернистого бетона, изготовленные вибропрессованием по технологии «Бессер». Полученные экспериментальные данные (рисунок) позволили установить существенные особенности их напряженно-деформированного состояния и факторы, влияющие на прочность. Разработаны предложения к расчету прочности рассматриваемых конструкций с использованием диаграмм деформирования кладки, бетона заполнения и арматуры [3 – 5, 9 – 11]. Задача исследования состояла в анализе технико-экономической

эффективности практического применения сжатых комплексных железобетонных конструкций на основе вибропрессованных бетонных камней.

В анализе сравнения вариантов использованы теоретические основы, изложенные в работах В.В. Беренса, В.П. Лукина, О.М. Никулиной, В.Я. Хрипача и др. [1, 6, 7, 12]. Любое нововведение подвергается комплексному технико-экономическому анализу на целесообразность его внедрения. Анализ осуществлялся через отбор, расчет и сравнение системы показателей по альтернативным проектам. Комплексный технико-экономический анализ завершается экономическим анализом, который позволяет сделать объективный обобщающий вывод о целесообразности применения (внедрения) проекта нововведения. Величина экономического эффекта от внедрения проекта нововведения и его сравнительная эффективность зависят от того, с каким другим вариантом проекта нововведение будет сравниваться. Главное условие сравнения вариантов проектов, базового и нового – сопоставимость вариантов, которая достигается одинаковостью основных функций на стадии применения проекта.



Прочность образцов с различным армированием

Практическая значимость и технико-экономическая оценка применения комплексных сжатых железобетонных конструкций рассмотрены на примере изготовления колонн высотой 3 м в различных вариантах их исполнения (табл. 1). В качестве варианта нововведения рассматривается комплексная железобетонная колонна на основе бетонных камней. В базовых вариантах представлены проекты устройства монолитной железобетонной колонны с обеспечением условия сопоставимости по несущей способности (вариант 1) и по габаритным размерам (вариант 2). Базовый вариант 3 предполагает устройство армокаменной колонны с сетчатым армированием, параметры которой выбраны из условия обеспечения сопоставимости ее по несущей способности.

Преимущества и недостатки нового варианта устройства колонн со стороны качественного анализа выражаются представленными схемами сечений конструкций нового и базовых вариантов (см. табл. 1); в данной работе не являются объектом исследования. Можно с достаточной уверенностью утверждать, что они носят позитивный характер для варианта проекта нововведения, что подкрепляется оценкой экономического анализа – оценкой экономического эффекта.

Экономический эффект от применения проекта нововведения в нашем случае может проявляться в нескольких сферах:

- в подготовительном процессе;
- в процессе производства;
- в процессе эксплуатации;
- в процессе ликвидации.

Общий экономический эффект выражается в виде суммы экономических эффектов в вышеперечисленных сферах жизненного цикла нововведения:

$$Э_{общ} = Э_{подг} + Э_{пр} + Э_{эксп} + Э_{лик}$$

где  $Э_{подг}$  – экономический эффект, достигаемый в подготовительном процессе;  $Э_{пр}$  – экономический эффект в процессе производства;  $Э_{эксп}$  – экономический эффект в процессе эксплуатации;  $Э_{лик}$  – экономический эффект в процессе ликвидации.

Таблица 1

Технические характеристики рассматриваемых вариантов исполнения колонн

Схема сечений	A × B, мм	Компоненты состава сечений	Расчетная несущая способность, кН
<p><b>Вариант нововведения</b></p>	390 × 390	1 – камень бетонный на цементно-песчаном растворе М100; 2 – бетон С25/30; 3 – продольная арматура 4Ø 16 S500; 4 – поперечная арматура 4Ø 5 S500	2750
<p><b>Базовый вариант 1 сопоставимость по несущей способности</b></p>	350 × 350	1 – бетон С25/30; 2 – продольная арматура 4Ø 16 S500; 3 – поперечная арматура 4Ø 5 S500	2750
<p><b>Базовый вариант 2 сопоставимость по объему</b></p>	390 × 390	1 – бетон С25/30; 2 – продольная арматура 4Ø 16 S500; 3 – поперечная арматура 4Ø 5 S500	3550
<p><b>Базовый вариант 3 сопоставимость по несущей способности</b></p>	900 × 900	1 – кирпичная кладка керамическим полнотелым кирпичом М150 на цементно-песчаном растворе М100; 2 – поперечное армирование сетками из 4Ø 5 S500 через 1 ряд кладки	2750

Экономический эффект в подготовительном процессе будет проявляться в снижении (увеличении) транспортно-заготовительских расходов по доставке компонентов строительных материалов и их комплектов, а также необходимых технических средств для устройства колонн по сравниваемым вариантам на объект строительства от оптово-заготовительных организаций.

