

УДК 69.003.13

В. Н. Стукач, кандидат технических наук

А. В. Зайцев, магистрант

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

## РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА НА ОСНОВЕ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЖАТЫХ И ВНЕЦЕНТРЕННО-СЖАТЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО КРИТЕРИЮ ГИБКОСТИ

В данной статье рассматривается проектирование сжатых и внецентренно-сжатых элементов строительных конструкций с учетом оптимальной гибкости. Произведен расчет экономического эффекта с учетом оптимизации гибкости стержней. Рассчитан годовой экономический эффект на примере промышленного здания с металлическим каркасом.

**Ключевые слова:** устойчивость сжатых элементов; строительные конструкции; проектирование; оптимальная гибкость; материальные ресурсы; экономический эффект.

### Введение

В настоящее время с использованием материальных ресурсов связано производство любого вида продукции (оказание услуг, выполнение работ). Часто затраты на материальные ресурсы могут составлять до 80 % затрат на производство продукции, т. е. они служат основой и являются необходимым условием выполнения программы выпуска и реализации продукции (работ, услуг), снижения ее себестоимости. Поэтому очень важное значение имеет не только комплексное использование более дешевых и эффективных материальных ресурсов, но и их рациональный расход в целях улучшения финансового положения компании.

### Оптимизация проектирования сжатых и внецентренно-сжатых строительных конструкций по критерию гибкости

В строительной сфере экономии материала можно добиться путем уменьшения некоторых габаритов конструкций и элементов, но при этом обеспечивая все необходимые условия прочности и устойчивости. Изменение длины конструкции зачастую невозможно в отличие от площади поперечного сечения, уменьшение которого выгодно не только с экономической, но и с эстетической точки зрения [1].

Необходимая площадь поперечных сечений  $A_1$  сжатых конструкций из любых материалов определяется, как правило, по условию их устойчивости с использованием формулы

$$A_1 \geq \frac{N}{m\varphi R_c}, \quad (1)$$

где  $N$  – расчетное значение сжимающей силы;  $m$  – коэффициент условий работы;  $\varphi$  – коэффициент продольного изгиба, принимаемый по таблицам или вычисляемый по специальным формулам в зависимости от принимаемой гибкости  $\lambda$  сжатого элемента, величины эксцентриситета и вида используемого материала;  $R_c$  – расчетное сопротивление материала сжатого элемента.

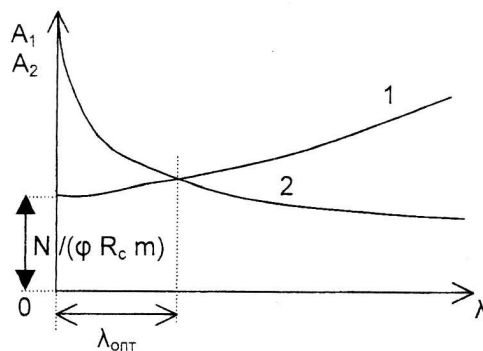
Причем рациональное значение гибкости определяется многошаговым методом последовательных приближений, т. к. используется одно уравнение для определения  $A_1$  и  $\varphi$  [2].

П. М. Саламахин в учебном пособии «Проектирование мостовых и строительных конструкций» [3] приводит обоснование существования оптимальной гибкости сжатых элементов, при которой площадь их поперечного сечения имеет минимальное значение, а также дает способ ее определения. Автор предлагает метод прямого получения рационального значения гибкости сжатых элементов с исключением последовательных приближений. Это удалось сделать за счет введения и использования второго уравнения, которое учитывает связь площади поперечного сечения и гибкости сжимаемого элемента по формуле

$$A_2 \geq KB_1^2 = K \left( \frac{I_0}{\alpha \lambda_{\max}} \right)^2 = \frac{K}{\alpha^2} \left( \frac{I_0}{\lambda_{\max}} \right)^2 = \beta \left( \frac{I_0}{\lambda_{\max}} \right)^2, \quad (2)$$

где  $\beta = K/\alpha^2$ ;  $K$  – коэффициент, учитывающий связь площади поперечного сечения элемента произвольной формы с квадратом его генерального размера;  $B$  – генеральный размер элемента (высота, ширина или диаметр);  $I_0$  – момент инерции;  $\alpha$  – коэффициент, связывающий минимальный радиус инерции  $r_{\min}$  с его генеральным размером  $B$ ;  $\lambda_{\max}$  – наибольшая гибкость стержня.

Из рисунка видно, что гибкость в точке пересечения двух графиков является оптимальной, т. к. площадь поперечного сечения сжатого элемента удовлетворяет условиям (1) и (2) и имеет минимальное значение.



