

УДК 624:725/728

*Е.И. Лугченко, к.т.н., доцент
Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова*

РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЕРФОРИРОВАННЫХ БАЛОК

Осуществлен численный анализ напряженно-деформированного состояния опытных образцов. Составлены соответствующие конечноэлементные схемы и выполнено их решение в упругой постановке с использованием программного комплекса SCAD.

***Ключевые слова:** безраскосная ферма, блок стены подвала, напряженно-деформированное состояние, плотность потенциальной энергии деформаций, метод адаптивной эволюции, конечноэлементное проектирование.*

УДК 624:725/728

*О.І. Лугченко, к.т.н., доцент
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова*

РАЦІОНАЛІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПЕРФОРОВАНИХ БАЛОК

Здійснено чисельний аналіз напружено-деформованого стану дослідних зразків. Складено відповідні скінченноелементні схеми і виконано їх рішення в пружній постановці з використанням програмного комплексу SCAD.

***Ключові слова:** безроскосна ферма, блок стіни підвалу, напружено-деформований стан, щільність потенційної енергії деформацій, метод адаптивної еволюції, скінченноелементне проектування.*

UDC 624:725/728

*E.I. Lugchenko, PhD, Associate Professor
Kharkiv National O.M. Beketov University of urban economy*

RATIONALIZATION OF PARAMETERS OF PERFORATED BEAMS

The numerical analysis of the tensely-deformed state of pre-production models is conducted. Corresponding certainly-element charts are made and their decision is executed in the resilient raising with the use of programmatic complex SCAD.

***Keywords:** girder truss, tensely-deformed state, closeness of potential energy of deformations, method of adaptive evolution, the element planning is eventual.*

Введение. В работе [4] предпринята попытка оценить изгибную жесткость перфорированных балок применительно к стенам с проемами. Расчетным путем была определена приведенная жесткость EJ_{red} , учитывающая как размеры проемов, так и их количество по длине рассматриваемого изгибаемого перфорированного элемента. Решение основано на сравнении прогибов системы [1], вычисленных по формуле Мора и определенных по приведенному моменту инерции J_{red} . Аналитическим путем было установлено, что приведенный момент инерции, а следовательно, и жесткость перфорированной балки снижается при увеличении ширины проемов, что существенно влияет на характер напряженно-деформированного состояния системы. В указанной работе для оценки жесткости перфорированных балок использован расчетный аппарат балочного элемента. А.Р. Ржаницин для исследования работы подобных элементов рекомендует теорию работы составных стержней [5].

Постановка задачи. Для подтверждения корректности подхода и сравнения жесткостных характеристик, получаемых аналитическим и экспериментальным путем, на кафедре строительных конструкций ХНАГХ были подготовлены и проведены экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния и жесткости перфорированных балок с различными размерами и количеством регулярно расположенных сквозных проемов, методика которых подробно изложена в работе [3].

Одновременно с экспериментальными исследованиями применительно к каждому варианту конструктивного решения балок проведен численный анализ напряженно-деформированного состояния опытных образцов.

Основной материал и результаты. Составлены соответствующие конечноэлементные схемы и выполнено их решение в упругой постановке с использованием программного комплекса SCAD. Шаг сетки конечных элементов в вертикальном и горизонтальном направлениях принят 0,025 м. Геометрические характеристики расчетной модели, физико-механические характеристики материала и способ загрузки элементов были приняты такими же, как и в приведенном эксперименте. Расчетом определялись поля нормальных N_x и N_z , а также касательных τ_{xz} напряжений по плоскости балок.

Данные численных расчетов напряженно-деформированного состояния для различных конструкций балок приведены на рис. 1; 2; 3 и 4. Здесь буквой a обозначены конечноэлементные схемы, а буквами b , v и z – поля компонентов напряженно-деформированного состояния соответственно N_x , N_z и τ_{xz} .

Одновременно оценивался и характер распределения плотности энергии деформации ПЭД (рис. 1, д; 2, д; 3, д и 4, д).

