

УДК 624.012

<sup>1,\*</sup>Давиденко А. И., <sup>1</sup>Давиденко А. А., <sup>2</sup>Пушко Н. И.

<sup>1</sup>Луганский государственный аграрный университет имени К. Е. Ворошилова,

<sup>2</sup>ООО «Южный горно-металлургический комплекс»

\*E-mail: a.davidenko57@yandex.ru

## НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ПЛИТ БЕЗРУЛОННОЙ КРОВЛИ И ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЯ С ВНЕШНИМ АРМИРОВАНИЕМ СТАЛЬНЫМ ПРОФИЛИРОВАННЫМ НАСТИЛОМ И СТЕРЖНЕВОЙ АРМАТУРОЙ

В статье приведены особенности конструирования и расчетные зависимости определения прочности нормальных сечений ребристых плит перекрытия и безрулонной кровли, армированных стальным профилированным настилом и стержневой арматурой. Приведены зависимости деформационной методики расчета плит с внешним армированием и стержневой арматурой. Для учета развития пластических деформаций в бетоне сжатой зоны принята диаграмма Прандтля. Показано, что введение стержневой арматуры позволяет значительно увеличить прочность плит с внешним армированием, снизить прогиб элемента, увеличить огнестойкость плиты.

**Ключевые слова:** прочность, бетон, предварительное напряжение, стальной профилированный настил, арматура, плита.

**Постановка проблемы.** В современном строительстве производственных и гражданских зданий большое значение приобретает повышение качества и надежности плит перекрытий и кровельных покрытий. Состояние технологии устройства кровель в строительстве в целом не удовлетворяет требованиям его индустриализации и качества. Применяемые в строительстве конструкции покрытия многооперационные, трудоемкие, требуют больших затрат. Недостатком безрулонных крыш с ребристыми железобетонными панелями, уложенными ребрами вверх с нащельниками и лотковыми панелями корытообраз-

ного сечения, является сложность изготовления и монтажа, проблемы с гидроизоляцией, требующей, как показывает практика эксплуатации, капитального ремонта рулонными материалами (рис. 1).

**Целью работы** является разработка конструктивного решения и метода расчета плит с внешним армированием стальным профнастилом и стержневой арматурой.

**Материалы и методы исследований.** **Объектами исследований** являются плиты перекрытия и плиты безрулонной кровли, армированные стальным профнастилом и стержневой арматурой.



Рисунок 1 — Дефекты безрулонных крыш с ребристыми железобетонными панелями и их ремонт рулонными материалами

Проектирование большепролетных железобетонных элементов с внешним армированием профнастилом связано с использованием в растянутой зоне поперечного сечения ребер плиты дополнительных арматурных стержней. С одной стороны, это соответствует требованиям огнестойкости конструкции плит, с другой — уменьшается расход стали за счет использования арматуры высокой прочности, снижается прогиб элемента, увеличивается изгибная жесткость, устраняется появление трещин, увеличивается срок службы при эксплуатации. Отсутствие нормативных документов по расчету прочности нормальных сечений элементов безрулонной кровли с внешним армированием сдерживает внедрение сталежелезобетонных элементов в практику проектирования. Учитывая, что увеличение пролетов плит с внешним армированием напрямую связано со снижением количества стальных балок настила, материалоемкости конструкций перекрытий, вопросы оценки прочности плит с внешним армированием представляются актуальными.

Оценка напряженно-деформированного состояния сечения элемента основывается на зависимости, связывающей напряжения в сечении, его деформации и действующие усилия. Для учета развития пластических деформаций в бетоне сжатой зоны может быть принята диаграмма Прандтля [1] либо реальная диаграмма деформирования бетона [2]. Использование диаграммы Прандтля в стальном профилированном настиле, в отличие от предпосылок, приведенных в [3], позволяет учитывать его упругопластические свойства, распределяемые по высоте сечения плиты.

