

- практические результаты разработки технологий ремонта железобетонных и каменных конструкций / Строительные материалы и изделия, №3 (17), 2003.- С. 31-33.
3. Пшинько А.Н., Савицкий Н.В., Савицкий А.Н. Методология количественного проектирования систем для ремонта железобетонных конструкций // Новини науки Придніпров'я.- 2002, №6.- С. 12-18.
  4. Савицкий А.Н., Пшинько А.Н., Савицкий Н.В. Постановка задач по обеспечению долговечности арматуры железобетонных конструкций в агрессивных средах// Сб. научн. Тр. ПГАСА. Вып.11.- Дн-ск: ПГАСА, 2000.- С.84-86.
  5. Алексеев С.Н., Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде. – М.: Стройиздат, 1976. - 205 с.
  6. Савицкий Н.В. Основы расчета надежности железобетонных конструкций в агрессивных средах // Дисс...д.т.н.-Дн-ск: ДИСИ - НИИЖБ, 1994.- 400 с.

УДК 624.072.2

**ОБЪЕКТЫ ОПТИМИЗАЦИИ В КОМПЛЕКСНОЙ МОДЕЛИ  
МОНОЛИТНОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ С ЛИСТОВОЙ  
ГОФРИРОВАННОЙ АРМАТУРОЙ**

*И.В. Санников, к.т.н., с.н.с.,*

*Открытое акционерное общество "Украинский зональный научно-исследовательский и проектный институт по гражданскому строительству" – ОАО "КиевЗНИИЭП", Киев*

**Постановка проблемы и ее связь с научными и практическими задачами.** При построении детерминировано-стохастических численных моделей монолитной железобетонной плиты с листовой гофрированной арматурой и их конструктивных реализаций необходимо идентифицировать величины, оптимизировать параметры конструктивных элементов. Оптимизируемый объект (модель или конструкция) описывается совокупностью переменных, обеспечивающей появление объекта на множестве случайных реализаций.

**Анализ публикаций.** Задача идентификации величин численных моделей и получения оптимальных конструкций решается методом «пространства состояний» или «фазовым методом», описанным, в частности, Хогом и Аророй [1]. Суть метода вытекает из самой схемы построения модели или, в общем случае, из технологии проектирования. В задачах [2,3,4,5,6,7, 8,9,10,11, 12, 13] выбирают величины  $b_1, b_2, \dots, b_k$ , называемые переменными проектирования (в векторной форме  $\mathbf{b} = [b_1, b_2, \dots, b_k]^T$ ). На переменные проектирования накладывают физически или экономически обусловленные ограничения (размер, вес, стоимость), а к самой конструкции предъявляют функционально или технологически обусловленные требования, что вместе определяет множество допустимых значений  $\mathbf{r}$  ( $\mathbf{b} \in \mathbf{r}$ ). При

построении оптимальной модели из допустимых, выбирается "лучшая" по критерию наибольшего или наименьшего значения некоторой функции  $\psi_0(b)$  для переменной проектирования  $b$  из  $\mathbf{b}$ .

**Нерешенные задачи.** В модели сопротивления плит действию перерезывающей силы и изгибающего момента в наклонных сечениях расчетная схема принята как на *рис.1* [14,15]. Здесь детерминированные зависимости строительной механики дополнены случайными величинами:

$m_{a,1}$  – коэффициент условий работы настила в наклонном сечении;

$m_{a,2}$  – коэффициент условий работы скалывания бетона на рифлах;

$m_{a,3}$  – коэффициент условий работы бетона на рифлах при смятии;

$k_{an}$  – коэффициент условий работы анкеровки;

$k_f$  – коэффициент трения бетона по настилу.

Значения величин составляют стохастическую часть совокупности переменных и могут быть определены решением оптимизационной задачи.

