

УДК 624.046:692.4:688.77

Коняшкина О. А.,  
к.т.н. Псюк В. В.,  
к.т.н. Николаева Е. К.  
(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР, oksakon17@mail.ru)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ПОКРЫТИЯ НАДЗЕМНОЙ ПЛОЩАДКИ ОТДЫХА

Выполнен сопоставительный анализ нагрузки на плиту покрытия до и после реорганизации. Приведены результаты оценки несущей способности элементов эксплуатируемого покрытия с устройством площадки отдыха.

**Ключевые слова:** эксплуатируемая кровля, несущая способность, многослойная плита, проверочный расчет.

Функциональная целесообразность обустройства эксплуатируемой кровли обеспечивается следующими положениями:

- создание условий для отдыха горожан в природном окружении;
- обогащение архитектурно-художественного облика города;
- экономия энергии на отопление и кондиционирование за счёт улучшения теплотехнических характеристик совмещённого покрытия.

В качестве объекта эксперимента по внедрению мировой и отечественной практики озеленения и эксплуатации плоских крыш в ДонГТИ выбрана крыша входной части лабораторного корпуса (рис. 1), что объясняется её небольшой высотой (4 м) и доступностью (выход на нее расположен в

торце коридора второго этажа лабораторного корпуса) [1]. Кроме того, существующее конструктивное решение покрытия лабораторного корпуса ДонГТИ категорически не удовлетворяет требованиям энергосбережения, поскольку  $R_o$  меньше  $R_o^{mp}$  более чем в 2,5 раза [1]:

$$R_o = 1,131 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}} < R_o^{mp} = 3,03 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}.$$

Тогда как приведенное сопротивление теплопередаче предлагаемой эксплуатируемой кровли с двумя слоями экструзивного пенополистирола по 40 мм [2] составит:

$$R_o = 3,504 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}} > R_o^{Tp} = 3,03 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}.$$



Рисунок 1 Входная зона лабораторного корпуса ДонГТИ

Выбранный для эксперимента объект обеспечит ещё ряд дополнительных к вышеизложенным преимуществ:

– значительное улучшение вида, открывающегося из окон главного корпуса за счёт замены непрезентабельной асфальто-чёрной плоскости покрытия входной зоны лабораторного корпуса на территорию, хоть и небольшую, но гармонично сочетающую такие природные элементы, как камень, дерево, земля;

– формирование для студентов направлений обучения «Дизайн архитектурной среды» и «Строительство» наглядного примера по созданию природоориентированной архитектуры.

Создание эксплуатируемых покрытий связано с увеличением нагрузки на несущие конструкции и получением разрешения в строительных и архитектурных органах местного самоуправления. В идеале решение об организации эксплуатируемой кровли необходимо принимать ещё на этапе планирования всего здания. В этом случае возможно проведение всех расчётов возможных нагрузок на фундамент и элементы несущей конструкции. Но вполне реален монтаж зелёной эксплуатируемой кровли на этапе функционирования здания. В этом случае порядок работ при устройстве площадки отдыха на крыше эксплуатируемого здания будет следующий:

- обследование плоской крыши;
- разработка проектного решения и получение разрешения на его строительство;
- теплотехнический расчёт покрытия;
- усиление несущей конструкции крыши (при необходимости);
- устройство конструктивных слоёв эксплуатируемой крыши;
- устройство вегетационных слоёв крыши;
- обустройство площадки.

В данной статье авторами была поставлена **задача** оценить несущую способность элементов покрытия при устройстве площадки отдыха на крыше входной зоны лабораторного корпуса ДонГТИ.

Для решения поставленной задачи необходимо провести следующие исследования:

- выполнить проверочный расчёт несущих элементов покрытия;
- в случае необходимости разработать вариант усиления несущей конструкции покрытия.

Проектное предложение благоустройства крыши представлено на рисунке 2. Предлагаемое композиционное решение основано на асимметричной композиции, состоящей из двух взаимодополняющих частей: зелёных насаждений и мощения [1].

В соответствии с требованиями [2] нагрузка на  $1 \text{ м}^2$  многопустотной плиты до реорганизации покрытия приведена в таблице 1.

