

Л.В. Гапонова, к.т.н., докторант, А.В. Ромашко, к. т.н., доцент

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

## **ВЕРОЯТНОСТНЫЙ РАСЧЕТ И ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СТАЛЕБЕТОННЫХ ПЛИТ**

*Проведена оценка надежности сталебетонных плит, проанализированы факторы, влияющие на надежность ограждающих конструкций.*

**Ключевые слова:** *сталебетон, надежность, ограждающая конструкция.*

**Постановка проблемы в общем виде.** В настоящее время широкое распространение получили сталебетонные плиты покрытий и перекрытий промышленных и гражданских зданий. В работах [1, 2, 3] авторы отмечают, что сталь и бетон в сталежелезобетонных элементах работают совместно на всех этапах нагружения. Отмеченные конструкции имеют преимущество по сравнению с традиционными железобетонными. Это: простота в технологии изготовления; эффективное использование прочностных свойств, особенно с применением легких теплогидроизоляционных материалов.

Для обеспечения повышения эксплуатационной надежности и долговечности сталебетонных ограждающих конструкций промышленных и гражданских зданий необходимы эффективные теплогидроизоляционные материалы, служащие защитой от различных воздействий.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Теорией надежности строительных конструкций занимались М.С. Стрелецкий, О.Р. Ржаницын, В.В. Болотин. Вопросам надежности строительных конструкций посвящены работы А.Я. Барашикова, С.Ф. Пичугина, В.А. Перельмутера, А.В. Пашинского, А.В. Семко, Б.И. Беляева, В.М. Шимановского и многих других исследователей [5, 6].

**Постановка задания** Несущие конструкции зданий и сооружений должны отвечать требованиям прочности, жесткости, устойчивости, противопожарной безопасности.

Основным направлением повышения эффективности сталебетонных плит покрытий является разработка их конструктивных схем на основе использования легких теплогидроизоляционных материалов. Применение таких материалов позволит весьма существенно повысить уровень теплозащиты зданий. Вопросы термоустойчивости сталебетонных плит рассмотрены в работе [4].

Однако в настоящее время недостаточно изучены вопросы прогнозирования изменения эксплуатационных свойств сталебетонных плит во времени. Оценка темпа снижения эксплуатационной надежности в зависимости от влияния различных внешних факторов позволит сделать правильный выбор теплогидроизоляционных материалов и конструктивных схем сталебетонных плит покрытий и перекрытий с их использованием.

Для рассмотрения процессов тепло- и массообмена, происходящих при формировании температурно-влажностного режима помещения, нужно знать: требования к характеристикам внутреннего климата и факторы, влияющие на них; законы взаимодействия ограждений с внутренними и наружными средами; тепло- и массообменные процессы на обогревающих и охлаждающих поверхностях.

Для обеспечения надежной работы сталебетонных конструкций необходимы эффективные теплогидроизоляционные материалы, служащие защитой от различных воздействий и для повышения долговечности сооружений. Надежность ограждающих конструкций промышленных и гражданских зданий и сооружений зависит от безотказности работы ограждающих конструкций и их долговечности [7].

Расчет строительных конструкций по первой и второй группе предельных состояний полувероятностный, и как следствие – расчет надежности строительных конструкций является развитием существующего ныне метода расчета по предельным состояниям. Особенность вероятностных методов расчета состоит в использовании в расчетах среднестатистических характеристик свойств материалов, нагрузок и других параметров.

**Цель и задачи исследований.** Целью данной работы является оценка надежности сталебетонных плит покрытий. Для достижения поставленной цели определены следующие задачи:

1. Определить вероятность отказа сталебетонной конструкции на начало и конец эксплуатации (при  $t=50$  лет,  $t=100$  лет).

2. Определить остаточный ресурс сталебетонной плиты.

**Изложение основного материала.** Проанализируем изменение вероятности отказа сталебетонных плит покрытия во времени. С учетом того, что постоянные нагрузки подчиняются нормальному закону распределения, а временные – двойному экспоненциальному распределению, задача формулируется в виде интегрального выражения (1), решение которого не представляется возможным получить аналитическими методами,

$$W(t) = 1 - \int_{-\infty}^0 y_3(x, t) dx,$$

где

$$y_3(x, t) = \int_{-\infty}^{\infty} y_1(z, t) \cdot y_2(z + x, t) dz;$$

$$y_1(z, t) = \alpha \cdot e^{-\alpha(x-u(t)) - \exp(-\alpha(x-u(t)))};$$

$$y_2(x, t) = \frac{1}{G\xi(t) \cdot \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \xi(t))^2}{2 \cdot G(t)^2}\right);$$

