

- енергоенергії. Вінниця: Вінниц. нац. техн. ун-т, 2017. 163 с.
9. Лось Л. В., Терлецький М. Д. Перспективна альтернативна енергетика. *Вісник Житомирського національного агроєкологічного університету*. 2013. № 1(1). С. 203-214.
  10. Кривцов В. С., Олейников О. М., Яковлев О. І. Невичерпна енергія: підруч. для студ. Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харк. авіац. ін-т», 2010. 620 с.
  11. Алексеенко С. В. Нетрадиционная энергетика. *Большая российская энциклопедия* / гл. ред. Ю. С. Осипов. М.: Большая российская энциклопедия, 2004—2017. С. 30-39.
  12. Масло В. Р. Альтернативна енергетика у контексті забезпечення сталого розвитку сільських територій. *Сталий розвиток економіки*. 2013. № 1. С. 66-69.
  13. Півняк Г. Г., Шкрабець Ф. П. Альтернативна енергетика в Україні. Дніпропетрівськ: Держ. вищ. навч. закл. «Нац. гірн. ун-т», 2013. 109 с.
  14. Трофименко О. О., Войтко С. В. Функціонування, стратегічний розвиток і регулювання відновлюваної енергетики. К.: Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін-т», 2014. 179 с.
  15. Альтернативная энергетика. *Abercade*: веб-сайт. URL: <http://www.abercade.ru/Energyland.info>
  16. 8 цікавих проектів у галузі альтернативної енергетики. *Bakertilly*: веб-сайт. URL: <http://bakertilly.ua/news/>
  17. Новини. *Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України*: веб-сайт. URL: <http://saee.gov.ua/uk>.

**Каржинерова Т.И. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В УКРАИНЕ.** В статье освещены современные тенденции эффективного использования энергоресурсов за счет применения инновационных решений, развитие и рост интереса к энергосберегающим технологиям в Украине. Подчеркнуто более эффективное использование топливно-энергетических ресурсов. Определены ускорения темпов ввода в эксплуатацию новых нетрадиционных источников электроэнергии.  
**Ключевые слова:** экономия энергии, ввод в эксплуатацию, энергоэффективность, альтернативная энергетика, ресурсы.

**Karzhynerova T.I. DEVELOPMENT OF ALTERNATIVE ENERGY IN UKRAINE.** The article highlights current trends in the efficient use of energy resources with application of innovative solutions, and the development and growth of interest in energy-saving technologies in Ukraine. The more efficient use of fuel and energy resources is emphasized. The acceleration of the pace of commissioning of new unconventional sources of electricity is defined.  
**Keywords:** energy saving, commissioning, energy efficiency, alternative energy. Resources.

DOI: 10.29295/2311-7257-2019-96-2-226-230  
УДК 624.21

**Кожушко В.П., Лысяков И.Н.**

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет  
(ул. Ярослава Мудрого, 25, Харьков, 61002, Украина; e-mail: kmksm@ukr.net;  
orcid.org/0000-0002-7044-776X; orcid.org/0000-0003-0460-5835)*

## **ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА ПРОДОЛЬНЫХ ПОЛОС НА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНУЮ СПОСОБНОСТЬ ПЛАСТИН С РАЗЛИЧНЫМ ОПИРАНИЕМ ИХ СТОРОН**

Исследован вопрос о влиянии количества продольных полос, на которые разрезается пластина в предлагаемом методе расчета, на распределение внутренних усилий при приложении к пластине любых внешних нагрузок. Показано, что при расчете пластин с различным опиранием их сторон, следует пластину разрезать на 10 и более продольных полос.

**Ключевые слова:** продольная полоса, поперечная полоса, изгибающий момент, коэффициент поперечного распределения, рабочая арматура.

**Введение.** При расчете пластин с различными граничными условиями

опирания их сторон используются дифференциальные уравнения четвертого

порядка в частных производных, решение которых сложно с математической точки зрения. Решение дифференциальных уравнений при действии на пластины разных внешних нагрузок не может быть получено в замкнутом виде, в связи, с чем ученые используют приближенные методы решения задачи.