Анализ приведенных полей напряжения для сложной балки позволяет констатировать наиболее равномерное их распределение с плавными линиями силовых потоков (рис. 1). Особо следует подчеркнуть и плавность полей плотности энергии деформации для рассматриваемого случая, при этом очевидно, что по всей длине балки они являются минимальными, что создает предпосылки для облегчения сечений путем создания проемов.

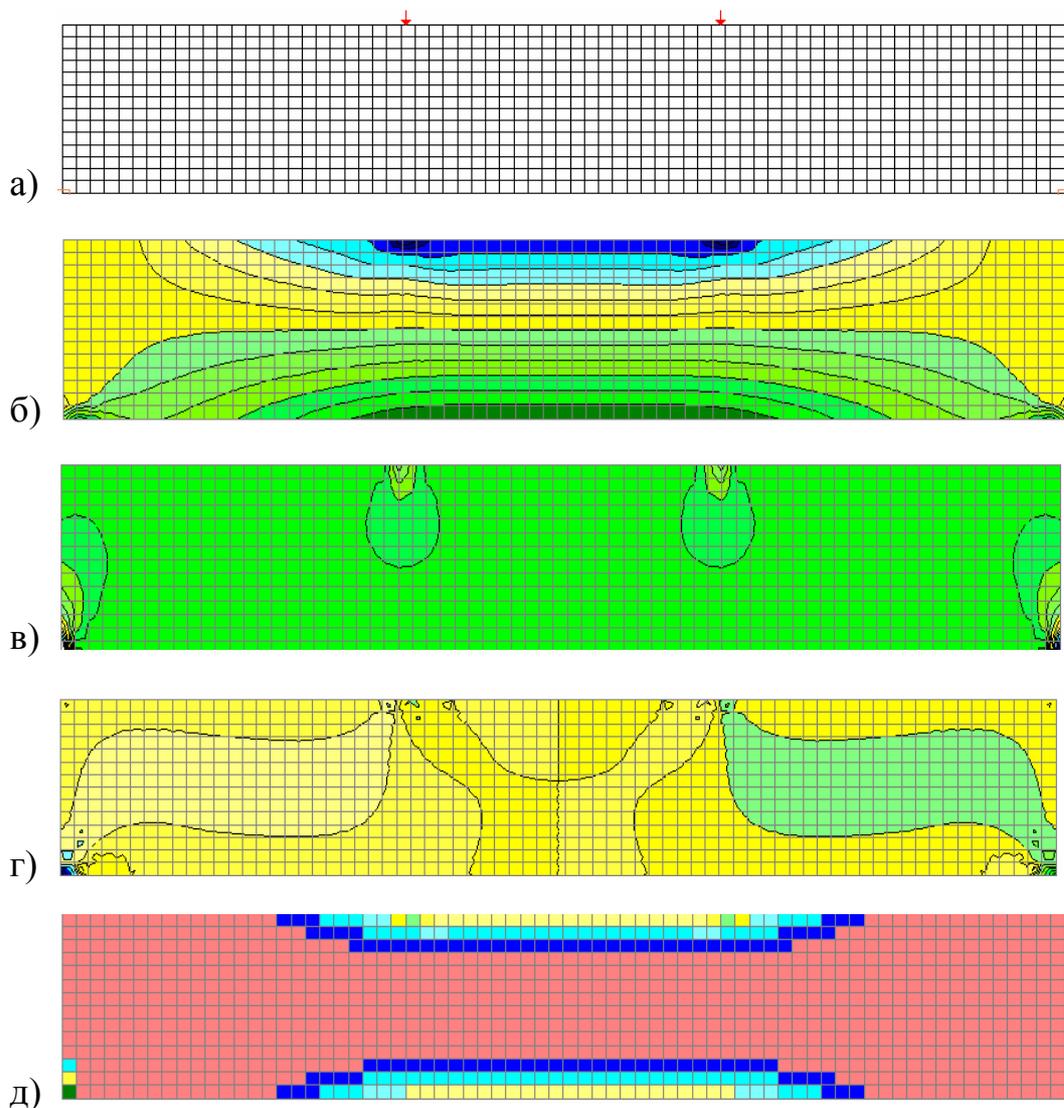
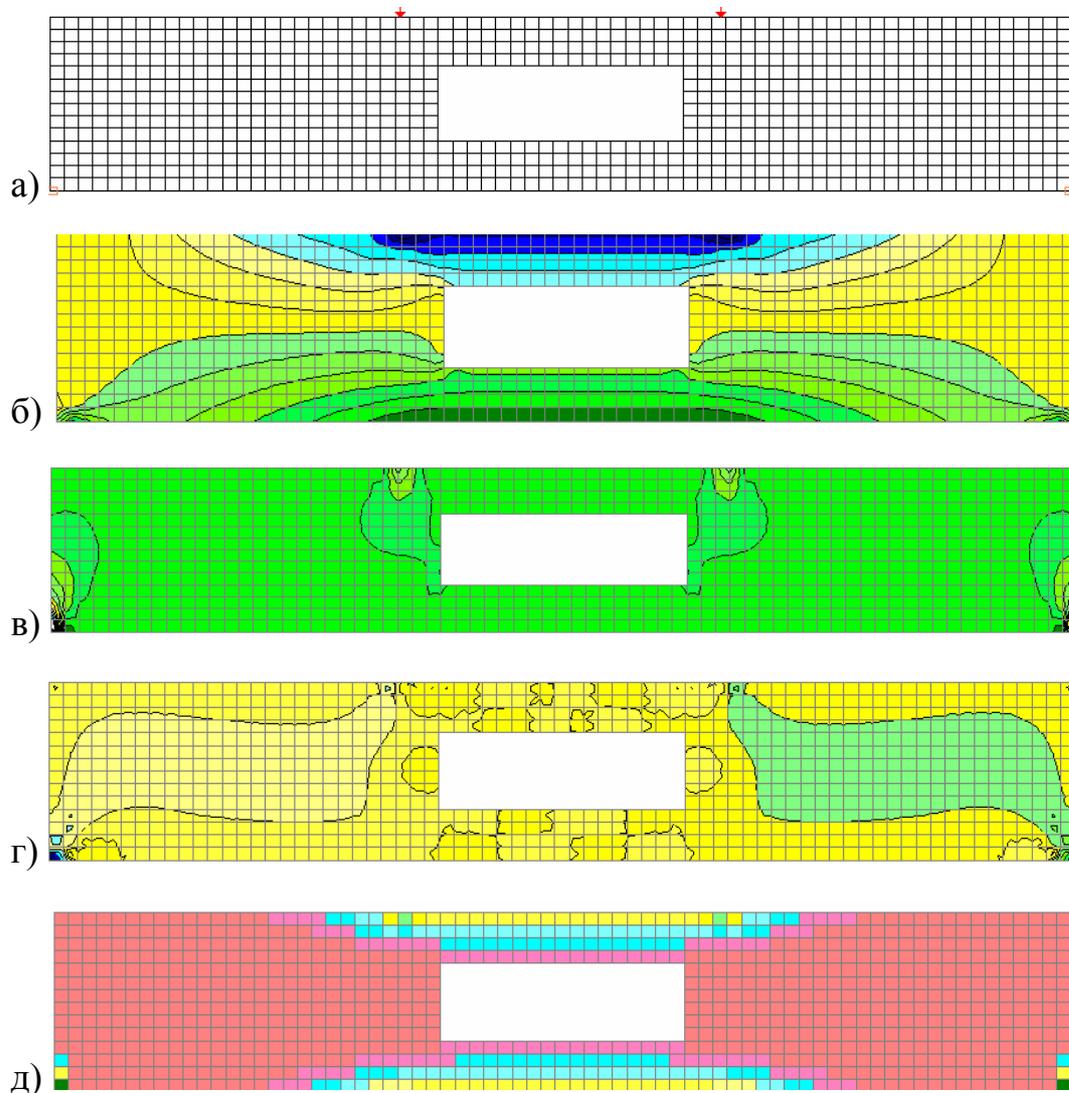