Графики зависимости площади поперечного сечения сжатого элемента от его гибкости по условиям: 1 – общая устойчивость элемента вне связи с формой его поперечного сечения; 2 – общая и местная устойчивость элемента с учетом формы его поперечного сечения

Выполнив ряд необходимых преобразований после введения второго уравнения, получили, что оптимальная гибкость элемента не может назначаться произвольно, т. к. зависит от входящих в нее  $N$ ,  $I_0$ ,  $R$ ,  $E$ . Представим для удобства определения оптимальной гибкости безразмерную зависимость в виде равенства:

$$\frac{\lambda^2}{\varphi(\lambda)} = \frac{\beta I_0^2 m R_c}{N}. \quad (3)$$

В итоге получим, что оптимальное значение гибкости зависит от безразмерного параметра  $\Pi$ , представленного по формуле

$$\Pi = \frac{\beta I_0^2 m R_c}{N}. \quad (4)$$

Благодаря этому равенству видим, что безразмерный параметр  $\Pi$  учитывает все возможные усилия, действующие на элемент, а также их расчетные длины и различные конструктивные формы их поперечных сечений.

#### Расчет экономического эффекта

Благодаря проведенной оптимизации проектирования для наглядности найдем годовой экономический эффект, который рассчитывается путем сопоставления приведенных затрат по заменяемой (базовой) и новой технике по инструкции по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений СН 509-78 [4]. Расчет годового экономического эффекта  $\mathcal{E}$  от создания и использования новых строительных конструкций производится по формуле

$$\mathcal{E} = [(3_1 + 3_{c1})\varphi + \mathcal{E}_3 - (3_2 + 3_{c2})]A_2, \quad (5)$$

где  $3_1$  и  $3_2$  – приведенные затраты на заводское изготовление конструкций (деталей) с учетом стоимости транспортировки до строительной площадки по сравниваемым вариантам базовой и новой техники, в рублях на единицу измерения;  $3_{c1}$  и  $3_{c2}$  – приведенные затраты по возведению конструкций на стройплощадке (без учета стоимости заводского изготовления) по сравниваемым вариантам базовой и новой техники, в рублях на единицу измерения;  $\varphi$  – коэффициент изменения срока службы новой строительной конструкции по сравнению с базовым вариантом;  $\mathcal{E}_3$  – экономия в сфере эксплуатации конструкций за срок их службы определяется по формуле;  $A_2$  – годовой объем строительномонтажных работ с применением новых строительных конструкций в расчетном году, в натуральных единицах.

Качественные параметры сравниваемых вариантов, требуемые для экономического расчета от оптимизации проектирования сжатых и внецентренно-сжатых строительных конструкций по критерию гибкости:

– годовой объем;

- объем(масса) материала на одну строительную конструкцию;
- приведенные затраты на производство одной строительной конструкции;
- стоимость транспортировки строительной конструкции до строительной площадки;
- себестоимость строительномонтажных работ;
- удельные капитальные вложения на производственные фонды строительной организации;
- общий расход стали.

Затраты по эксплуатации и сроки службы сравниваемых вариантов приняты одинаковыми в данном случае, т. к. конструкции имеют одинаковые сроки службы и не отличаются по издержкам в сфере эксплуатации:  $\varphi = 1$ ;  $\mathcal{E}_3 = 0$ .

К капитальным вложениям для определения экономического эффекта использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений относятся единовременные затраты по их осуществлению [5], в том числе:

- а) стоимость всех видов строительных работ;
- б) стоимость работ по монтажу оборудования;
- в) стоимость технологического, энергетического, подъемно-транспортного, насосно-компрессорного и другого оборудования (как подлежащего монтажу, так и немонтируемого), предусмотренная в сметах на строительство;
- г) стоимость инструмента и инвентаря, включенная в сметы строок и зачисляемая в основные фонды;
- д) стоимость машин и оборудования, не входящая в сметы строок, если эти машины и оборудование приобретаются за счет капитальных вложений;
- е) прочие капитальные работы и затраты (в том числе затраты на проектно-изыскательские и буровые работы).

В нашем случае величиной капитальных вложений будет являться сметная стоимость, куда входят стоимость строительномонтажных работ, материалов, заработная плата основных рабочих, стоимость эксплуатации машин и оборудования, заработная плата машиниста, накладные расходы, а также другие расходы, входящие в состав прямых затрат.

При определении годового экономического эффекта необходимо обеспечить сопоставимость сравниваемых вариантов новой и базовой техники по всем показателям [6]. Это означает, что все составляющие при расчетах годового экономического эффекта (себестоимость, капитальные вложения, эксплуатационные издержки, объем производства и др.) необходимо привести к тождественным условиям их проявления, а также по получаемым результатам.

Требование сопоставимости касается, прежде всего, следующих показателей:

- состава продукции (работ), выполняемой с помощью проектируемой и базовой технологии;
- годового объема производства продукции (работы);
- качества продукции;
- времени проведения затрат и сроков получения результатов;

– социальных факторов производства и использования продукции, включая влияние на окружающую среду.