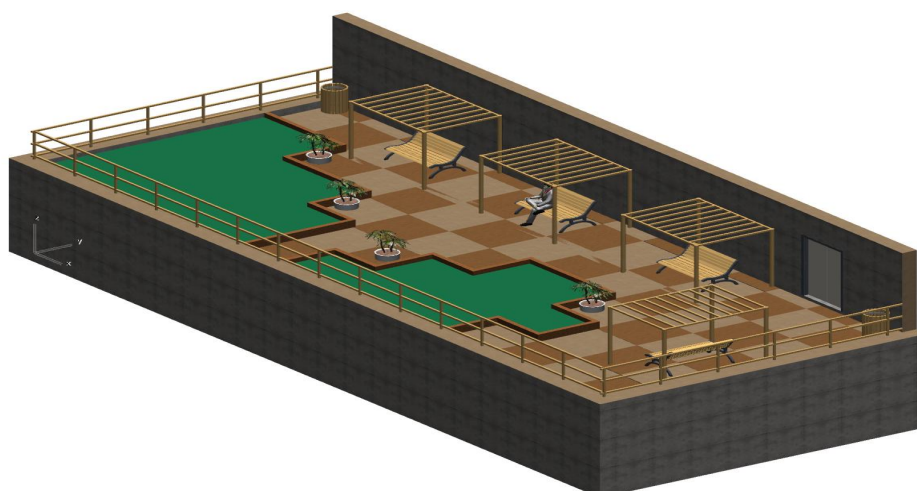


Рисунок 2 Проектное предложение благоустройства крыши

Таблица 1

Нагрузка на 1 м<sup>2</sup> многопустотной плиты покрытия до реорганизации покрытия

№ п/п	Вид нагрузки	Нормативная нагрузка, кН/м <sup>2</sup>	Коэффициент надёжности по нагрузке	Расчётная нагрузка, кН/м <sup>2</sup>
Постоянная:				
1	Собственный вес плиты $\rho \cdot h_{red} = 22 \cdot 0,121$	2,662	1,1	2,928
2	Утеплитель $\rho \cdot \delta = 8 \cdot 0,15$	1,2	1,3	1,56
3	Цементно-песчаная стяжка $\rho \cdot \delta = 18 \cdot 0,02$	0,36	1,3	0,468
4	Трёхслойный рубероидный ковёр $\rho \cdot \delta = 6 \cdot 0,012$	0,072	1,3	0,094
Итого постоянная:		$g_{пост}^H = 4,294$		$g_{пост}^P = 5,05$
Временная:				
5	Снеговая нагрузка	$P_H = 0,5$	1,4	$S_p = 0,7$
Итого полная:		$g^H = 4,794$		$g^P = 5,755$

Приведенная толщина плиты:

$$h_{red} = h_{нл} - \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{n_{отв}}{b_{пл}}, \quad (1)$$

$$h_{red} = 220 - \frac{3,14 \cdot 159^2}{4} \cdot \frac{6}{1200} = 121 \text{ мм.}$$

Нормативное значение снеговой нагрузки на вертикальную проекцию покрытия:

$$P_H = p_0 \cdot c, \quad (2)$$

где  $p_0 = 0,5$  кПа — вес снегового покрова на 1 м<sup>2</sup> горизонтальной поверхности земли, район строительства — г. Коммунарск (I снеговой район) [2];

$c$  — коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие [2].

Снеговую нагрузку на покрытие возле парапета следует принимать по следующей схеме (рис. 3), если  $h > \frac{p_0}{2}$ .

$$\text{При } h = 0,25 = \frac{0,5}{2} = 0,25 \quad c = 1.$$

$$P_H = 0,5 \cdot 1 = 0,5 \text{ кПа.}$$

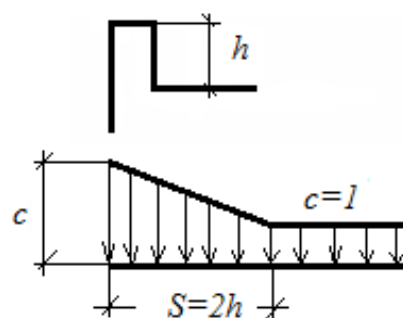


Рисунок 3 Снеговая нагрузка на парапет

При  $g_{пост}^H / p_0 = 4,294 / 0,5 = 8,59 > 1$  коэффициент перегрузки равен 1,4.

На основании натурных замеров и имеющейся документации установлено, что в качестве несущих элементов покрытия применены многопустотные плиты ПК60.12 (серия 1.141–1.63). Такие плиты изготавливались с рабочей арматурой 4Ø10Ат-V (площадь напрягаемой арматуры  $A_{sp} = 3,14 \text{ см}^2$ ) (рис. 4).