**Анализ публикаций.** В работах [1, 2] предложено классическое решение дифференциальных уравнений, в работах [2, 3] – вариационные методы. З. Кончковский [4] при решении задачи использует бесконечные ряды, интегралы Фурье и интегральные уравнения Фредгольма. Подробно изложены вопросы применения метода конечных элементов в работах [5, 6]. Расчеты А.М. Масленникова [6] базируются на использовании численных методов. Некоторые авторы [8] приводят таблицы для определения внутренних усилий и деформаций пластин от действия внешних нагрузок, приложенных к пластине. Обзор литературных источников [9-21] показал, что расчет некоторых пластин (например, гибких пластин, две смежные стороны которых защемлены, длинная сторона – шарнирно оперта, а короткая – свободна) вообще не рассматривался. Следует отметить, что даже для пластин с простыми условиями закрепления сторон решение в замкнутом виде приведено только при воздействии на пластины простейших поперечных нагрузок (сосредоточенной силы, равномерно распределенной нагрузки, приложенной по всей площади пластинки и т.д.).

Нами в работах [22-31] рассмотрен единый метод расчета пластин с любыми граничными условиями опирания, нагруженных любыми внешними поперечными нагрузками. Суть метода заключается в разрезе пластины на ряд продольных полос, на которые опираются поперечные полосы. Для выявления распределительной способности пластины поперечная полоса рассматривается как полоса на упругих опорах, роль которых играют продольные полосы. При расчете поперечной полосы используется смешанный метод строительной механики. В упомянутых работах [22-31] акцентируется

внимание на необходимость разреза пластины на 10 и более продольных полос, однако аналитического анализа этот вопрос не получил.

**Цель и постановка задачи.** Целью исследований является анализ влияния количества продольных полос, на которые разрезается пластина, на распределительную способность пластины.

**Реализация задачи.** Рассмотрим работу пластин при некоторых условиях опирания их сторон.

Сначала исследуем работу консольной пластины, т.е. пластины, у которой только одна сторона защемлена, а три другие стороны – свободны (рис. 1).

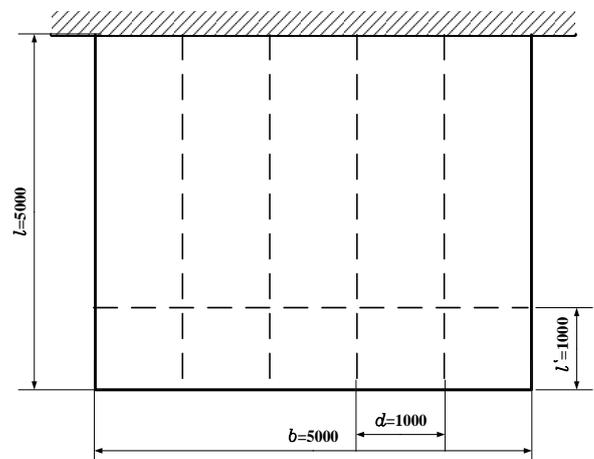


Рис. 1. Консольная плита, разрезанная на 5 продольных полос.

Такие пластины используются при устройстве навесов при входе в здание, при возведении лоджий (балконов). Как консольные элементы работают плиты крайних главных балок балочных железобетонных пролетных строений мостов, а также концевые участки плит проезжей части пролетных строений мостов любой конструкции, если проезжая часть предусмотрена в виде железобетонной плиты. Разрежем плиту на 5 продольных полос шириной  $d=1$  м (см. рис. 1). Вырежем поперечную полосу шириной  $l'=1$  м так, как это показано на рис. 1. Тогда показатель гибкости системы [22-31]  $\alpha=0,00213$ . Загрузив отдельно каждую продольную полосу, представляющую в данном случае консольную полосу, единичной распределенной нагрузкой  $q=1$  кН/м, и решив систему уравнений, как это показано в работах [22-31], получим ординаты линий влияния

усилий, передаваемых поперечной полосой на продольные полосы. По этим данным построены линии влияния усилий (рис. 2). Ординаты под точкой приложения силы  $P$  (см. рис. 1, 2) и будут равны коэффициентам упругого распределения (КПР). Как показали расчеты, наиболее нагруженной в этом случае будет крайняя полоса, для которой  $КПР_1=0,3951$ . При расположении сосредоточенной силы  $P$  на конце плиты в заземлении крайней продольной полосы шириной 1м, изгибающий момент будет равен 192,55кНм. Если принять толщину плиты  $h=0,3м$ , класс бетона В30 и класс арматуры А-III, то теоретическая площадь поперечного сечения арматуры  $A_s=24,4см^2$ .