В случае, когда транспортно-заготовительские расходы ничтожно малы по сравнению со сметной стоимостью возведения колонн (например, менее 1 %), этими затратами в дальнейшем расчете экономического эффекта следует пренебречь.

В нашем случае оценка транспортных затрат приводится в локальных сметах, выполненных в сметной интегрированной системе СiС ред. 5.1, на устройство колонн по всем четырем вариантам сравнения. Поскольку для всех вариантов устройства колонн применяются одни и те же машины (например, автомобильные краны), то отпадает необходимость в расчете экономического эффекта от их применения.

Экономический эффект в подготовительном процессе в ценах 1991 года составит:

а) для сравнения варианта нововведения с первым вариантом:

$$\mathcal{E}_{подр1} = 2 - 1 = 1 \text{ руб.};$$

б) для сравнения варианта нововведения со вторым вариантом:

$$\mathcal{E}_{подр2} = 2 - 2 = 0 \text{ руб.};$$

в) для сравнения варианта нововведения с третьим вариантом:

$$\mathcal{E}_{подр3} = 2 - 29 = -27 \text{ руб.}$$

Экономический эффект в процессе производства проявляется через технологию и организацию устройства колонн в четырех вариантах исполнения.

Технологический аспект проявляется в изменении затрат на возведение одной колонны двумя различными способами: 1) базовым – «старым»; 2) предлагаемым – «новым».

Базовый способ имеет два варианта сопоставимости: по несущей способности и по площади сечения, а следовательно и по объему.

Экономический эффект в этом случае равен

$$\mathcal{E}_{nm} = \beta \cdot \varphi \cdot (Z_1 - Z_2) \cdot A,$$

где  $\beta$  – коэффициент учета изменения качественных параметров сравниваемых вариантов (полезной площади);  $\varphi$  – коэффициент изменения срока службы новой строительной конструкции по сравнению с базовым вариантом;  $A$  – годовой объем строительно-монтажных работ с применением новых строительных конструкций в натуральных единицах;  $Z_1, Z_2$  – приведенные затраты по вариантам.

Экономический эффект в процессе производства:

- от замены первого базового варианта на нововведение:

$$\mathcal{E}_{nm1} = \beta_{11} \cdot \varphi_1 \cdot (Z_2 - Z_1) \cdot A_1;$$

- от замены второго базового варианта на нововведение:

$$\mathcal{E}_{nm2} = \beta_{21} \cdot \varphi_2 \cdot (Z_3 - Z_1) \cdot A_1;$$

- от замены третьего базового варианта на нововведение:

$$\mathcal{E}_{nm3} = \beta_{31} \cdot \varphi_3 \cdot (Z_4 - Z_1) \cdot A_1,$$

где  $\beta_{11} = \beta_2/\beta_1$  – отношение качественных показателей нового варианта к базовому.

В нашем случае это отношение полезной площади здания, построенного с применением новых колонн, к полезной площади такого же здания с применением базового (второго) варианта.

Разница в площади сечения новой колонны и колонны базового варианта сказывается на уменьшении полезной площади здания. Эта разница составляет  $0,35 \times 0,35 - 0,39 \times 0,39 = -0,0296 \text{ м}^2$ . На каждые 100 колонн  $-2,96 \text{ м}^2$ .

В случае, когда на каждую колонну приходится порядка  $3 \times 3 = 9 \text{ м}^2$ , на 100 колонн –  $900 \text{ м}^2$ ,  $\beta_1 = (900 - 2,96)/900 = 0,99871$ .