Важной конструктивной и технологической задачей при изготовлении плиты является устройство анкерных связей между бетоном плиты и элементами листового армирования (включая элементы балочной клетки) [16]. Как показано на *рис.2*, анкер воспринимает все виды усилий: растяжения, изгиба и сдвига, передаваемые бетоном на элементы поверхности анкера ( $N_{an,l}$ ,  $N_{b,t}$ ), под воздействием изгибающих моментов ( $M_{ext,p}$ ,  $M_{ext,b}$ ) и поперечных сил. Для пустотелого анкера, целесообразно иметь большую площадь поверхности (т.е. больший наружный диаметр  $D$ ), что увеличивает несущую способность по бетону, при меньшей площади поперечного сечения (т.е. меньшей толщине стенки  $t_{an}$ ), что уменьшает его вес.

Значения наружного диаметра  $D$  и толщины стенки  $t_{an}$ , определяющие вес анкера, могут быть определены решением оптимизационной задачи.

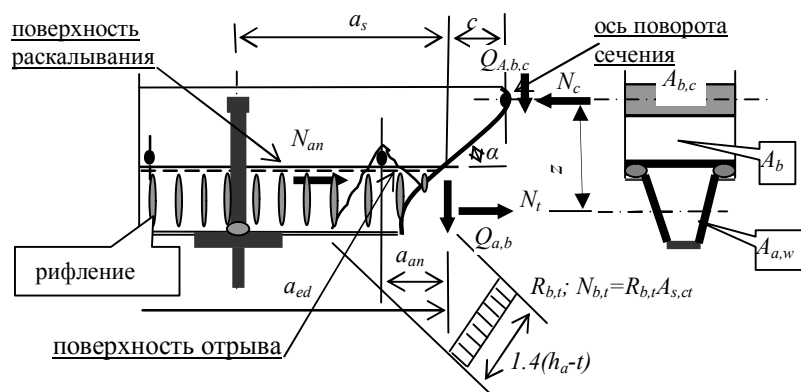


Рис. 1. Схема усилий в сечении, наклонном к продольной оси железобетонного элемента с листовой гофрированной арматурой, при расчете его по прочности на действие изгибающего момента и перерезывающей силы

**Формулирование задач.** Для рассматриваемого наклонного сечения оптимальной совокупностью переменных будет та, для которой величины внешних ( $M_{ext}$ ) и внутренних ( $M_u$ ) моментов и их производные равны. Тогда в качестве функции цели примем евклидову норму вектора  $\psi$ , то есть:

$$\psi = \min \left| \psi_2 = \frac{\psi_1 = M_{ext} - M_u}{d\left(\frac{2x}{l_0}\right)} - \frac{dM_u}{d\left(\frac{2x}{l_0}\right)} \right|, \quad (1)$$

где  $\frac{2x}{l_0}$  – координата наклонного сечения.

Кроме того должны выполняться следующие условия:

- место соприкосновения эпюр  $M_u$  и  $M_{ext}$  соответствует месту наклонного сечения, по которому произошло разрушение;
- в обе стороны от места разрушения значения внутренних предельных моментов больше моментов от внешних сил:

$$M_{ext}(x_1) \leq M_u\left(\frac{2x}{l_0}\right) = l_a \leq M_{ext}(x_2) \text{ при } 0 \leq x_1 \leq l_a; l_a \leq x_2 \leq l_0. \quad (2)$$

«Лучшую» совокупность установим графически (рис. 3) сопоставлением эпюр моментов от внешних нагрузок и внутренних предельных моментов.