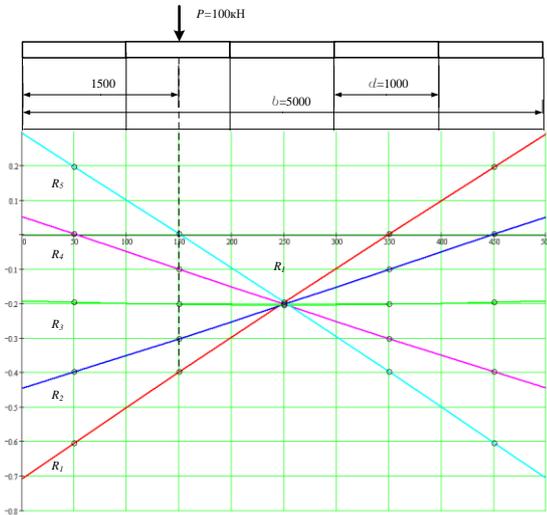


Рис. 2. Линии влияния усилий на продольные полосы (при разбивке системы на 5 продольных полос) и загрузке их сосредоточенной силой  $P=100$  кН.

Разрежем рассматриваемую консольную пластину на одиннадцать продольных полос шириной  $d=0,4545м$  (рис.3). Показатель гибкости системы в этом случае  $\alpha=0,000055$ . Принимаем эту величину равной нулю. При таком показателе  $\alpha$  построены линии влияния усилий (см. рис. 3). На рис.3 приведены линии влияния усилий только для 6-ти продольных полос, расположенных слева от продольной оси симметрии. Коэффициент поперечного распределения для крайней (левой) полосы  $КПР_1=0,195$ , а изгибающий момент в заземлении  $M_1=97,50кНм$ . Площадь поперечного сечения рабочей арматуры, которую устанавливаем в полосе

шириной 45,45см  $A_s=12см^2$ . Произведем пересчет площади рабочей арматуры на ширину 1м продольной полосы  $A'_s=12/0,4545=26,6см^2$ . Таким образом, при разбивке пластины на 11 продольных полос получим площадь поперечного сечения рабочей арматуры, которую следует устанавливать 1пог. м, несколько большей, чем при разбивке на 5 продольных полос. Это превышение составит

$$\frac{(26,6-24,4)}{24,4} \cdot 100 = 9,02\%.$$

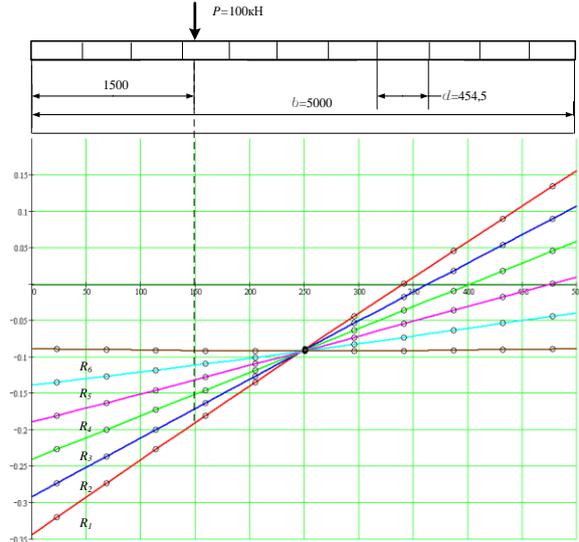


Рис. 3. Линии влияния усилий на продольные полосы (при разбивке системы на 11 продольных полос) и загрузке их сосредоточенной силой  $P=100$  кН.

Во втором примере, рассмотрено плитное пролетное строение шириной 7м и расчетным пролетом  $l_p=5,74м$ . Первоначально произведем разбивку на 7 продольных полос шириною  $d=1м$  (рис.4). Поперечную полосу шириной  $l'=1м$  вырежем в среднем сечении пролета. Тогда показатель гибкости системы  $\alpha=0,01179$ . При показателе  $\alpha=0,01179$  построены линии влияния усилий на продольные полосы (см. рис. 4), которые в данном случае работают как однопролетные полосы на двух опорах. Линии влияния загрузим колесной нагрузкой НК=80. Коэффициент поперечного распределения крайней (наиболее нагруженной) полосы  $КПР_1=0,310$ , а изгибающий момент в середине пролета  $M=215,2кНм$ . Если принять толщину плиты  $h=0,3м$ , класс бетона В30 и класс арматуры А-III, то теоретически

полученная площадь поперечного сечения рабочей арматуры  $A_s=26,84\text{см}^2$ .