Для  $\beta_{21} = \beta_3/\beta_1$  имеем одинаковые качественные показатели, т.е.  $\beta_{21} = 1$ .

Для  $\beta_{31} = \beta_4/\beta_1$ .

Разница в площади сечения новой колонны и колонны базового варианта, выполненной из кирпичной кладки, сказываются в сторону увеличения полезной площади здания. Эта разница составляет  $0,9 \times 0,9 - 0,39 \times 0,39 = 0,6579 \text{ м}^2$ . На каждые 100 колонн  $\beta_{31} = (900 + 65,79)/900 = 1,0731$ .

$\varphi_1 = (P_{11} + E_n)/(P_{21} + E_n)$ , так как срок службы и по новому, и по базовому вариантам одинаков и равен 50 годам, то  $\varphi_1 = 1$ ;  $A_1$  – годовой объем строительно-монтажных работ с применением новых

строительных конструкций в натуральных единицах. Так как все варианты оцениваются на одну конструкцию (колонну), то  $A_1 = 1$ ;  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$  – соответственно приведенные затраты по первому (новому), второму, третьему, четвертому (базовым) вариантам сравнения.

$$Z_i = (C_i + E_n K_i),$$

где  $Z_i$  – приведенные затраты по  $i$ -му варианту на единицу продукции (работ), руб.;  $C_i$  – себестоимость единицы продукции по  $i$ -му варианту, определяется как сумма прямых затрат и накладных расходов на основе составления локальных смет;  $K_i$  – удельные капитальные вложения в производственные фонды по  $i$ -му варианту, руб.;  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений в ценах 1991 года (принимается для нововведения – 0,15; для базового варианта – 0,12).

Для определения капитальных вложений производится расчет для вариантов: первого – второго, первого – третьего, первого – четвертого (табл. 2).

Таблица 2

Капитальные вложения вариантов исполнения колонн

Наименование	Инвентарная расчетная стоимость, тыс. руб.	Количество часов работы в году	Занятость машин на монтаже, машино-час				Капитальные вложения в основные фонды, руб.			
			вар. 1	вар. 2	вар. 3	вар. 4	вар. 1	вар. 2	вар. 3	вар. 4
Кран КБ-306	50,0	3200	–	3	3	2	–	47	47	31
Автобетононасос МЕСВО	32,0	2900	8	7	9	–	88	77	99	–
Итого							88	124	146	31

Таким образом,

$$\mathcal{E}_{nm1} = 0,99871 \cdot 1 \cdot (64 + 30 + 0,12 \cdot 124 - 68 - 14 - 0,15 \cdot 88) = 14 \text{ руб.};$$

$$\mathcal{E}_{nm2} = 1 \cdot 1 \cdot (77 + 38 + 0,12 \cdot 146 - 68 - 14 - 0,15 \cdot 88) = 37 \text{ руб.};$$

$$\mathcal{E}_{nm3} = 1,0731 \cdot (331 + 68 + 0,12 \cdot 31 - 68 - 14 - 0,15 \cdot 88) = 308 \text{ руб.}$$

Организационный аспект проявляется в численности и составе рабочих-исполнителей, трудоемкости возведения колонн по вариантам проекта и, как следствие, в продолжительности устройства колонн по вариантам, поэтому сказывается на этапе эксплуатации.

Экономический эффект в процессе эксплуатации проявляется через изменение продолжительности устройства колонн и ведет к сокращению (увеличению) срока строительства объекта, на котором эти колонны используются. Появится опосредованный экономический эффект за счет досрочного ввода объекта строительства в действие. На стадии предварительного расчета и при отсутствии исходных данных о прибыли от функционирования объекта строительства допускается определение эффекта от досрочного (сверхсрочного) ввода в эксплуатацию ( $\mathcal{E}_{ns}$ ) по формулам:

$$\mathcal{E}_{ns1} = E_n K \cdot (T_2 - T_1);$$

$$\mathcal{E}_{ns2} = E_n K \cdot (T_3 - T_1);$$

$$\mathcal{E}_{ns3} = E_n K \cdot (T_4 - T_1),$$

где  $E_n$  – ожидаемая эффективность создаваемого производства, руб./руб., в год;  $K$  – величина капитала, инвестируемого в производство (сметная стоимость объекта строительства), руб.;  $T_1, T_2, T_3$  и  $T_4$  – продолжительность строительства по вариантам.