$$\xi(t) = \overline{R(t) - g^{const}};$$

$$G\xi(t) = \sqrt{(G_R(t))^2 + (G_a)^2}.$$

В связи с этим применим инженерный метод расчёта надёжности строительных конструкций, изложенный в работе [8]. Смысл метода заключается в аппроксимации неизвестной заранее композиции распределений прочности и нагрузки соответствующими стандартными аппроксимационными зависимостями для нормального и двойного экспоненциальных распределений с коэффициентами, специально найденными для этой композиции из соотношений:

$$n_{\psi}(t) = \frac{\bar{\psi}(t)}{\sigma_{\psi}(t)} = z - \frac{2,0686 - 0,4214z}{1 + 0,3149z - 0,091z^2};$$

$$z = \sqrt{\ln \frac{1}{P^2(t)}},$$

где  $P(t)$  – вероятность отказа в момент времени  $t$  (как правило, при  $t=1$  и  $t=T$ );

$T$  – время эксплуатации (нормированное или на момент обследования).

При анализе определялась вероятность отказа сталебетонной плиты покрытия, нагруженной равномерно распределённой нагрузкой, в начале и в конце срока эксплуатации при различных соотношениях толщины слоя пенобетона и утеплителя (рис. 1). Одновременно оценивались эти показатели для железобетонного балочного перекрытия, работающего в тех же условиях. Численные параметры, характеризующие рассматриваемые конструкции, приведены в таблице 1.

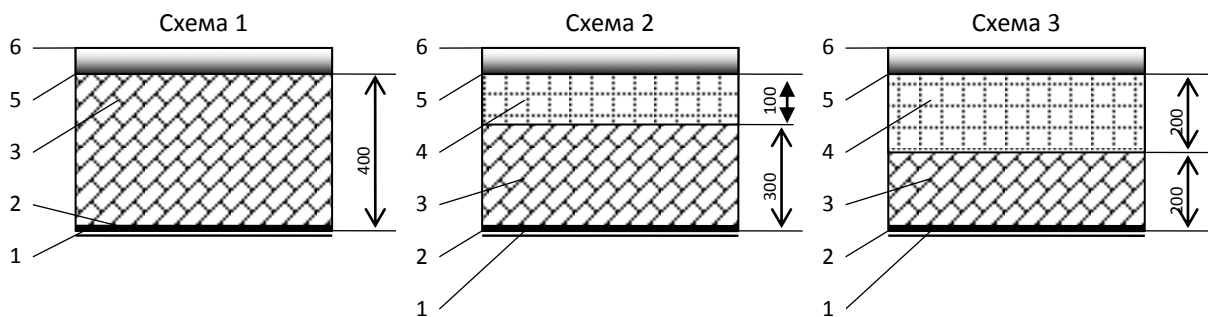


Рисунок 1 – Схемы сталебетонных плит с утеплителем:

1 – гидроизоляция (на основе полимочевины); 2 – стальной лист; 3 – пенобетон  $\rho=1200$   $кг/м^3$ ; 4 – минераловатный утеплитель  $\rho=65$   $кг/м^3$ ; 5 – цементно-песчаная стяжка; 6 – рублированный ковёр.

**Таблица 1 – Характеристики строительных конструкций перекрытий**

Показатели	Ед. изм.	Сталебетонное покрытие			Покрытие по балочной схеме
		схема 1	схема 2	схема 3	
<b>нагрузки</b>					
<i>от собственной массы конструкции</i>					
гидроизоляция	МПа	21,5 (0,05)	21,5 (0,05)	21,5 (0,05)	-
плита покрытия	МПа	4864 (0,03)	3685 (0,03)	2745 (0,03)	4750 (0,03)
пароизоляция	МПа	-	-	-	280 (0,05)
утеплитель	МПа	-	64 (0,15)	128 (0,15)	850 (0,15)
цем.-песч.стяжка	МПа	700 (0,1)	700 (0,1)	700 (0,1)	700 (0,1)
рубероидный ковёр	МПа	950 (0,1)	950 (0,1)	950 (0,1)	950 (0,1)
<i>временные</i>					
снеговая	МПа	1400 (0,4)	1400 (0,4)	1400 (0,4)	1400 (0,4)
<b>характеристики покрытия</b>					
пролёт	мм	6000	6000	6000	6000
ширина	мм	3000	3000	3000	300*
высота	мм	400	300	200	550
площадь арматуры	мм <sup>2</sup>	3000	3000	3000	1000
$R_{arm}$	МПа	300	300	300	400
$R_{bet}$	МПа	7,5	7,5	7,5	8,5

**Результаты исследований.** Расчёты производились путём численного решения уравнения (2) при определённых параметрах, исходя из данных значений индикаторов отказа  $n_{\psi}$  с последующим вычислением вероятности отказа  $P(t)$  по формуле (3). Результаты расчётов приведены в таблице 2 и представлены на рис. 2, 3.