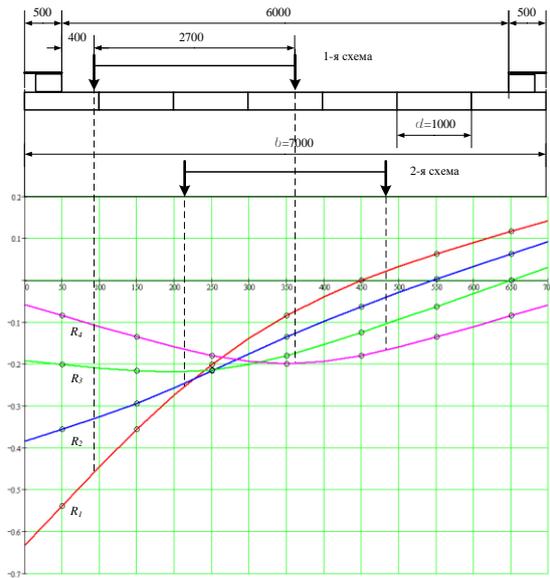


Рис. 4. Линии влияния усилий на продольные полосы при разбивке системы на 7 продольных полос и загрузка их колесной нагрузкой НК-80.

При разбивке плиты на 11 продольных полос шириной  $d=0,6364\text{м}$  показатель гибкости системы  $\alpha=0,00193$ , коэффициент поперечного распределения крайней продольной полосы КПР=0,1705, а изгибающий момент в середине пролета  $M=118,3\text{кНм}$ . Этот изгибающий момент будет воспринимать продольная полоса шириной  $d=0,6364\text{м}$ . Теоретически полученная площадь поперечного сечения рабочей арматуры составит  $A_s=14,88\text{см}^2$ , т.е. в полосе шириной  $d=1\text{м}$  следует располагать рабочую арматуру площадью  $14,88/0,66364=23,38\text{см}^2$ , что в 1,148 раза меньше, чем при разбивке системы на 7 продольных полос.

#### Выводы

1. При расчете пластин предлагаемым авторами методом их следует разбивать на 10 и более продольных полос.
2. При разбивке рассмотренных железобетонных пластин на 11 продольных полос изменяется площадь поперечного сечения рабочей арматуры на 9-10% по сравнению с разбивкой на 5-7 продольных полос.

Данные результаты получены для рассматриваемых в статье пластин. При иных граничных условиях опирания и

иных внешних нагрузках эти результаты могут быть несколько иными.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Вайнберг Д.В., Вайнберг Е.Д. Пластинки, диски, балки-стенки (прочность, устойчивость, колебания). Киев: Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре УССР, 1959. 1048 с.
2. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки.: пер. с англ. М.: Наука, 1966. 635 с.
3. Ректорис К. Вариационные методы в математической физике и технике.: пер. с англ. М.: Мир, 1985. 390 с.
4. Кончковский З. Плиты. Статические расчеты.: пер. с польск. М.: Стройиздат, 1984. 480 с.
5. Зенкевич О., Чанг И. Метод конечных элементов в теории сооружений и в механике сплошных сред.: пер. с англ. М.: Недра, 1974. 240 с.
6. Масленников А.М. Расчет строительных конструкций численными методами: учебное пособие. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1987. 224 с.
7. Постнов В.А., Ростовцев Д.М., Суслов В.П. Кочатов Ю.П. Строительная механика корабля и теория упругости: учебник для вузов. Л.: Судостроение, 1987. Т.2. Изгиб и устойчивость стержней, стержневых систем, пластин и оболочек. 416 с.
8. Шадурский В.П. Таблицы для расчета упругих прямоугольных плит: справочное пособие. М: Стройиздат, 1976. 152 с.
9. Александров А.В., Лашенков Б.Я., Шапошников Н.Н., Смирнов В.А. Методы расчета стержневых систем, пластин и оболочек. Ч. 1. М.: Стройиздат, 1976. 248 с.
10. Роботнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела: учебное пособие. М.: Гл. ред. физ.-мат. л-ры, 1979. 744 с.
11. Толоконников Л.А. Механика деформируемого твердого тела: учебное пособие. М.: Высшая школа, 1979. 318 с.
12. Суслов В.П., Кочанов Ю.П., Спихтаренко В.Н. Строительная механика корабля и основы теории упругости. Л.: Судостроение, 1972. 720 с.
13. Колманюк А.С. Расчет пластинок. М.: Госстройиздат, 1959. 212 с.
14. Галеркин Б.Г. Собрание сочинений. Т. 2. М.: Изд-во АН СССР, 1953. 440 с.
15. Музыченко Ю.Н. Расчет пластинчато-стержневых систем. Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та, 1974. 202 с.
16. Власов Е.В. Метод расчета прямоугольных пластин при изгибе сосредоточенными силами: монография. М.: Рос. гос. откр. меж. ун-т путей сообщения, 2003. 116 с.
17. Игнатъев Ф.В. Применение МКЭ в смешанной форме при расчете тонких пластин. *Вестник Волгогр. гос. архит. - стрит. академии.*

