

## СТЕНОВОЙ ТЕРМОБЛОК РАЦИОНАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Лугченко Е.И.

Харьковская национальная академия городского хозяйства

Гусаков В.Н.

Академия Архитектуры Украины

г. Харьков, Украина

**АНОТАЦІЯ:** Розглянуто стіновий блок спеціальної конструкції, внутрішня геометрія якого сформована за рахунок захованих вкладишів-порожниноутворювачів за допомогою алгоритму проектування конструкції, створеного з використанням методу адаптивної еволюції (МАЭ).

**АННОТАЦИЯ:** Рассматривается стеновой блок специальной конструкции, внутренняя геометрия которого формируется за счёт захованных вкладышей-пустотообразователей при помощи алгоритма проектирования конструкции, базирующегося на методе адаптивной эволюции (МАЭ).

**ABSTRACT:** A wall block of the special construction, internal geometry of which is formed due to hidden liners adding voids through the algorithm of planning of construction, being based on the method of adaptive evolution (MAE), is examined.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** вкладыш-пустотообразователь, метод адаптивной эволюции, предельная плотность энергии деформации.

В работе рассматривается стеновой блок специальной конструкции [1]. В качестве материала блока используется легкий бетон. В свою очередь внутренняя геометрия формируется за счёт захованных вкладышей. Подобная конструкторская идея имеет технологическую поддержку, выражающуюся в том, что захованный вкладыш одновременно оказывается пустообразователем с необходимой топологией. Кроме того, для конструкции блока формулируются следующие требования: масса блока не более 7 кг; класс бетона по прочности на сжатие не менее 7,5 МПа; сопротивление теплопередаче не ниже 3,5 м<sup>2</sup>°С/Вт; область применения – несущие (до пяти этажей) и самонесущие стены зданий, возводимые в обычных и сложных условиях строительства.

Блоки могут иметь различные размеры. Однако, наиболее целесообразно введение стандартного элемента. Его внешние размеры равны 40x20x20 (h) (рис. 1).

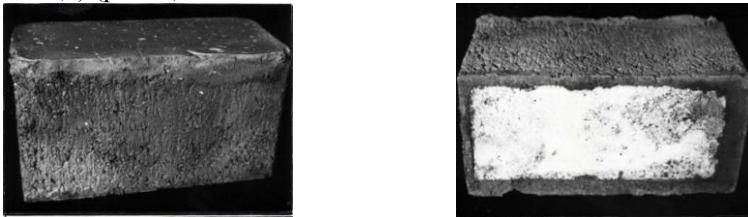


Рис. 1. Вид эффективного термоблока

Блок представляет собой ящик без крышки, заполненный пенополистиролом марки ПСБС. Материал блока – керамзитобетон. Форма внутренней полости блока определена с использованием энергетического подхода при помощи алгоритма формирования рациональной конструкции, предложенного в [2]. При построении алгоритма проектирования конструкции, базирующегося на методе адаптивной эволюции (МАЭ), существенным образом используется структурообразующая фундаментальная величина  $e_u$  – мера вязкости материала или предельная плотность энергии деформаций (ППЭД) [3, 4]. ППЭД зависит от: меры прочности, меры пластичности и вида напряженного состояния. Идеальное состояние системы – изоэнергетичность, то есть такое, при котором  $e \rightarrow \text{const}$ . В теоретическом плане представляет интерес установление распределения вещества в конструкции, при котором  $e = e_u$ , так как в этом случае достигается глобальный минимум расхода материала. Основой определения внутренних параметров системы будем считать принятие следующего положения:

$$dV' = \Phi(\mathfrak{Z})dV, \quad (1)$$

где  $V'$  – объём материала в изоэнергетическом состоянии;  
 $V$  – текущий объём;

$$\mathfrak{Z} = \frac{e}{e_u}, \quad e - \text{плотность потенциальной энергии деформаций (ПЭД);}$$

$e_u$  – нормируемое значение ПЭД.