Продолжительность строительства по сравниваемым вариантам зависит от возводимого объекта: чем больше на объекте колонн, тем больше продолжительность строительства и тем выше экономический эффект.

Представим, что на исследуемом объекте строительства жилого пятиэтажного дома с тремя подъездами имеется как минимум 380 колонн с подходящими параметрами. Минимально возможный эффект на каждую тысячу рублей капитальных вложений в ценах 1991 года, приходящийся на одну колонну, составит (при численности бригады строителей, возводящих колонны в 10 человек) 7 руб., 14 руб. и -20 руб. в расчете по формулам:

- для сравнения нового варианта с первым базовым:

$$\mathcal{E}_{нн1} = 0,15 \cdot 1000 \cdot 380 \cdot (7 + 3 - 8) / 10 \cdot 210 \cdot 8 = 7 \text{ руб.};$$

- для сравнения нового варианта со вторым базовым:

$$\mathcal{E}_{нн2} = 0,15 \cdot 1000 \cdot 380 \cdot (9 + 3 - 8) / 10 \cdot 210 \cdot 8 = 14 \text{ руб.};$$

- для сравнения нового варианта с третьим базовым:

$$\mathcal{E}_{нн3} = 0,15 \cdot 1000 \cdot 380 \cdot (2 - 8) / 10 \cdot 210 \cdot 8 = -20 \text{ руб.},$$

где 210 – усредненное значение количества рабочих дней в году при пятидневной рабочей неделе; 8 – продолжительность рабочей смены.

Экономический эффект в процессе ликвидации колонн проявляется вследствие демонтажа колонн по различным вариантам их конструктивного устройства в виде разницы между себестоимостью их демонтажа.

Экономический эффект в процессе ликвидации новой колонны при демонтаже по сравнению с демонтажем колонн базового первого, второго и третьего варианта исчисляется по соответствующим формулам:

$$\mathcal{E}_{нн1} = 20 + 18 - 8 - 8 = 22 \text{ руб.};$$

$$\mathcal{E}_{нн2} = 25 + 23 - 8 - 8 = 32 \text{ руб.};$$

$$\mathcal{E}_{нн3} = 57 + 54 + 1 - 8 - 8 = 96 \text{ руб.}$$

Таким образом, общий экономический эффект составит:

- при сравнении нововведения с первым базовым вариантом:

$$\mathcal{E}_{общ1} = \mathcal{E}_{подг1} + \mathcal{E}_{нн1} + \mathcal{E}_{нн1} + \mathcal{E}_{нн1} = 1 + 14 + 7 + 22 = 44 \text{ руб.};$$

- при сравнении нововведения со вторым базовым вариантом:

$$\mathcal{E}_{общ2} = \mathcal{E}_{подг2} + \mathcal{E}_{нн2} + \mathcal{E}_{нн2} + \mathcal{E}_{нн2} = 0 + 37 + 14 + 32 = 83 \text{ руб.};$$

- при сравнении нововведения с третьим базовым вариантом:

$$\mathcal{E}_{общ3} = \mathcal{E}_{подг3} + \mathcal{E}_{нн3} + \mathcal{E}_{нн3} + \mathcal{E}_{нн3} = -27 + 308 - 20 + 96 = 357 \text{ руб.}$$

Применение нового варианта конструктивно-технологического устройства колонны на основе вибропрессованных бетонных камней является экономически целесообразным. В ценах марта 2008 года экономия на каждую колонну составит:

- при сравнении нововведения с первым базовым вариантом:

$$\mathcal{E}_{общ1} = 44 \cdot 1793,773 = 78\,926 \text{ руб.};$$

- при сравнении нововведения со вторым базовым вариантом:

$$\mathcal{E}_{общ2} = 83 \cdot 1793,773 = 148\,883 \text{ руб.};$$

- при сравнении нововведения с третьим базовым вариантом:

$$\mathcal{E}_{общ3} = 357 \cdot 1793,773 = 640\,377 \text{ руб.},$$

где 1793,773 – общий индекс изменения стоимости строительно-монтажных работ по состоянию на I марта 2008 года.