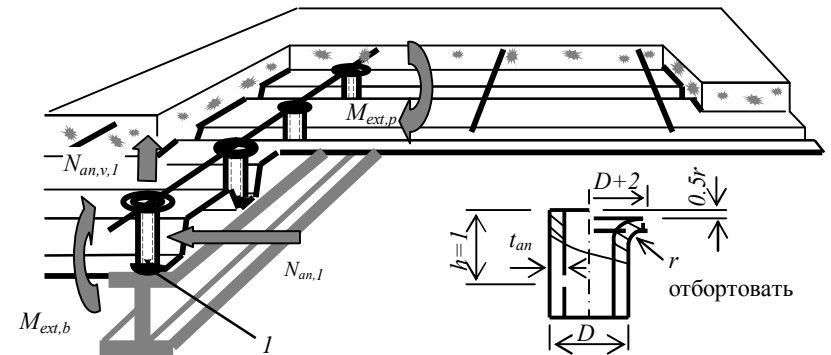


Рис. 2. Схема усилий в плите и конструкция анкерной связи:  $I$  – внутренний угловой (кольцевой) сварочный шов;  $N_{an,v,l}$  – усилие отрыва;  $N_{an,l}$  – усилие сдвига;  $M_{ext,b}$  – изгибающий момент в плоскости элемента балочной клетки;  $M_{ext,p}$  – изгибающий момент в плоскости гофров

Для оптимизируемого анкера функция цели  $\psi_0$  – вес анкера:

$$\psi_0(D, t_{an}) = \gamma \pi t_{an} h (D - t_{an}),$$

где  $\gamma$  – удельный вес материала, равный  $0.00785 \text{ кг/см}^3$ ;

$h$  – длина анкера, равная  $10 \text{ см}$  при толщине плиты ( $h_s$ ) равной  $12 \text{ см}$  и толщине слоя бетона над верхнюю полкой гофрированного профиля  $30 \text{ мм}$ .

Тогда минимизируемый функционал  $\psi_0$ :

$$\psi_0(D, t_{an}) = 0.247 t_{an} (D - t_{an}). \quad (3)$$

Наружный диаметр  $D$  не превышает ширины нижней полки гофра, равной  $3.8 \text{ см}$ , и не меньше наружного диаметра сварочной горелки, равного  $1.6 \text{ см}$ , в сумме с удвоенной толщиной стенки:

$$\psi_1 \equiv -D \leq 0 \wedge D \leq 3.8 \wedge D \geq 1.6 + 2t_{an}. \quad (4)$$

Толщина стенки  $t_{an}$  не может превышать половины диаметра анкера и не может быть менее  $0.2 \text{ см}$  по условиям сварки листа, привариваемого к полке:

$$\psi_2 \equiv -t_{an} \leq 0 \wedge t_{an} \leq 0.5D \wedge t_{an} \geq 0.2. \quad (5)$$

Усилия растяжения и смятия бетона по поверхности анкера, растяжения листового армирования, прочность анкера при изгибе, сдвиге и растяжении должны быть не больше предельных (усилия в кгс):

$$\psi_3 \equiv \forall D \left( \frac{1.57 T_{an,1}}{0.5 \pi D t_{an} (1 - t_{an})} - R_a \leq 0 \right), (6) \wedge \frac{T_{an,1}}{R_a (a_{ed,r,u} + \pi D) t_{an}} \leq 0 \wedge$$

$$\wedge \frac{T_{an,1}}{A_a} - R_a \leq 0 \wedge \forall D \left( \frac{T_{an,1}}{100 D^2 \sqrt{1 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}}} - \sqrt{R_b} \leq 0 \right), \text{если } D \leq 2.38, (7) \wedge,$$

$$\wedge \frac{T_{an,1}}{A_{an,w}} - R_{a,w} \leq 0 \wedge \forall D \left( \frac{T_{an,1}}{24 h D \sqrt{1 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}}} - \sqrt{R_b} \leq 0 \right), \text{если } D > 2.38, (8)$$

где  $T_{an,1}$  – усилие сдвига, предельное для анкера, равное  $3107$ ;

(6) – условие прочности анкера Айрумяна-Румянцевой;

(7), (8) – условия прочности, принятые в технических условиях AASHO (The American Association of state highway officials).

«Лучшую» совокупность переменных установим графически (рис.4) построением поверхности функции веса, ограниченной условиями (4)-(8).