В соответствии с требованиями [3] нагрузка на 1 м<sup>2</sup> многопустотной плиты после реорганизации покрытия приведена в таблице 2.

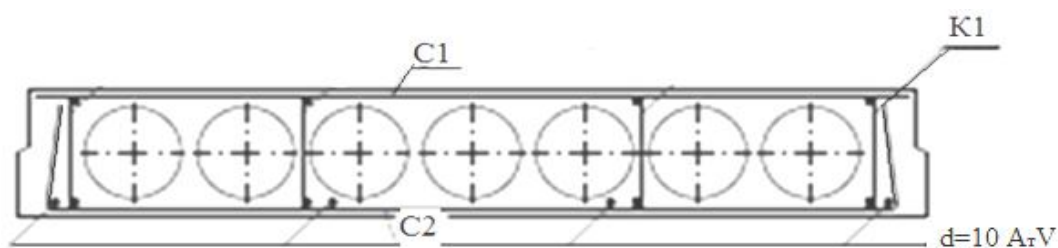


Рисунок 4 Армирование многопустотной плиты

Таблица 2

Нагрузка на 1 м<sup>2</sup> многопустотной плиты покрытия после реорганизации покрытия

№ п/п	Вид нагрузки	Нормативная нагрузка, кН/м <sup>2</sup>	Коэффициент надёжности по нагрузке	Расчётная нагрузка, кН/м <sup>2</sup>
Постоянная:				
1	Собственный вес плиты $\rho \cdot h_{red} = 22 \cdot 0,121$	2,662	1,1	2,928
2	Керамзитовый гравий: $\rho_{пл} \cdot h_{red} = 4 \cdot 0,02$	0,08	1,3	0,104
3	Цементно-песчаная стяжка $\rho \cdot \delta = 18 \cdot 0,04$	0,72	1,3	0,936
4	Техноэласт ЭПП	0,0495	1,3	0,064
5	Утеплитель экструзивный пенополистирол XPS CARBON 35-300 СТАНДАРТ $\rho \cdot \delta = 0,45 \cdot 0,08$	0,036	1,2	0,043
6	Керамзитовый гравий $\rho \cdot \delta = 4 \cdot 0,04$	0,16	1,3	0,208
7	Пергамин: $\rho \cdot \delta = 6 \cdot 0,0015$	0,009	1,2	0,011
8	Цементно-песчаная стяжка $\rho \cdot \delta = 18 \cdot 0,03$	0,54	1,3	0,702
9	Плитка клинкерная	0,27	1,2	0,324
	Итого постоянная:	$g_{пост}^H = 4,482$		$g_{пост}^P = 5,374$
10	Временная — зона отдыха	$V^H = 2$	1,2	$V^P = 2,4$
	Итого полная	$g^H = 6,482$		$g^P = 7,774$

Существующая многопустотная плита покрытия была рассчитана на нагрузку, равную 6 кПа (с учетом собственного веса плиты).

Поэтому необходим расчет плиты на нагрузку после реорганизации покрытия, равную 7,774 кПа.

По степени ответственности здание лабораторного корпуса относится к классу II, коэффициент надёжности по назначению

$\gamma_n = 0,95$  [4]. Плита изготовлена из тяжелого бетона класса по прочности на сжатие В15:  $R_b = 8,5$  МПа  $\gamma_{b2} = 0,9$  [5]. Продольная арматура изготовлена из стали класса Ат-V:  $R_s = 680$  МПа;  $R_{s,ser} = 785$  МПа [5].

Расчетный пролет плиты:

$$l_p = l_k - \frac{4}{3} l_{op} = 5,98 - \frac{4}{3} \cdot 0,12 = 5,82 \text{ м,}$$

где  $l_{op} = 120$  мм — глубина опирания плиты на стену.

Расчетная нагрузка на 1 м при ширине 1,2 м с учетом коэффициента надежности по назначению здания  $\gamma_n = 0,95$ :

$$q = g^P \cdot b_{пл} \cdot \gamma_n, \quad (3)$$

$$q = 7,774 \cdot 1,2 \cdot 0,95 = 8,862 \text{ кН/м.}$$

Изгибающий момент в середине пролёта и поперечное усилие на опоре от полной расчетной нагрузки:

$$M = \frac{g^P \cdot l_o^2}{8}, \quad (4)$$

$$M = \frac{8,862 \cdot 5,82^2}{8} = 37,52 \text{ кНм.}$$

Для расчета сечение многопустотной плиты приведено к тавровому высотой  $h = 220$  мм, толщиной сжатой полки  $h'_f = 30$  мм, шириной полки  $b'_f = 119$  см, шириной ребра  $b = 19,5$  см (рис. 5).