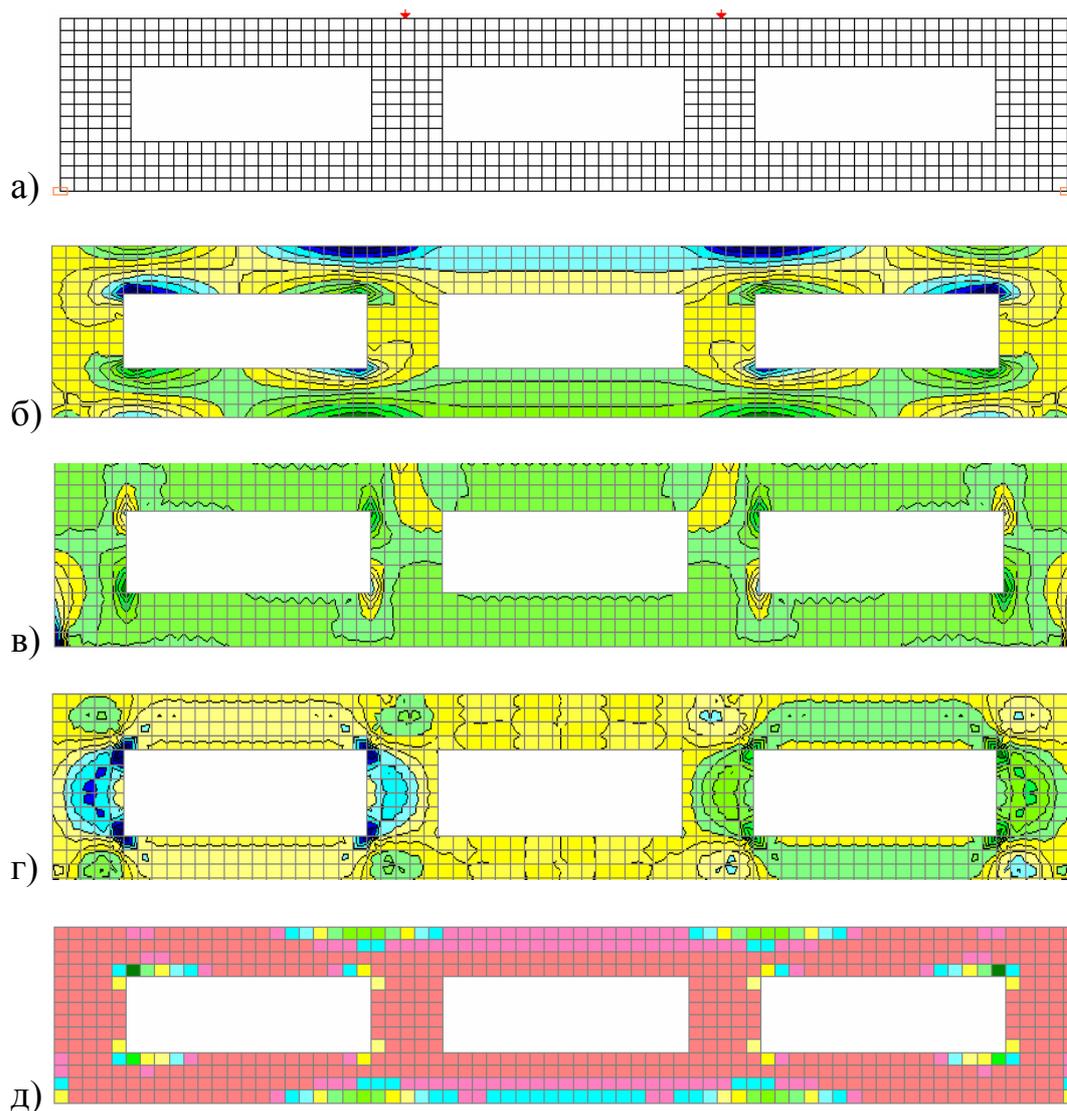
Рис. 1. Балка сплошного сечения:
а – конечноэлементная расчетная схема;
б, в, г – поля компонентов напряженно-деформированного состояния N_x , N_z , τ_{xz} соответственно;
д – поле распределения ПЭД по длине элемента

Переходя к балкам с одним проемом, можно констатировать, что поля напряжений почти не имеют резких концентраций, потоки напряжений сохраняют плавность линий (рис. 2). Также отметим и наличие плавности перехода ПЭД.