**Таблица 2 – Результаты расчетов вероятности отказа и надежности плит покрытий**

Вероятность отказа при t=	схема 1	схема 2	схема 3	балочное перекрытие
$P_0$ (нач. экспл.)	4,8503E-07	4,2251E-07	5,3633E-07	1,3349E-06
$P_{50}$ (50 лет)	5,2800E-07	4,4585E-07	6,5159E-07	4,0649E-05
$P_{100}$ (100 лет)	5,3974E-07	4,5206E-07	6,9136E-07	1,2341E-04
Надёжность при t=	схема 1	схема 2	схема 3	балочное перекрытие
$W_0$ (нач. экспл.)	0,999999515	0,99999958	0,99999946	0,99999867
$W_{50}$ (50 лет)	0,999999472	0,99999955	0,99999935	0,99995935
$W_{100}$ (100 лет)	0,99999946	0,99999955	0,99999931	0,99987659

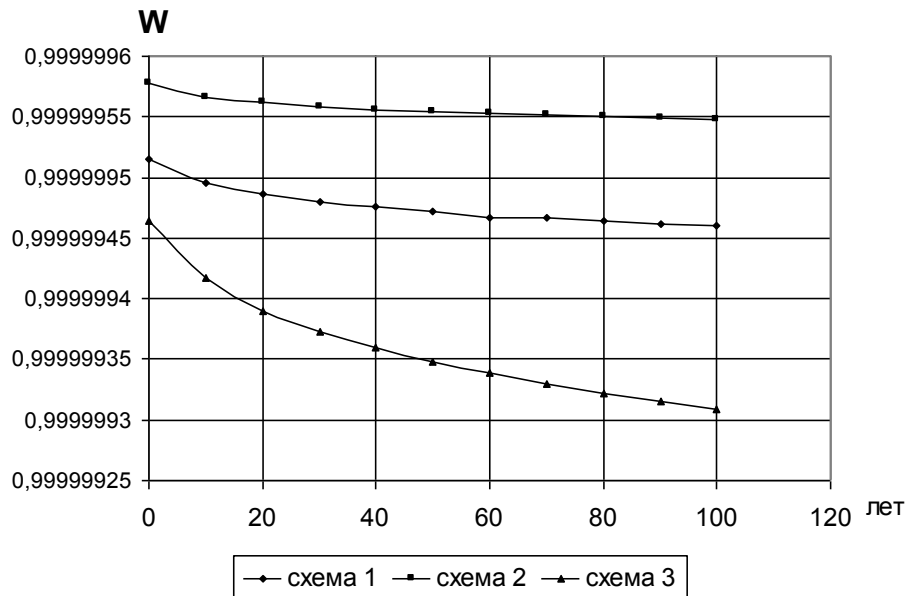


Рисунок 2 – Изменение надежности сталебетонной плиты покрытия во времени

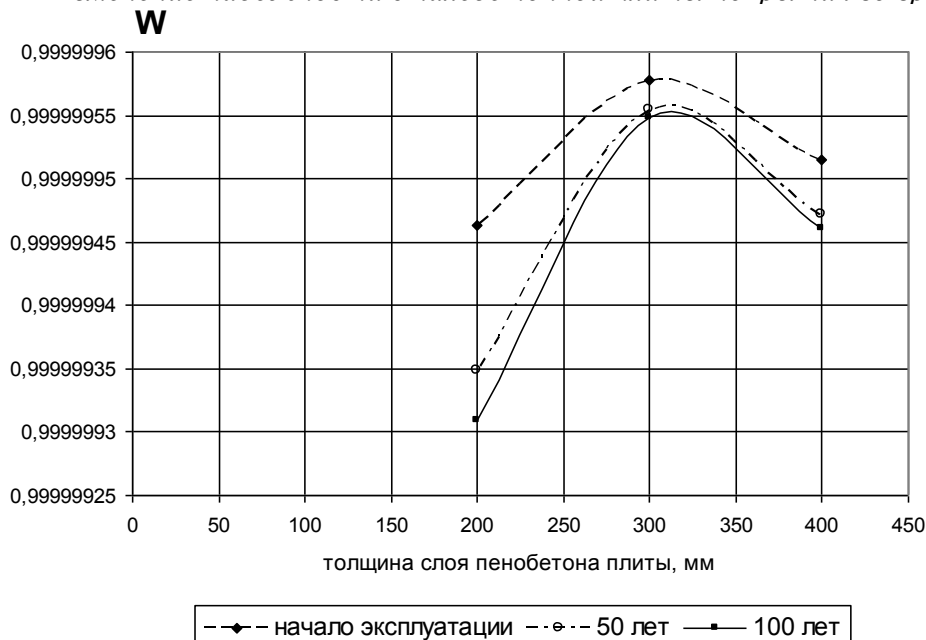


Рисунок 3 – Изменение показателя надежности от соотношения «толщина сталебетонной плиты – толщина утеплителя»

### Выводы:

1. Покрытие на основе сталебетонных плит показывает расчётную надёжность на один – два порядка выше перекрытий, выполненных по традиционной балочной схеме, что может быть объяснено избыточным армированием сталебетонных плит в силу их конструктивной схемы.

2. Как видно из полученных результатов, сталебетонное покрытие, выполненное по схеме 2, имеет наилучшие показатели надёжности, что позволяет сделать предположение о возможности оптимизации конструкции по этому показателю при варьировании соотношения «толщина бетона – толщина утеплителя», что является предметом дальнейшего исследования.

### Литература

1. Патент России на изобретение № 2140500. Сталебетонное перекрытие / Э.Д. Чихладзе, В.И. Колчунов, Е.В. Стафинова – Оpubл. Бюл.№ 30 от 27.10 1999.
2. АС СССР №1647101 , Е 04 В 5/40. Перекрытие / Чихладзе Э.Д. и др. – Оpubл. Бюл.№ 17 от 07.05.1991.

3. Стороженко, Л.І. Сталезалізобетонні часторебристі перекриття: монографія. / Л.І. Стороженко, О.В. Нижник, О.А. Крупченко. – Полтава: ООО «АСМІ», 2008. – 164 с.