Учитывая тот факт, что ППЭД не является постоянной величиной, а зависит от вида напряженного состояния, считается целесообразным для ее определения приближенный подход. В частности отметим, что вид напряженного или деформированного состояния весьма удобно учитывать с помощью параметров  $\chi_\sigma$  и  $\chi_\varepsilon$  Надаи-Лоде [4, 5]:

$$\chi_\varepsilon = \frac{2\varepsilon_2 - \varepsilon_1 - \varepsilon_3}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3}, \quad \varepsilon_1 \geq \varepsilon_2 \geq \varepsilon_3, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$  – главные линейные деформации.

Располагая индикаторными диаграммами для одноосных растяжения и сжатия, а также чистого сдвига определим в соответствии с методологией изложений в [3, 4, 5] частные ППЭД:

$$e_{bv} = \int_0^{\varepsilon_{bv}} \sigma_{bv}(\varepsilon_{bv}) d\varepsilon_{bv}, \quad (3)$$

где  $v = c \vee t \vee sh$  – индекс, последовательно принимаемый в зависимости от того, какая частная ППЭД подсчитывается в соответствии с индикаторными диаграммами сжатия, растяжения или сдвига;

$\varepsilon_{bv}$  – предельная деформативность;

$M$  – количество точек разбиения, принятое на соответствующих диаграммах.

В случае линейного и упругого деформирования материала типа бетон имеем [4]:

$$e_{bcu} = 0,5 \cdot R_b^2 E_b^{-1}; \quad e_{btu} = 0,5 \cdot R_{bt}^2 E_b^{-1}; \quad e_{bshu} \approx 0,625 \cdot R_{bt} R_b E_b^{-1}, \quad (4)$$

где  $E_b$  – модуль деформаций 1-го рода,

$R_b, R_{bt}$  – пределы прочности на сжатие и растяжение соответственно.

Обобщая приведенную информацию можно приближенно представить ППЭД в общем случае напряженно-деформированного состояния в виде:

$$e_u = \alpha_1 + \alpha_2 \chi_\varepsilon^2 + \alpha_3 \chi_\varepsilon^3. \quad (5)$$

Коэффициенты  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  определяются из условий:

$$\text{при } \chi_\varepsilon = -1; e_u = e_{btu}; \quad \text{при } \chi_\varepsilon = 1; e_u = e_{bcu}; \quad \text{при } \chi_\varepsilon = 0; e_u = e_{bshu}; \quad (6)$$

где частные ППЭД определяются выражениями (5).

В результате подстановки (5) в (6) получим:

$$e_u = 0,5 \chi_\varepsilon^2 [(\chi_\varepsilon + 1)e_{bcu} - (\chi_\varepsilon - 1)e_{btu}] - (1 - \chi_\varepsilon^2) e_{bshu}. \quad (7)$$

Данное выражение представляет собой критерий предельного состояния.

Построенный компилятор предполагает итерационное уточнение геометрических или (и) физико-механических параметров системы в соответствии с условием  $e \rightarrow e_u$ . При этом, на каждом его шаге (итерационного процесса) эксплуатируется метод конечных элементов, а эволюционная адаптация состоит в возможности учёта на  $i$ -ом шаге величин рассчитываемых параметров из любых предыдущих шагов (наследственность).

Искомые внутренние параметры влияют на конфигурацию и объем, и определяются на основании гипотетического выражения:

$$h^{i+1} = h^i (e^i e_u^{-1})^\gamma, \quad (8)$$

где  $h$  – соответствующий внутренний параметр, например, высота поперечного сечения;

$i$  – номер внутренней (текущей) итерации;

$\gamma$  – параметр адаптивной эволюции, при этом,  $\gamma \in [0,1]$  и определяется на основе вычислительного эксперимента [4, 5].