**Рис. 2. Балка с одним отверстием:
 а – конечноэлементная расчетная схема;
 б, в, г – поля компонент напряженно-деформированного
 состояния N_x , N_z , τ_{xz} соответственно;
 д – поле распределения ПЭД по длине элемента**

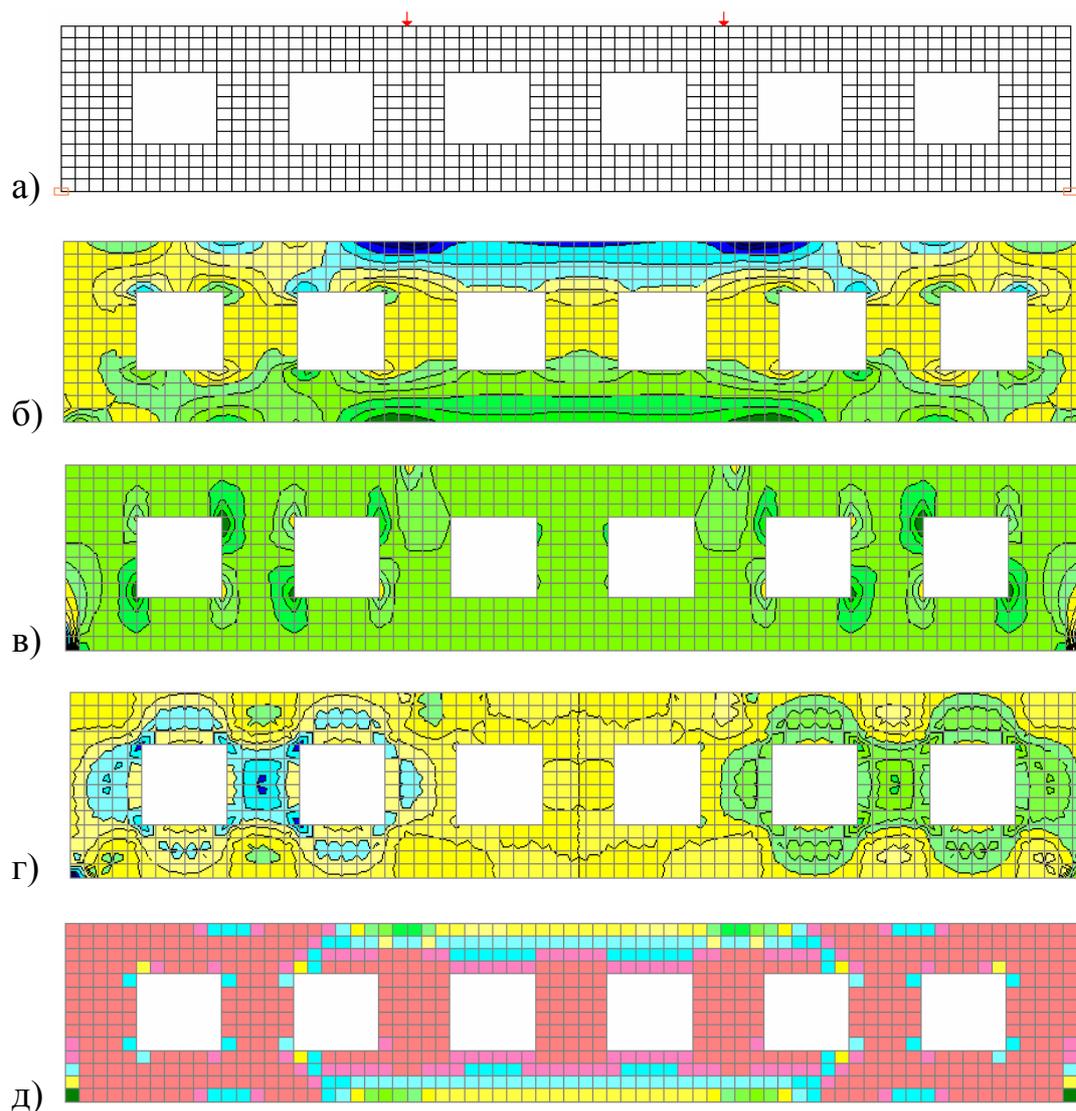
Дальнейший анализ показывает, что переход к балкам с большим количеством проемов – три (рис. 3), шесть (рис. 4) – приводит к повышению концентрации как нормальных, так и касательных напряжений, особенно в местах сопряжения стоек с поясами.