**Заключение.** Техничко-экономический анализ использования в практике строительства конструкций колонн с применением бетонных вибропрессованных камней показал их экономическую целесообразность в сравнении с колоннами из армокаменной кирпичной кладки и монолитного железобетона. При этом стоимость сборно-монолитной комплексной колонны на 30...35 % меньше монолитной железобетонной и в 4,5 раза меньше армокаменной, что позволяет снизить себестоимость строительства и рекомендовать их широкое внедрение в практику проектирования сжатых элементов зданий и сооружений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Беренс, В.В. Руководство по оценке эффективности инвестиций / В.В. Беренс. – М.: Интерэкспорт, ИНФРА-М, 1996. – 267 с.
2. Бондаренко, В.М. Расчет эффективных многокомпонентных конструкций / В.М. Бондаренко, А.Л. Шагин. – М.: Стройиздат, 1987. – 123 с.
3. Гринев, В.В. Уровни микротрещинообразований сжатых комплексных сборно-монолитных конструкций на основе бетонных вибропрессованных камней / В.В. Гринев, Ю.В. Попков, С.В. Ляшков // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Прикладные науки. – 2007. – № 6. – С. 42 – 46.
4. Гринев, В.В. Сжатые сборно-монолитные конструкции на основе бетонных вибропрессованных пустотных камней / В.В. Гринев, Ю.В. Попков // Строительная наука и техника. – 2006. – № 4(7). – С. 52 – 57.
5. Гринев, В.В. Анализ напряженно-деформированного состояния при сжатии кладки из вибропрессованных бетонных, пустотных камней с использованием компьютерного моделирования / В.В. Гринев // Ресурсоэкономные материалы, конструкции, здания и сооружения: сб. ст. посв. 85-летию Нац. ун-та водного хозяйства и природопользования, Ровно (Украина), 2007. – № 15. – С. 142 – 149.
6. Инвестиционное проектирование: практическое руководство по экономическому обоснованию инвестиционных проектов. – М.: Финстатинформ, 1995. – 205 с.
7. Лукин, В.П. Повышение экономической эффективности производства в промышленности строительных материалов на основе ФСА / В.П. Лукин, О.М. Никулина // Проблемы строительного и дорожного комплексов: сб. ст. II междунар. науч.- практ. конф., Брянск (Рос. Федерация), 11 – 13 нояб. 2003 г. – Брянск: БГИТА, 2004. – С. 495 – 500.
8. Пастернак, П.Л. Комплексные конструкции / П.Л. Пастернак. – М.: Стройвоенмориздат, 1948. – 88 с.
9. Попков, Ю.В. Прочность сжатых железобетонных комплексных конструкций на основе вибропрессованных бетонных камней / Ю.В. Попков, В.В. Гринев // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Прикладные науки. – 2006. – № 9. – С. 8 – 16.
10. Попков, Ю.В. Прочность сжатых сборно-монолитных конструкций на основе бетонных вибропрессованных пустотных камней / Ю.В. Попков, В.В. Гринев // Современные проекты, технологии и материалы для строительного, дорожного комплексов и жилищно-коммунального хозяйства: сб. ст. IV междунар. юбил. науч.-практ. конф., посв. 75-летию БГИТА и 45-летию строительного факультета, Брянск (Рос. Федерация), 13 – 14 апр. 2006 г. – Брянск: БГИТА, 2006. – С. 215 – 220.
11. Попков, Ю.В. Определение прочности сжатых комплексных конструкций на основе бетонных вибропрессованных пустотных камней / Ю.В. Попков, В.В. Гринев // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Респ. Беларусь: сб. ст. XIV междунар. науч.-практ. семинара; под ред. Т.М. Пецольда, Н.П. Блещика, Э.И. Батыяновского. – Минск: БНТУ, 2006. – Т. 1 – С. 135 – 140.
12. Экономика предприятия / под ред. В.Я. Хрипача. – Минск: Экономпресс, 2001. – 324 с.

*Поступила 12.05.2008*