Начальное предварительное напряжение арматуры принято из условий:

$$\sigma_{sp} = 0,75R_{s,ser} = 0,75 \cdot 785 = 589 \text{ МПа,}$$

что меньше

$$R_{s,ser} - p = 785 - 90 = 695 \text{ МПа,}$$

но больше

$$0,3R_{s,ser} = 0,3 \cdot 785 = 236 \text{ МПа,}$$

где

$$p = 30 + \frac{360}{6} = 30 + \frac{360}{6} = 90 \text{ МПа.}$$

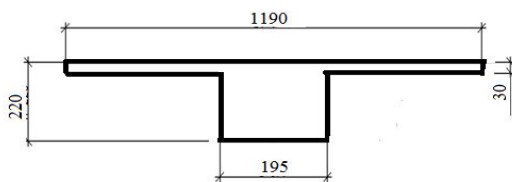


Рисунок 5 Расчетное приведенное сечение плиты

Рабочая высота сечения:

$$h_0 = h - a = 22 - 2,5 = 19,5 \text{ см,}$$

где  $a = 2,5$  см — защитный слой.

Относительная высота сжатой зоны бетона:

$$\xi_R = \frac{\omega}{1 + \frac{\sigma_{SR}}{\sigma_{sc,u}} \left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)}, \quad (5)$$

$$\xi_R = \frac{0,789}{1 + \frac{392}{500} \cdot \left(1 - \frac{0,789}{1,1}\right)} = 0,646,$$

где  $\omega$  — характеристика сжатой зоны бетона

$$\omega = \alpha - 0,008 \cdot R_b \cdot \gamma_{b2}, \quad (6)$$

$$\omega = 0,85 - 0,008 \cdot 8,5 \cdot 0,9 = 0,789.$$

$\sigma_{SR}$  — напряжение в предварительно напрягаемой арматуре:

$$\sigma_{SR} = R_s + 400 - \sigma_{sp} - \Delta\sigma_{sp}, \quad (7)$$

$$\sigma_{SR} = 680 + 400 - 589 - 99 = 392 \text{ МПа;}$$

$$\Delta\sigma_{sp} = 1500 \cdot \frac{\sigma_{sp}}{R_s} - 1200, \quad (8)$$

$$\Delta\sigma_{sp} = 1500 \cdot \frac{589}{680} - 1200 = 99 \text{ МПа;}$$

$\sigma_{s,cu} = 500$  МПа — предельное напряжение в арматуре сжатой зоны.

$$A_R = \xi_R \cdot (1 - 0,5 \cdot \xi_R), \quad (9)$$

$$A_R = 0,646 \cdot (1 - 0,5 \cdot 0,646) = 0,437.$$

Условие прочности изгибаемого элемента:

$$M < M_f = R_b \cdot \gamma_{b2} \cdot b'_f \cdot h'_f \times (h_0 - 0,5 \cdot h'_f), \quad (10)$$

$$M_f = 8,5 \cdot 0,9 \cdot 1,19 \cdot 0,03 \cdot (0,195 - 0,5 \cdot 0,03) = 0,04097 \text{ МНм} = 40,97 \text{ кНм.}$$

$$M = 39,5 \text{ кНм} < M_f = 40,97 \text{ кНм.}$$

Условие выполняется, следовательно, нейтральная ось проходит в пределах сжатой полки таврового сечения, и расчет выполняется как для прямоугольного сечения шириной, равной  $b = b'_f = 119$  см.

Определяем:

$$A_0 = \frac{M}{R_b \cdot \gamma_{b2} \cdot b'_f \cdot h_0^2}, \quad (11)$$

$$A_0 = \frac{37,52 \cdot 10^{-3}}{8,5 \cdot 0,9 \cdot 1,19 \cdot 0,195^2} = 0,108.$$

$$A_0 = 0,108 < A_R = 0,437.$$

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2A_0}, \quad (12)$$

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,108} = 0,115,$$

$$\eta = 1 - 0,5\xi = 1 - 0,5 \cdot 0,115 = 0,943.$$

Коэффициент условий работы арматуры повышенной прочности:

$$\gamma_{s6} = \eta - (\eta - 1) \cdot \left( 2 \frac{\xi}{\xi_R} - 1 \right) \leq \eta, \quad (13)$$

где  $\eta = 1,2$ ,

$$\gamma_{s6} = 1,2 - (1,2 - 1) \cdot \left( 2 \cdot \frac{0,115}{0,437} - 1 \right) = 1,295 > 1,2.$$

К расчету принято  $\gamma_{s6} = 1,2$ .