**Рис. 3. Балка с тремя отверстиями:
 а – конечноэлементная расчетная схема;
 б, в, г – поля компонент напряженно-деформированного
 состояния N_x , N_z , τ_{xz} соответственно;
 д – поле распределения ПЭД по длине элемента**

Вышеуказанные примеры приводят к рациональности конструкции, которая определяется на основании рассмотрения НДС и ПЭД, коррелирующиеся между собой.

Повысить эффективность рассмотренных балок можно за счет придания внутренним полостям составляющих их стержней сложного очертания. Возможность рационализации рассмотрена на примере балки с тремя отверстиями. Для этого каждый ее стержень был расчленен на шесть равных участков и определены усилия в каждом из них.



**Рис. 4. Балка с шестью отверстиями:
а – конечноэлементная расчетная схема;
б, в, г – поля компонент напряженно-деформированного
состояния N_x , N_z , τ_{xz} соответственно;
д – поле распределения ПЭД по длине элемента**

Поля распределения ПЭД также имеют зоны концентраций, расположенные на тех же участках.

Далее была построена результирующая эпюра напряженного состояния рассматриваемой балки, где $\sigma_i = \frac{M_i}{W_i} + \frac{N_i}{A_i}$ и определены высоты сечений каждого участка (сжатого) при постоянной ширине из условия их равнопрочности. Условие равнопрочности имеет вид $\sigma = \frac{M}{W} = const = [\sigma]$.

При $b = const$ это условие конкретизируется и записывается в следующем виде:

$$\sigma = \frac{P \cdot z}{W(z)} = \frac{P \cdot z}{\frac{bh^2(z)}{6}} \leq [\sigma], \quad h(z) = \sqrt{\frac{6P \cdot z}{b[\sigma]}}, \quad \text{где } 0 \leq z \leq l.$$

В результате получена равнопрочная ступенчатая балка, представленная на рис. 5, а.