Например, необходимо построить здание, металлический каркас которого состоит из 50 колонн. При расчете традиционным способом для 3-метровой колонны необходим двутавр 30Б2 (многие типовые проекты устарели), а по новому расчету по опти-

мальной гибкости достаточно двутавра 30Б1. Поэтому изменение профиля позволяет снизить массу колонны с 109,8 до 98,7 кг и за счет этого уменьшить затраты на изготовление, монтаж и транспортировку колонн. На основе расчетов составлены сметы [7], с помощью которых найдены все необходимые данные для расчета годового экономического эффекта, представленные в таблице.

#### Исходные данные для расчета экономической эффективности

№ п/п	Показатели	Единицы измерения	По традиционному расчету	По предложенному расчету
1	Годовой объем (всего надо 50 шт. колонн)	т	5,49	4,94
2	Объем на одну колонну	т	0,1098	0,0988
3	Приведенные затраты на производство (рыночная цена: 59500 руб/т)	руб/шт.	6533,1	5878,6
4	Стоимость транспортировки колонны до строительной площадки (5 % от рыночной цены)	руб/шт.	326,6	293,9
5	Собстоимость СМР (на 2,44 % меньше сметной стоимости)	руб/шт.	8456,5	7647,73
6	Удельные капитальные вложения на производственные фонды строительной организации (сметная стоимость)	руб/шт.	8668	7839
7	Общий расход стали	т	5,49	4,94

$$Z_{c1} = 8456,5 + 0,15 \cdot 8668 = 9756,7 \text{ руб/шт.}$$

$$Z_{c2} = 7647,73 + 0,15 \cdot 7839 = 8823,58 \text{ руб/шт.}$$

$\varphi = 1$ ,  $\Theta_3 = 0$ , т. к. конструкции имеют одинаковые сроки службы и не отличаются по издержкам в сфере эксплуатации:

$$\Theta_3 = \left[ \frac{(6533,1 + 9756,7 + 326,655) \cdot 1 -}{-(5878,6 + 8823,58 + 293,93)} \right] \cdot 1 =$$

$$= 1620,4 \text{ руб/шт.}$$

$$\Theta_{\text{годовой}} = \frac{1620,4 \text{ руб.}}{0,0988 \text{ т}} \cdot 4,94 \text{ т} = 81020 \text{ руб.}$$

Таким образом, путем нахождения оптимальной гибкости был рассчитан годовой экономический эффект от уменьшения поперечного сечения металлической колонны здания, при этом обеспечивая все необходимые условия прочности и устойчивости сжатой конструкции. Экономия материала отразится на монтаже, транспортировке и в дальнейшей эксплуатации.

#### Библиографические ссылки

1. Тарануха Н. Л., Папунидзе П. Н. Комплексная оценка и выбор проектных решений в строительстве : моногр. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2009. – 204 с.

2. Стукач В. Н. Расчет элементов стальных конструкций. Ч. I. Материалы, сортамент, основы расчетов элементов и соединений стальных конструкций : справ. пособие. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2013. – 128 с.

3. Саламахин П. М. Проектирование мостовых и строительных конструкций : учеб. пособие. – М : КноРус, 2013. – 404 с.

4. СН 509–78. Инструкция по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений [от 13 декабря 1978 г. № 229] // БУДСТАНДАРТ : сервис документов. – URL: [http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id\\_doc=5521](http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=5521) (дата обращения: 05.04.2018).

5. МРР-3.2.23–97. Методические рекомендации по экономическому обоснованию применения конструктивных элементов и технологий, обеспечивающих повышение эффективности инвестиций за счет снижения эксплуатационных затрат, повышения долговечности зданий и сооружений, сокращения продолжительности строительства и других эффективных решений при повышении единовременных затрат при проектировании и строительстве и одновременном росте сметной стоимости. – М., 1997.

6. Асаул А. Н., Грахов В. П. Интегративное управление в инвестиционно-строительной сфере / под ред. д-ра экон. наук, проф. А. Н. Асаула. – СПб. : Гуманистика, 2007. – 248 с.

7. ГЭСН 81-02-09–2001 Государственные элементные сметные нормы на строительные работы. Сборник № 9. Строительные металлические конструкции. – М., 2008.

V. N. Stukach, PhD in Engineering  
A. V. Zajcev, Master's Degree Student  
Kalashnikov Izhevsk State Technical University

#### CALCULATION OF THE ECONOMIC EFFECT BASED ON THE OPTIMIZATION OF DESIGNING COMPRESSED AND VNC-CONSTRUCTION CONSTRUCTIONS ON THE CRITERIA OF FLEXIBILITY

*The design of compressed and eccentrically-compressed elements of building structures, taking into account the optimal flexibility is considered in this article. The calculation of the economic effect is made taking into account the optimization of the flexibility of the rods. The annual economic effect is calculated on the example of an industrial building with a metal frame.*

**Keywords:** stability of compressed elements; building structures; design, optimal flexibility; material resources; economic effect.