**Результаты и обсуждение.** Наиболее эффективным с точки зрения удельной несущей способности представляется конструктивное решение многопустотной ребристой плиты, образованной размещением пустотообразователей (картонных труб) в пространстве между гофрами профнастила в растянутой зоне (рис. 2).

Предлагаемая конструкция по своим характеристикам приближена к хорошо себя зарекомендовавшей конструкции многопустотной железобетонной панели перекрытия. Вместе с тем отличается значительным снижением трудоемкости изготовления: нет необходимости в специальном оборудовании — пустотообразователях, формах, изготовлении корытообразных сеток и каркасов, постановке поперечной арматуры, роль которой выполняют гофры стального профилированного настила (СПН). Совместная работа СПН и бетона в пролете плиты осуществляется с помощью винтов-саморезов либо арматурных коротышей размером на ширину гофры, которые одновременно выполняют роль фиксаторов пустотообразователей в стальном профилированном настиле при изготовлении плиты. Плита пролетом 6 м после изготовления и распалубки приведена на рисунке 3.

Проведенные испытания предложенных плит перекрытия с внешним армированием показали, что использование в конструкции многопустотной ребристой плиты пустотообразователей представляется рациональным по результатам расчетов прочности и деформативности конструкций, оценке их удельной несущей способности (табл. 1).

Конструкция кровельной плиты безрулонной кровли в стадии изготовления подобна представленной на рисунке 2, с той лишь разницей, что сетка стержневой арматуры имеет рабочие стержни, расположенные в продольном направлении, принимаемые по расчету. Конструкция кровельной плиты безрулонной кровли в стадии эксплуатации приведена на рисунке 4.

Кровельные плиты безрулонной кровли могут быть представлены с пустотообразователями и без них. Нащельники из одиночных гофр профнастила укладываются и закрепляются кровельными саморезами по верхним граням и боковым гофрам на крайних элементах. Таким образом, крайние элементы плит представлены половинами гофр, заполненных бетоном.

СТРОИТЕЛЬСТВО

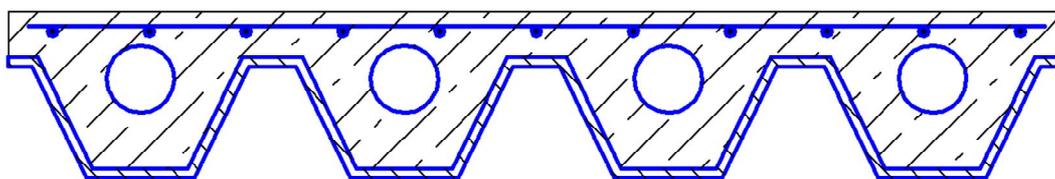


Рисунок 2 — Конструктивное решение плиты перекрытия с внешним армированием



Рисунок 3 — Плита пролетом 6 м после изготовления и распалубки

Показатели эффективности многопустотных ребристых плит, армированных СПН Таблица 1

Серия	Объем бетона, м <sup>3</sup>	СПН (арматура) м <sup>2</sup> /кг	Собственный вес, кг		Удельная несущая способность М <sub>max</sub> /l×m
			м	1 м <sup>2</sup>	
Многопустотные ребристые плиты L = 6 м	0,535	5,91 / 64,99	975	162,5	1,93
Плиты СКН 90-1000Z (г. Москва) L = 6 м	0,614	7,3 / 57,3	1592	265,4	0,164
Панели железобетонные многопустотные L = 6 м	0,991	- / 115,2	1750	290	0,49

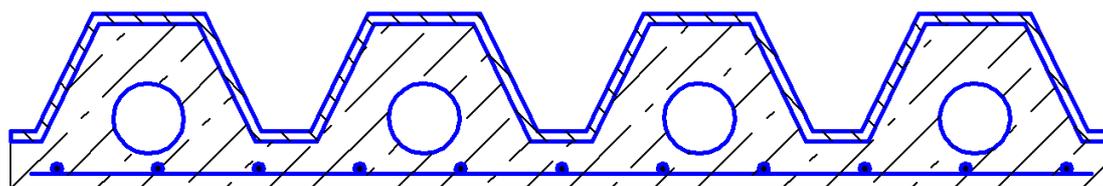


Рисунок 4 — Конструкция кровельной плиты в стадии эксплуатации безрулонной кровли