**Теоретическое исследование с обоснованием численных моделей.** Совокупность переменных, минимизирующих численную модель будем искать «перебором» [6], для чего значения идентифицируемых величин зададим последовательностями:

$$\left. \begin{aligned}
 m_{a,2} &= \{0.025, 0.024, 0.023, 0.022, 0.021, 0.020, 0.019, 0.018\} \\
 m_{a,3} &= \{0.017, 0.016, 0.015, 0.014, 0.013\} \\
 \{k_{an,h}, k_{an,v}, k_{an,s}\} &\in \{\bar{k} : k = 0.7\alpha + 2.5(1-\alpha), 0 \leq \alpha \leq 1\} \\
 k_f &\in \{\bar{k} : k = 0.2\alpha + 0.45(1-\alpha), 0 \leq \alpha \leq 1\} \\
 m_{a,1} &\in \{\bar{m} : m = 0.75\alpha + 1.0(1-\alpha), 0 \leq \alpha \leq 1\}
 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Для сопоставления примем экспериментальные значения разрушающих нагрузок ( $M_{u,obs}$ ) и данные о расстоянии от опоры до наклонного сечения  $a_{s,obs}$ , по которому произошло разрушение. Далее по значениям моментов  $M_{ext}$  и  $M_u$  построим несколько вариантов эпюр внутренних предельных моментов. В качестве «лучшего» варианта, которому, следовательно, отвечают наиболее приемлемые величины  $m_{a,2}$ ,  $m_{a,3}$ ,  $k_{an}$ ,  $k_f$  и  $m_{a,1}$ , примем вариант с лучшим соответствием эпюр. Эпюры  $M_{u,s}$  наиболее отвечающие экспериментальной ситуации, получены при значениях коэффициентов:  $m_{a,2}=0.02$ ,  $m_{a,3}=0.015$ ,  $k_{an,h}=1.8$ ,  $k_f=0.3$  и  $m_{a,1}=0.78$ , что и принято за искомую совокупность.

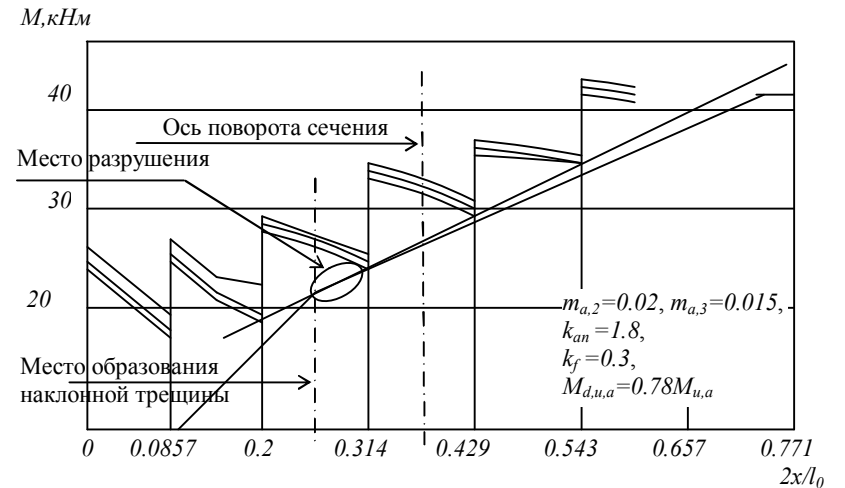


Рис.3. Эпюры изгибающих моментов от внешних нагрузок при разрушении и внутренних предельных усилий в сечениях, наклонных к продольной оси

«Лучшую» совокупность переменных будем искать на существующем сорimente труб, удовлетворяющих ограничениям (4), (5). Тогда ограничения (4)-(8) запишем так:

$$\left. \begin{aligned} D &\geq 1.6 + 2t_{an} \\ D &\geq 2 \wedge D \leq 3.8 \\ t &\geq 0.2 \\ \forall D \left( \frac{1553}{t_{an}(D-t_{an})} \leq 2200 \right) \\ \forall D \left( \frac{31.07}{D^2} \leq 9.9 \right), &\text{если } D \leq 2.38 \\ \forall D \left( \frac{12.95}{D} \leq 9.9 \right), &\text{если } D > 2.38 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Функция веса описывается поверхностью второго порядка (рис.4). На всей области функция возрастает, так что ее абсолютный минимум находится на пересечении с плоскостями ограничений в точке 2.32 и 0.36, что соответствует ближайшим значениям сортамента 3.2 и 0.25. Площадь сечения и вес такого анкера соответственно равны 2.317см<sup>2</sup> и 0.182 кг.