Общая процедура решения сформированной проблемы теперь представится в виде:

$$\begin{aligned} h_r^{m,n} \in [h_{\min}; h_{\max}] &\Rightarrow \{\delta^{m,n}\} = [R^{m,n}]^{-1} \{P^{m,n}\} \Rightarrow e_r^{m,n} = \\ &= A_r^{m,n} V_r^{-1} \Rightarrow h_r^{m,n+1} = (e_r^{m,n} e_u^{-1})^\gamma \cdot h_r^{m,n}, \end{aligned} \quad (9)$$

$$m = 1, 2, \dots, k_2; n = 1, 2, \dots, k_1$$

где  $R^{m,n}$  – матрица жесткости системы;

$\{\delta^{m,n}\}$  – вектор перемещений;

$\{P^{m,n}\}$  – вектор внешних сил;

$h_r$  – характерный размер  $r$ -го конечного элемента (внутренний параметр);

$A_r^{m,n}$  – потенциальная энергия деформаций  $r$ -го конечного элемента;

$V_r$  – объем  $r$ -го конечного элемента;

$h_{\min}; h_{\max}$  – известные постоянные;

$e_r^{m,n}$  – плотность потенциальной энергии деформаций в  $r$ -ом конечном элементе;

$k_1$  – число итераций внутреннего цикла; определяется в порядке счета до выполнения неравенства

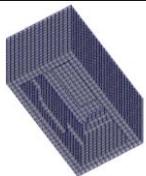
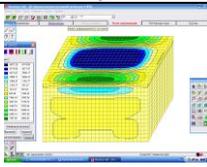
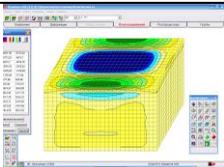
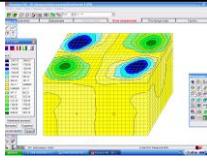
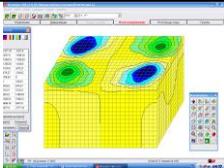
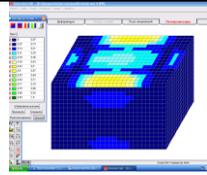
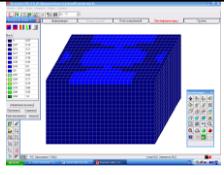
$$|V^{n+1} - V^n| / \min\{V^{n+1}; V^n\} \leq \mu, \quad (10)$$

где  $k_2$  – число итераций внешнего цикла;  $\mu$  – известная постоянная.

Из табл. 1 видно, что с каждой последующей итерацией, форма внутренней полости элемента изменяется. При этом, картина распределения плотности энергии деформации в элементе качественно меняется, приближаясь постепенно к однородной, что свидетельствует о том, что полученная по методике прямого проектирования конструкция блока максимально приближена к энергетически равнопрочной.

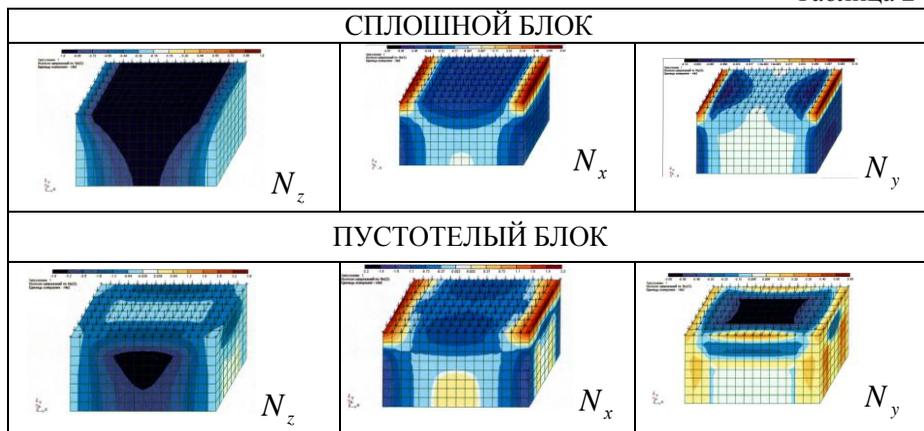
Выявление особенностей деформирования кладки из блоков предлагаемой конструкции проводились путём сопоставления напряжённо-деформированного состояния (НДС) сплошных и данных элементов, входящих в состав нормальной и аномальной кладок.