Ниже приведены основные предпосылки, позволяющие сформулировать расчетные зависимости и выполнить расчет прочности многопустотных ребристых плит безрулонной кровли с внешним армированием и стержневой арматурой:

– расчетное сечение плиты в пролете принимается в виде таврового сечения, приведенного на рисунке 5;

– потеря несущей способности сталебетонного элемента наступает при напряжениях в стальном профилированном настиле и арматуре меньше расчетного сопротивления  $R_n$ ;

– эпюра напряжений в стальном профилированном настиле принимается в виде упруго-пластической диаграммы Прандтля;

– эпюра напряжений в сжатой зоне сечения плиты в момент, предшествующий разрушению, принимается в виде трапеции высотой  $x$ , имеющей условно-пластическую ( $x_1$ ) и условно упругую зоны ( $x-x_1$ ); напряжения в условно-пластической зоне равны  $R_b$  (рис. 5);

– практически до момента разрушения считается справедливой гипотеза плоских сечений, при которой деформации крайней фибры сжатого бетона полки плиты достигают предельной сжимаемости бетона;

– деформации бетона на уровне границы условно пластической и условно упругой зон вычисляются по формуле

$$\varepsilon_{bel} = \frac{R_b}{E_b},$$

где  $E_b$  — начальный модуль упругости бетона.

Принятие эпюры напряжений в виде трапеции не означает наличие идеальных упругих и пластических зон, а является

лишь аппроксимацией реальной криволинейной эпюры распределения напряжений. Использование гипотезы плоских сечений является приближением, позволяющим удовлетворить все условия равновесия, которые дают вполне сопоставимые результаты вычисления несущей способности при сравнении их с опытными значениями.

При определении несущей способности неизвестными являются высота сжатой зоны  $x$ , напряжения в профилированном настиле, высота упругой части сжатой зоны  $x_1$  и несущая способность  $M$  (рис. 5).

Высота упругой части сжатой зоны может быть получена на основании гипотезы плоских сечений:

$$x_1 = \eta \cdot x, \quad (1)$$

где

$$\eta = \frac{R_b}{E_b \varepsilon_{bu}}. \quad (2)$$

С учетом (1, 2) число неизвестных сводится к двум (высота сжатой зоны  $x$  и несущая способность), определяемых из условий равновесия в зависимости от расположения нейтральной оси.

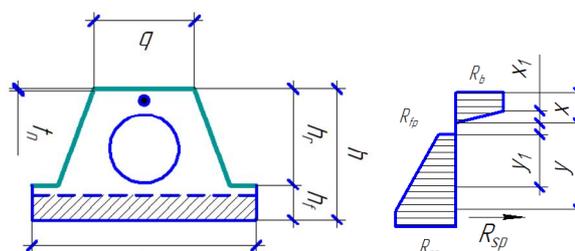


Рисунок 5 — Распределение напряжений в сечении плиты ( $x \leq h_f$ )

При расположении эпюры напряжений полностью в пределах верхней полки ( $x \leq h_f$ ) (рис. 5) высота сжатой зоны определяется из уравнения (3):

$$\begin{aligned} & \frac{R_b b_f}{2} \chi(2-\eta) - t_n [R_{fp} \cdot (b_f - b) + \\ & + R_{np} \cdot b + 2 \cdot R_{wel}(x + y - h_f) + \\ & + 2 \cdot R_{wpl} \cdot (h - x - y)] + R_s \cdot A_s = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Проверка прочности сечения выполняется из условия (4):

$$\begin{aligned} M \leq & R_b \cdot b_f \cdot x^2 \frac{2-\eta+0,5 \cdot (1-\eta)^2}{3} + \\ & + t_n [R_{fp} \cdot (b_f - b) \cdot (h_f - x) + R_{np} \cdot b \cdot (h - x) + \\ & + 2 \cdot R_{wel}(x + y - h_f) \cdot (h_f - x + y_1) + \\ & + R_{wpl} \cdot (h - x - y) \cdot (h - x + y)] + \\ & + R_s A_s (h - x - a_{sp}). \end{aligned} \quad (4)$$