**Выводы. Задачи дальнейших исследований.** Модель, содержащая оптимизированные объекты, характеризуется лучшим использованием материалов, меньшими трудо- и энергозатратами. Объектное структурирование является существенной научной задачей, решение которой позволяет анализировать конструкции с большей точностью и добиваться существенных преимуществ новых решений в части количественных и качественных показателей.

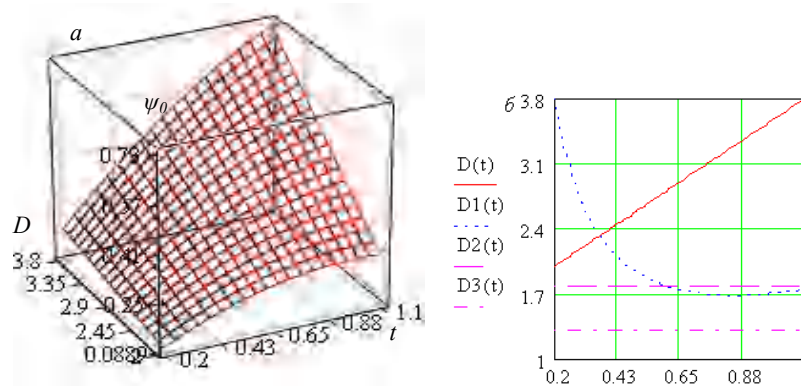


Рис.4. График функции цели и ограничений

*a* – поверхность изменения веса; *б* – ограничения на плоскости  $t_{an}, D$ :

$$D(t_{an}) = 2t_{an} + 1.6; \quad D2(t_{an}) = \sqrt{\frac{31.07}{9.9}}; \quad D3(t_{an}) = \frac{12.95}{9.9}; \quad D3(t_{an}) = \frac{12.95}{9.9}$$

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Хог Э., Арора Я. Прикладное оптимальное проектирование: Механические системы и конструкции: Пер. с англ. - М.: Мир, 1983. - 478 с.
2. Дехтярь А.С., Санников И.В. Оптимальное армирование оболочек покрытий //Строительная механика и расчет сооружений. - 1982. - №1. - С. 9-13.
3. Егоров Е.А., Семенец С.С. Оптимизация нефтяных резервуаров по критерию минимума полных ожидаемых затрат//Строительство. Материаловедение. Машиностроение: Сб. научн. тр. – Д.: ПГАСиА, 2002. - Вып. №18. - С. 74-81.
4. Королев К.В. К оптимальному проектированию составных фундаментов// Строительство. Материаловедение. Машиностроение: Сб. научн. тр. – Д.: ПГАСиА, 2002. - Вып. №18. - С. 99-102.
5. Савицкий Н.В., Никифорова Т.Д., Юрченко Е.Л. Оптимизация проектов повышения энергоэффективности в зданиях бюджетной сферы// Строительство. Материаловедение. Машиностроение: Сб. научн. тр. – Д.: ПГАСиА, 2002. - Вып. №21. - С. 58-62.
6. Петренко В.Д., Тютькин А.Л. Особенности работы конструкции как основа оптимизации ее конструктивных элементов// Будівельні конструкції. - К.: НДІБК, 2002. - Вип. 56. - С. 134-141.
7. Филатова Л.Н. Методика определения оптимального расчетного сопротивления стали для составных сварных двуглавых балок// Будівельні конструкції. - К.: НДІБК, 2002. - Вип. 57. - С. 170-174.
8. Набоков И.И., Лукьяненко Е.П. Расчет и особенности конструирования стволос двуглавых балок составного сечения с максимальными габаритами осуществляемый в окрестности глобального минимума функции массы с учетом стоимости// Современные проблемы строительства: Ежегодный научн.-техн. сб./ Донецкий ПромстройНИИпроект. - Донецк: ООО «Лебедь», 2002. - т. II. - С. 80-86.
9. Куликов Г.В., Третьяков Н.Г. Оптимизация геометрических параметров решетчатой арки треугольного сечения, очерченной по окружности// Строительство и техногенная безопасность: Сб. научн. тр. - Симферополь: КАПСК, 2002. - Вып. 7. - С. 46-50.
10. Большаков В.И., Жербин М.М., Разумова О.В. Критерии оптимальности конструкций многоэтажных зданий со стальными каркасами// Строительство. Материаловедение. Машиностроение: Сб. научн. тр. – Д.: ПГАСиА, 2003. - Вып. №25. - С. 15-25.
11. Юрченко Е.Л., Савицкий Н.В., Могилат А.Н., Баташева К.В. Эффективное управление Энергосберегающими проектами жилых и общественных зданий на основе поиска оптимальных архитектурно-конструктивных технических решений// Строительство. Материаловедение. Машиностроение: Сб. научн. тр. – Д.: ПГАСиА, 2003. - Вып. №25. - С. 54-59.
12. Швец Н.А., Савицкий Н.В., Шляхов К.В. Метдика рационального