При помощи программного комплекса «ЛИРА» проведёно численное исследование НДС сплошного и предлагаемого пустотелого блока. Внешние размеры блоков 400x200x200 ( $h$ ) мм. Размер полости

ИТЕРАЦИЯ №126	ИТЕРАЦИЯ №235
	
	
	
	

350x150x170 (h) мм. Моделирование работы блока в составе кладки без аномалий осуществлялось следующим образом: блок нижней плоскостью опирается на сплошное упругое основание с коэффициентом постели  $30000 \text{ т/м}^3$ , боковые торцы защемлены. К верхней грани приложена равномерно распределённая по площади нагрузка интенсивностью  $1 \text{ т/м}^2$ . Упругое основание моделируется конечными элементами в виде упругих связей, помещённых в каждый узел расчётной схемы, принадлежащей плоскости  $Z = 0$ . Жёсткость введённых связей определена с учётом реальной грузовой площади. Результаты вычислений приведены в табл. 2.

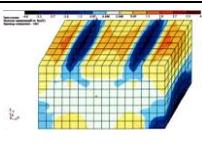
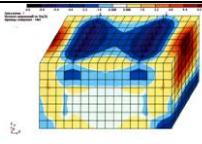
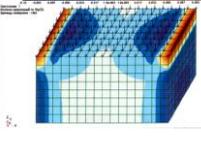
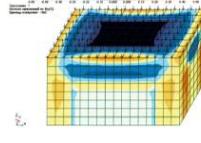
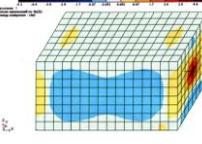
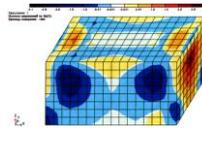
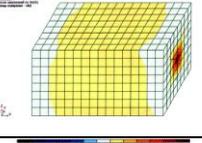
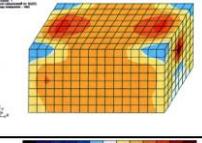
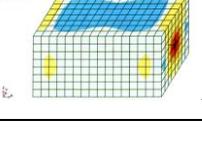
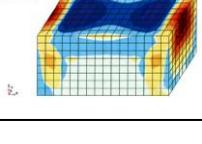
При моделировании работы блока в составе кладки с аномалиями (пустошовка, отсутствие раствора, неоднородность и т.д.) принималось следующее: опирание блока балочное; по боковым граням прикладываются нагрузки: погонные, интенсивностью  $1 \text{ т/м}$ , по верхней грани блока вдоль короткой стороны, симметрично относительно центра (изгиб и срез); симметричные растягивающие силы, интенсивностью  $1 \text{ т}$ , приложенные в



центре тяжести поперечных сечений торцов (растяжение, сжатие); равномерно распределённые по площади, интенсивностью  $1 \text{ т/м}^2$ , приложенные к верхней и нижней граням, симметрично относительно центра (местное сжатие). Результаты вычислений для блока в составе кладки с аномалиями приведены в табл. 3. Так, к положительным моментам следует отнести отсутствие концентрации напряжений в угловых зонах пустотелого блока. Данное обстоятельство является, по-видимому, следствием рационального конструирования «крышки». Распределительная способность эффективного блока достаточно высока, что также является (поле  $N_z$ ) результатом управления его параметрами. Как и следовало ожидать, в пустотелом блоке несколько большие зоны подвержены деформации растяжения. Естественно, что и уровень напряжённого состояния в пустотелом блоке выше. Тем не менее, простой расчёт показывает, что при десятикратном увеличении напряжений, что соответствует стене семизэтажного дома, максимальные напряжения растяжения не превосходят предела прочности на растяжение керамзитобетона класс В 7,5. Положительным является также и тот факт, что «крышка» эффективного блока испытывает не деформацию изгиба, а деформацию внецентренного сжатия (изополя, приведенные в табл. 4). В этом случае минимизируется расход материала и реализуется сопротивление элемента внешним нагрузкам наиболее приемлемым образом. Анализ деформирования предлагаемого блока, находящегося в аномальных условиях (табл. 4), также позволяет сделать вывод о позитивности как собственно конструкции, так и метода её создания.