В формулах (3) и (4):

– напряжения в верхней полке профнастила:

$$R_{fp} = \frac{E_n \cdot R_b \cdot (h_f - x)}{E_b \cdot (\eta \cdot x)}; \quad (5)$$

– напряжения в нижней полке профнастила:

$$R_{np} = \frac{E_n \cdot R_b \cdot (h - x)}{E_b \cdot (\eta \cdot x)} \leq R_n; \quad (6)$$

– напряжения в стенках профнастила в случае их расположения в упругой зоне:

$$R_{wel} = \frac{R_{fp} + R_{np}}{2}; \quad (7)$$

– напряжения в стенках профнастила, расположенных в пластической зоне:

$$\begin{aligned} & \text{при } (y + x) < h \quad R_{wpl} = R_n; \\ & \text{при } (y + x) > h \quad R_{wpl} = 0; \end{aligned} \quad (8)$$

– вычисление расстояния от верхней полки профнастила до центра тяжести эпюры напряжений в стенке в упругой зоне выполняется по формуле:

$$y_1 = \frac{(x + y - h_f) \cdot (R_{fp} + 2 \cdot R_n)}{3 \cdot (R_{fp} + R_n)}; \quad (9)$$

– с использованием гипотезы плоских сечений определяется расстояние от нейтральной оси до точки излома эпюры напряжений в профнастиле:

$$y = \frac{R_n E_b \eta \cdot x}{E_n R_b}. \quad (10)$$

Приведенные формулы позволяют определить несущую способность плит перекрытия, армированных профнастилом. Для расчета плит покрытия безрулонной кровли профнастил располагается сверху (см. рис. 4). При этом схема распределения напряжений в плите меняется при повороте сечения плиты на  $180^\circ$ . В уравнениях определения высоты сжатой зоны и момента несущей способности добавляется дополнительное слагаемое: усилие в растянутой арматуре, расположенной в полке плиты (формула (3)), и соответствующий статический момент (формула (4)).

#### Выводы:

1. Приведенные конструктивные решения многопустотной ребристой плиты и плиты безрулонной кровли представляются рациональными по результатам расчетов прочности конструкций, оценке их удельной несущей способности.

2. Приведенные уравнения расчета прочности нормальных сечений ребристых плит, армированных стальным профилированным настилом и стержневой арматурой, наиболее полно отражают напряженно-деформированное состояние конструкции по первой группе предельных состояний и могут быть использованы для расчета конструкций безрулонной кровли.

### Список источников

1. Проектирование железобетонных конструкций : справочное пособие / А. Б. Гольшев [и др.] ; под. ред. А. Б. Гольшева. К. : Будівельник, 1990. 543 с.
2. Трубчато-ребристая железобетонная плита со стальным профилированным настилом: конструктивное решение и расчет прочности / А. И. Давиденко, М. А. Давиденко, С. Ю. Беляева, Н. В. Присяжнюк // Современные строительные конструкции из металла и древесины : сборник научных трудов. Одесса, 2005. Ч. 1. С. 62–67.
3. Рекомендации по проектированию монолитных железобетонных перекрытий со стальным профилированным настилом / НИИЖБ, ЦНИИПромизданий. М. : Стройиздат, 1987. 40 с.

© Давиденко А. И., Давиденко А. А.

© Пушко Н. И.

Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. АДСК ДонГТУ Бондарчуком В. В.,  
к.т.н., доц. каф. ПСО ЛГАУ им. К. Е. Ворошилова Скотаренко В. В.

Статья поступила в редакцию 30.11.2023.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Давиденко Александр Иванович**, д-р техн. наук, профессор каф. проектирования сельскохозяйственных объектов

Луганский государственный аграрный университет имени К. Е. Ворошилова,  
г. Луганск, Луганская Народная Республика, Россия,  
e-mail: a.davidenko57@yandex.ru

**Давиденко Алексей Александрович**, канд. техн. наук, доцент каф. проектирования сельскохозяйственных объектов

Луганский государственный аграрный университет имени К. Е. Ворошилова,  
г. Луганск, Луганская Народная Республика, Россия

**Пушко Никита Игоревич**, начальник бюро коксохимического производства проектно-конструкторского отдела

ООО «Южный горно-металлургический комплекс»,  
г. Алчевск, Луганская Народная Республика, Россия

\***Davidenko A. I., Davidenko A. A.** (Lugansk State Agrarian University named after K. E. Voroshilov, Lugansk, Lugansk People's Republic, Russia, \*e-mail: a.davidenko57@yandex.ru), **Pushko N. I.**

(OOO "Southern Mining and Metallurgical Enterprise", Alchevsk, Lugansk People's Republic, Russia)

### LOAD-BEARING CAPACITY OF NON-ROLL ROOFING PLATES AND FLOOR SLABS,

### WITH THE EXTERNAL REINFORCEMENT OF STEEL SHEET AND BAR REINFORCEMENT

The article provides features on construction and calculation dependencies for strength determination of normal cross-sections of ribbed plates and non-roll roofing, reinforced with steel sheet and bar reinforcement. The dependencies of the deformation method for calculating plates with the external reinforcing and bar reinforcement were given. The Prandtl diagram is used to account the development of plastic deformations in the compressed zone of concrete. It is shown that the introduction of bar reinforcement allowed to significantly increase the span of plates with the external reinforcement, reduce the bend of the element, increase the fire resistance of a plate.

**Key words:** strength, concrete, prestressing, steel sheet, reinforcement, plate.

## References

1. Golyshev A. B. [et al.] *Design of reinforced concrete structures: a reference manual [Proektirovanie zhelezobetonnyh konstrukcij: spravochnoe posobie]*. Eds. A. B. Golyshev. K. : Budivel'nik, 1990. 543 p. (rus)
2. Davidenko A. I., Davidenko M. A., Belyaeva S. Yu., Prisyazhnyuk N. V. *Tubular ribbed reinforced concrete plate with steel sheet: design solution and strength calculation [Trubchato-rebristaya zhelezobetonnyaya plita so stal'nym profilirovannym nastilom: konstruktivnoe reshenie i raschet prochnosti]*. *Sovremennye stroitel'nye konstrukcii iz metalla i drevesiny: sbornik nauchnyh trudov*. Odessa. 2005. Part 1. Pp. 62–67. (rus)
3. *Recommendations for the design of monolithic reinforced concrete slabs with steel sheet*. NIIZHB, CNIIPromizdanij. M. : Strojizdat, 1987. 40 p. (rus)

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

***Davidenko Aleksandr Ivanovich***, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Agricultural Objects Design  
Lugansk State Agrarian University named after K. E. Voroshilov,  
Lugansk, Lugansk People's Republic, Russia,  
e-mail: a.davidenko57@yandex.ru

***Davidenko Aleksei Aleksandrovich***, PhD in Engineering, Assistant Professor of the Department of Agricultural Objects Design  
Lugansk State Agrarian University named after K. E. Voroshilov,  
Lugansk, Lugansk People's Republic, Russia

***Pushko Nikita Igorevich***, Chief of the Byproduct Coke-making Bureau of the Design and Engineering Department  
Southern Mining and Metallurgical Enterprise,  
Alchevsk, Lugansk People's Republic, Russia