4. Чихладзе, Э.Д. Температурно-влажностный режим сталебетонных несущих и ограждающих конструкций промышленных зданий и сооружений: монография / Э.Д. Чихладзе, Л.В. Гапонова; Харьк. нац. акад. город. хоз-ва. – Х.: ХНАГХ, 2011. – 188 с.

5. Високоєфективні технології та комплексні конструкції в промисловому й цивільному будівництві: монографія / О.Г. Онищенко, С.Ф. Пічугін, В.О. Онищенко, Л.І. Стороженко, О.В. Семко, Ю.С. Слюсаренко, І.А. Ємельянова, О.М. Ландар. – Полтава: ПФ «Форпіка», 2010. – 452 с.

6. Пічугін, С.Ф. Надежность строительных конструкций. Работа научной школы проф. Пичугина С.Ф. – Полтава: ООО «АСМІ», 2010. – 434 с.

7. Гаевой, А.Ф. Качество и долговечность ограждающих конструкций из ячеистого бетона / А.Ф. Гаевой, Б.А. Качура. – Х.: Вища школа, 1978. – 224 с.

8. Лычев, А.С. Надежность строительных конструкций / А.С. Лычев. – М.: АСВ, 2008. – 184 с.

Надійшла до редакції 09.12. 2011

© Л.В. Гапонова, А.В. Ромашко

**Л.В. Гапонова, к.т.н., докторант, А.В. Ромашко, к. т.н., доцент**

**Харківська національна академія міського господарства**

## **ІМОВІРНІСНИЙ РОЗРАХУНОК І ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ СТАЛЕБЕТОННИХ ПЛИТ**

*Здійснено оцінювання надійності сталебетонних плит, проаналізовано фактори, що впливають на надійність огорожувальних конструкцій.*

*Ключові слова: сталебетон, надійність, захисна конструкція.*

**L.V. Gaponova, candidate of science, doctoral candidate**

**A.V. Romashko, candidate of science, docent**

**Kharkiv National Academy of Municipal Economy**

## **PROBABILISTIC CALCULATION AND ASSESSMENT OF RELIABILITY REINFORCED CONCRETE SLABS**

*An assessment of the reliability of reinforced concrete slabs, made up of the factors affecting the reliability of frame structures.*

*Key words: reinforced concrete, reliability, cladding.*