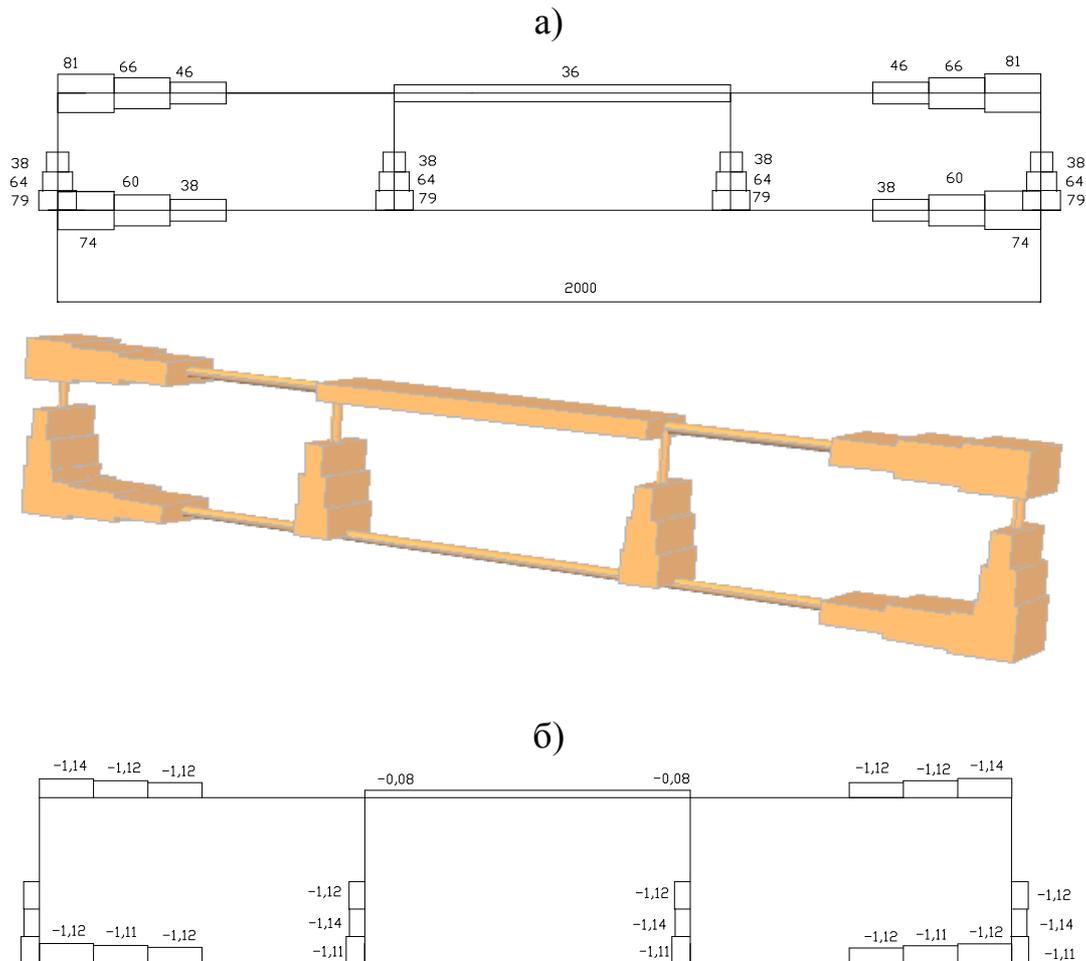


Рис. 5. Высоты сечения сжатых элементов ступенчатой балки (а) и напряжения, возникающие в них (б)

Несмотря на существенный экономический эффект, применение таких конструкций балок невозможно из-за сложной технологии изготовления, а также по эстетическим соображениям. Наиболее правильным было бы запроектировать балку, имеющую постоянные внешние габариты и пустотелую внутри, причем чтобы внутренняя пустота изменяла свое сечение так, чтобы балка имела бы равнопрочное сечение в любой точке.

Заменим в полученной балке равного сопротивления сплошное сечение участков на пустотелое. Зададимся следующими параметрами:

$h = const$ – высота поперечного сечения балки;

$b = const$ – ширина поперечного сечения балки;

$b_1 = const$ – ширина внутренней полости;

y – толщина горизонтальных полок коробчатого сечения, изменяется по длине балки.

Согласно условию равнопрочности

$$\sigma = \frac{M}{W} = const = [\sigma]; \quad W = \frac{M}{[\sigma]} = \frac{Pz(l)}{[\sigma]},$$

тогда

$$\left(\frac{bh^3}{12} - \frac{b_1(h-2y)^3}{12} \right) \frac{2}{h} = \frac{Pz(l)}{[\sigma]},$$

$$\left(\frac{bh^3}{12} - \frac{b_1(h^3 - 3h^2 2y + 3h(2y)^2 - (2y)^3)}{12} \right) \frac{2}{h} = \frac{Pz(l)}{[\sigma]}.$$

Умножая обе части уравнения на $\frac{3h}{4b_1}$, получим

$$y^3 - 1,5hy^2 + \frac{3}{4}h^2y + \frac{h^3}{8b_1}(b-b_1) = \frac{3h}{4b_1} \frac{Pz(l)}{[\sigma]}.$$

С использованием численных значений параметров окончательно определены характеристики рассмотренной балки как конструкции с простой внешней и сложной внутренней геометрией [6] (рис. 6).