- Серия «Естественные науки». 2002. № 2. С. 251-255.
18. Гарбусенко В.В. Работа железобетонных плит, защемленных по трем сторонам, при действии линейных нагрузок с учетом перераспределения моментов. *Изв. вузов стр-во и архитектура*. 2003. №1. С. 103-107.
  19. Джибидзе Г.О. Расчет на изгиб тонкой плиты прямоугольной формы, когда три ее грани закреплены жестко, а четвертая – свободна. *Проблемы прикл. мех.* 2003. №4. С. 87-93.
  20. Китовар К.А. Изгиб тонких прямоугольных плит. *Расчет пространственных конструкций*. 1951. Вып. 2. С. 441-467.
  21. Запорожец Е.В., Запорожец В.Б., Фролова Л.В. Некоторые особенности расчета балочных пластин и балок при больших прогибах. *Вісник Придніпр. держ. акад. буд-ва та архітектури*. Дніпропетровськ, 2002. Вип. 6. С. 22-27.
  22. Кожушко В.П. Расчет плиты, одна сторона которой защемлена, а противоположная шарнирно оперта. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного ун-та*. Харьков, 2013. Вып. 63. С. 80-84.
  23. Кожушко В.П. Работа плиты, одна сторона которой защемлена, две смежные стороны – свободно оперты, а четвертая – свободна. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного ун-та*. Харьков, 2014. Вып. 64. С. 121-124.
  24. Кожушко В.П. Плиты с двумя смежными защемленными сторонами. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного ун-та*. Харьков, 2014. Вып. 67. С. 115-118.
  25. Кожушко В.П. Расчет прямоугольной пластины, две смежные стороны которой защемлены, а две другие смежные стороны шарнирно оперты. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного ун-та*. Харьков, 2014. Вып. 67. С. 119-123.
  26. Кожушко В.П. О гибких пластинах, две смежные стороны которых защемлены, длинная сторона - шарнирно оперта, а короткая - свободна. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного ун-та*. Харьков, 2015. Вып. 68. С. 79-84.
  27. Кожушко В.П. Гибкая плита, одна сторона которой защемлена, а противоположная ей сторона опирается на две стойки, установленные в угловых точках. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного ун-та*. Харьков, 2015. Вып. 71. С. 54-58.
  28. Кожушко В.П. Гибкие пластины, три стороны которых защемлены, а четвертая - шарнирно оперта. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного ун-та*. Харьков, 2016. Вып. 72. С. 130-134.
  29. Кожушко В.П. Плиты с одной защемленной стороной и тремя свободно опертыми сторонами. *Науковий вісник будівництва*. Харків, 2015 №1(79). С.75-79.
  30. Кожушко В.П. Плита, две смежные стороны которой защемлены, короткая сторона – шарнирно оперта, а длинная сторона - свободна. *Науковий вісник будівництва*. Харків, 2015 №2(80). С. 86-89.
  31. Кожушко В.П. Расчет гибкой плиты, одна сторона которой защемлена, а противоположная сторона опирается на стойки. *Автомобильные дороги и мосты*. Минск, 2016. №1(17). С. 62-66.

**Кожушко В.П., Лисяков І.М. ВПЛИВ КІЛЬКОСТІ ПОЗДОВЖНІХ СМУГ НА РОЗПОДІЛЬНУ ЗДАТНІСТЬ ПЛАСТИН З РІЗНИМ ОПИРАННЯМ ЇХ СТОРІН.** Досліджено питання про вплив кількості поздовжніх смуг, на які розрізається пластина у запропонованому методі розрахунку, на розподіл внутрішніх зусиль при прикладенні до пластини будь-яких зовнішніх навантажень. Показано, що при розрахунку пластин з різним опиранням їх сторін, треба пластину розрізати на 10 і більше поздовжніх смуг.

**Ключові слова:** поздовжня смуга, поперечна смуга, згинальний момент, коефіцієнт поперечного розподілу, робоча арматура.

**Kozhushko V.P., Lysiakov I.N. EFFECT OF THE NUMBER OF LONGITUDINAL STRIPS ON THE DISTRIBUTED ABILITY OF PLATES WITH DIFFERENT SUPPORT OF THEIR SIDES.** The article deals with the issue of the effect of the number of longitudinal strips, on which the plate is cut in the proposed calculation method, on the distribution of internal forces when any external loads are applied to the plate. It has been shown that when calculating the plates with different support of their sides, the plate should be cut into 10 or more longitudinal strips.

**Keywords:** longitudinal strip, transverse strip, bending moment, transverse distribution coefficient, working armature.