Требуемая площадь сечения растянутой арматуры:

$$A_{sp}^{тр} = \frac{M}{R_s \cdot \gamma_{s6} \cdot \eta \cdot h_0}, \quad (14)$$

$$\begin{aligned} A_{sp}^{тр} &= \frac{37,52 \cdot 10^{-3}}{680 \cdot 1,2 \cdot 0,943 \cdot 0,195} = \\ &= 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 2,5 \text{ см}^2. \end{aligned}$$

### Библиографический список

1. Николаева, Е. К. Устройство площадки отдыха на крыше лабораторного корпуса ДонГТИ [Текст] / Е. К. Николаева, В. В. Псюк, О. А. Коняшкина // Сборник научных трудов ДонГТИ. — Вып. 26 (69). — Алчевск : ДонГТИ, 2022. — С. 50–59.
2. СНиП II-6-74. Нагрузки и воздействия. — Введ. 1974–02–08. — М. : Стройиздат, 1976. — 59 с.

Поскольку требуемая площадь сечения напрягаемой рабочей арматуры, равная  $2,5 \text{ см}^2$ , меньше, чем площадь напрягаемой арматуры в существующей многопустотной плите ПК60.12-6АтVт ( $3,14 \text{ см}^2$ ), то несущая способность покрытия после реорганизации обеспечена.

### Выводы:

1. Сегодня озеленение крыш становится всё более и более актуальным, так как позволяет рационально использовать горизонтальную поверхность зданий, вносит весомый вклад в улучшение экологии города, обеспечивает экономию энергии на отопление и кондиционирование за счёт улучшения теплотехнических характеристик совмещённого покрытия.

2. Создание эксплуатируемых покрытий связано с увеличением нагрузки на несущие конструкции, поэтому необходимо производить расчет несущей способности строительных конструкций существующей кровли для устройства эксплуатируемого покрытия.

3. Требуемая площадь сечения напрягаемой рабочей арматуры, равная  $2,5 \text{ см}^2$ , меньше, чем площадь напрягаемой арматуры в существующей многопустотной плите ПК60.12-6АтVт.

4. Исходя из результатов расчёта многопустотной плиты покрытия по первой группе предельных состояний определено, что существующая плита обеспечивает несущую способность покрытия после реорганизации.

3. СП 20.13330.2011. *Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\**. — Введ. 2011–05–20. — М. : Минрегион России. — 96 с.
4. ГОСТ 27751-88. *Надежность строительных конструкций и оснований*. — Введ. 1988–07–01. — М. : Госстрой СССР. — 6 с.
5. СНиП 2.03.01-84\*. *Бетонные и железобетонные конструкции*. — Введ. 1986–01–01 — М. : Госстрой СССР. — 79 с.
6. *Расчет и конструирование частей жилых и общественных зданий: справочник проектировщика [Текст] / П. Ф. Вахненко, В. Г. Хилобок и др.* — К. : Будивельник, 1987. — 424 с.

© Коняшкина О. А.

© Псюк В. В.

© Николаева Е. К.

*Рекомендована к печати к.т.н., доц., зав. каф. АД и СК ДонГТИ Бондарчуком В. В., к.т.н., доц. каф. СА ФЭиБ ЛГУ им. В. Даля Емец Е. В.*

*Статья поступила в редакцию 01.12.2022.*

**Koniashkina O. A., PhD in Engineering Psiuk V. V., PhD in Engineering Nikolaeva E. K.**  
*(DonSTI, Alchevsk, LPR, oksakon17@mail.ru)*

#### **DETERMINING THE LOAD-BEARING CAPACITY OF COVERING ELEMENTS OF THE ABOVEGROUND RECREATION AREA**

*A comparative analysis of the load on the coating plate before and after the reorganization was performed. The results of the assessment of the load-bearing capacity of covering elements actuated with the recreation area equipment are presented.*

**Key words:** *exploited roof, load-bearing capacity, multi-hollow plate, checking calculation.*