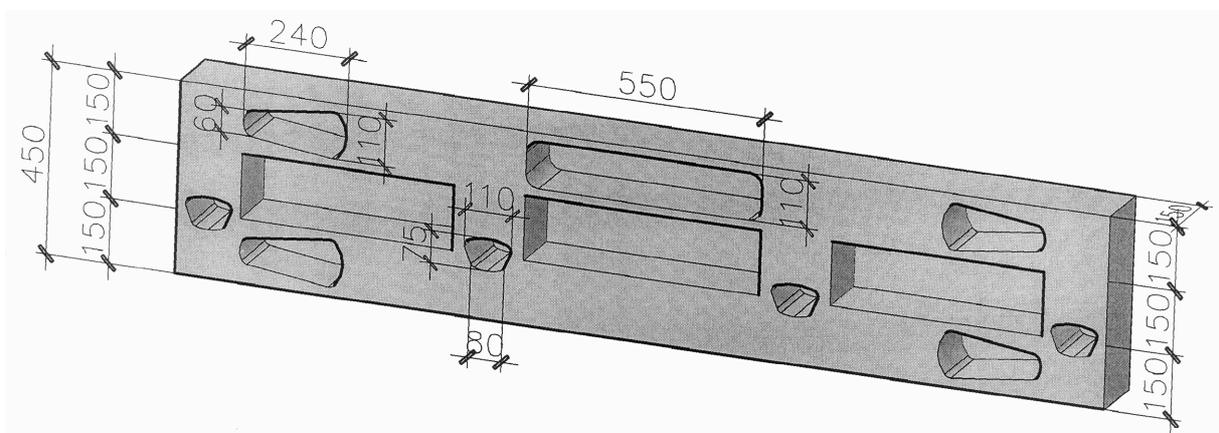


Рис. 6. Полученная конструкция балки с простой внешней и сложной внутренней геометрией

Выводы. Построена методика формирования тонкостенных железобетонных элементов с простой внешней и сложной внутренней геометрией. Установлено, что распределение ПЭД в системе дает возможность оценки рациональности принятых решений конструктивных элементов и системы в целом. Путем конечноэлементного моделирования безраскосной фермы (балки Виренделя) корректно построены поля компонентов напряженно-деформированного состояния и ПЭД, возникающие в рассматриваемых элементах.

Литература

1. Бильченко, А.В. Исследование жесткости ограждающих панелей стены в грунте с поперечными пустотами / А.В. Бильченко, Г.А. Молодченко, Л.В. Шипель // Известия ВУЗов. Строительство и архитектура. – 1982. – № 2. – С. 9 – 13.
2. Лугченко, Е.И. Напряженно-деформированное состояние перфорированных балок / Е.И. Лугченко // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. – К.: Техніка, 2006. – Вып. 72. – С. 91 – 97.
3. Молодченко, Г.А. Учет технологических особенностей при формировании рациональных изгибаемых систем / Г.А. Молодченко, В.С. Шмуклер, Е.И. Лугченко // Науковий вісник будівництва. – Х.: ХГТУСА, 2007. – № 43.
4. Псурица, Н.А. Оценка напряженно-деформированного состояния зданий жилищно-гражданского комплекса / А.Н. Сироменко, Т.Г. Молодченко-Серебрякова, Е.И. Лугченко, А.Ю. Кулаков // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне: Вид-во УДУВГП, 2003. – Вып. 10. – С. 195 – 201.
5. Лугченко, Е.И. Рациональные пустотелые бетонные и железобетонные конструкции: дис. кандидата техн. наук / Е.И. Лугченко. – Х., 2009. – 180 с.
6. Шмуклер, В.С. Оптимизация параметров строительных конструкций в условиях регулирования их напряженно-деформированным состоянием / В.С. Шмуклер // Коммунальное хоз-во городов: науч.-техн. сб. – К.: Техніка, 1997. – Вып. 8. – С. 3 – 14.
7. Шмуклер, В.С. Трансформация внутренней геометрии конструкции при рационализации ее параметров / В.С. Шмуклер // Юбилейные научные чтения по проблемам теории железобетона. – Москва: ИПЦ МИКХиС, 2005. – С. 124 – 134.
8. Шмуклер, В.С. Каркасные системы облегченного типа / В.С. Шмуклер, Ю.А. Климов, Н.П. Бурак // Харьков: 2008. – 336 с.

Надійшла до редакції 18.10.2013

© Е.И. Лугченко