В частности, сравнение полей усилий в сплошном и пустотелом блоках для деформаций изгиба, растяжения и среза указывает на близость их характера. Другими словами предлагаемый блок в рассмотренных усло-

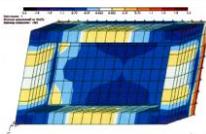
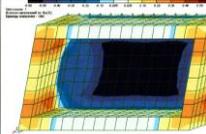
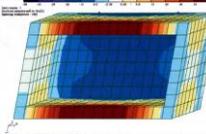
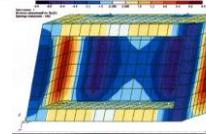
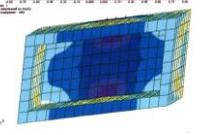
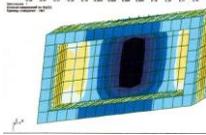
Таблица 3

СПЛОШНОЙ БЛОК	ПУСТОТЕЛЫЙ БЛОК
<i>Чистый изгиб</i>	
 $N_x$	 $N_x$
 $N_y$	 $N_y$
<i>Растяжение (сжатие)</i>	
 $N_z$	 $N_z$
 $N_x$	 $N_x$
 $N_y$	 $N_y$

виях ведёт себя как квазисплошной. Так же как и в загрузке равномерно распределённой нагрузкой здесь не наблюдается появление концентрации напряжений в углах. Исследование деформации местного сжатия подтверждает высокую распределительную способность пустотелого элемента. Увеличение напряжений в пустотелом блоке не превосходит трёхкратное по отношению к сплошному. Данное обстоятельство диктует необходимость выполнения сплошных (без разрывов) продольных и торцевых швов в кладке из пустотелых блоков. Это требование является более важным для данных блоков, чем для сплошных, так как качественное выполнение швов кладки существенно уменьшает влияние изгиба. Что же касается величины напряжений сжатия, то, как видно из проведенного анализа, в рамках имеющих место запасов по нагрузкам пустотелые блоки могут заменить сплошные во всех важных для практики случаях. Следует также отметить,

что предложенные блоки выпускаются Куряжским домостроительным комбинатом и позитивно себя зарекомендовали при возведении объектов жилья и соцкультбыта.

Таблица 4

ВИД ПУСТОТЕЛОГО БЛОКА СНИЗУ	
 $N_x$	 $N_y$
Напряжённое состояние блока в составе кладки без аномалий	
 $N_x$	 $N_y$
Чистый изгиб	
 $N_x$	 $N_y$
Местное сжатие	

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гусаков В.Н. Каркасные здания с эффективными стенами: дис. ... кандидата техн. наук / Гусаков В.Н. – К., 2000. – 320 с.
2. Лугченко Е.И. Рациональные пустотелые бетонные и железобетонные конструкции: дис. ... кандидата техн. наук / Е.И. Лугченко. – Х., 2009. – 180 с.
3. Шмуклер В.С. Трансформация внутренней геометрии конструкции при рационализации ее параметров / В.С.Шмуклер // Юбилейные научные чтения по проблемам теории железобетона. – М.: ИПЦ МИКХиС, 2005. – С. 124-134.
4. Шмуклер В.С. Каркасные системы облегченного типа / В.С. Шмуклер, Ю.А.Климов, Н.П. Бурак. – Х.: Золотые страницы, 2008. – 336 с.
5. Васильков Г.В. Эволюционная теория жизненного цикла механических систем / Г.В. Васильков. - М.: ЛКИ, 2008. – 320 с.

Статья поступила в редакцию 27.02.2013 г.