- проектирования малоэтажных жилых зданий // Строительство. Материаловедение. Машиностроение: Сб. научн. тр. – Д.: ПГАСиА, 2003. - Вып. №25. - С. 233-236.
13. Шмуклер В.С., Городецкий А.С. Об одном аспекте построения адекватной расчетной схемы при автоматизированном поиске геометрии тонкостенного стержня//Вісник Одеського національного морського університету:Збірник наукових праць.-Одеса: ОНМУ, 2003. - Вип. №10. - С. 19-23.
14. Санников И.В. Прочность и деформативность монолитных неразрезных плит с листовой гофрированной арматурой// Бетон и железобетон. – 1983. - №3. - С.32-34.
15. Санников И.В. Модели сопротивления железобетонных балочных конструкций, армированных профилированными стальными настилами, действию перерезывающей силы и изгибающего момента в опорных сечениях// Будівельні конструкції. - К.: НДІБК, 2002. - Вип. 57. - С. 221-230.
16. Монолитные перекрытия зданий и сооружений / И.В. Санников, В.А. Величко, С.В. Сломонов, Г.Е. Бимбад, М.Г. Томильцев.- К.: Будівельник, 1991.-152 с.
17. Санников І.В. Оптимізація параметрів стикового з'єднання композитів в залізобетонних плитах з листовою гофрованою арматурою// Вісник національного університету "Львівська політехніка": Зб. наукових праць Теорія і практика будівництва. - Львів: Львівська політехніка, 2002. - №441. - С. 164-1

#### УДК 699.887.3

#### ДАТЧИКИ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ НА ОСНОВЕ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ КВАРЦЕВЫХ ПЬЕЗОРЕЗОНАТОРОВ

*В.В.Сафонов к.т.н., проф.<sup>1</sup>, Э.Е. Стрежекуров к.т.н., доц.<sup>2</sup>,  
В.А. Шаломов к.т.н., доц.<sup>1</sup>, Ю.Э. Стрежекуров студ.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры*

<sup>2</sup>*Днепродзержинский государственный технический университет*

**Проблема.** При определении тепловых потоков; энергии излучения от технологического оборудования, а также при лучистом нагреве изделий, зданий и сооружений используются тепловые датчики. В большинстве они имеют аналоговый выходной сигнал, который затем при помощи аналого-цифрового преобразователя выдается на информационный дисплей, либо подается на микропроцессор для дальнейшей обработки. В ходе преобразовании любого сигнала происходит его искажение и потеря точности. Наиболее рациональным было бы получение информационного сигнала с датчика в дискретном цифровом виде. Однако для этого необходим датчик с необычным преобразованием энергии теплового потока в дискретный выходной сигнал.