УДК 624.073.121+624.042.3

*КУМПЯК ОЛЕГ ГРИГОРЬЕВИЧ, докт. техн. наук, профессор,*
*OGKumpyak@yandex.ru*
*ГАЛЯУТДИНОВ ЗАУР РАШИДОВИЧ, канд. техн. наук, доцент,*
*zaurg@sibmail.com*
*Томский государственный архитектурно-строительный университет,*
*634003, г. Томск, пл. Соляная, 2*

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПЕРТЫХ ПО КОНТУРУ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ С РАСПОРОМ*

В работе приведены результаты экспериментальных исследований опертых по контуру железобетонных плит с распором. Рассмотрено влияние распора на несущую способность конструкций. Выполнен анализ схем разрушения, деформаций арматуры и перемещений опертых по контуру железобетонных плит с распором. По результатам проведенного анализа установлено влияние толщины плиты, прочности бетона и процента армирования на величину распора. Наличие сил распора приводит к значительному увеличению несущей способности и снижению деформативности. Установлено, что прочность плит увеличивается с ростом толщины плиты и прочности бетона плиты. Влияние распора проявляется в большей степени в плитах с меньшим процентом армирования.

***Ключевые слова:*** экспериментальные исследования; железобетонная плита; распор; деформации; перемещения; равномерно распределенная нагрузка.

*OLEG G. KUMPYAK, DSc, Professor,*
*OGKumpyak@yandex.ru*
*zaurg@sibmail.com*
*ZAUR R. GALYAUTDINOV, PhD,*
*Tomsk State University of Architecture and Building,*
*2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia*

# EXPERIMENTAL RESEARCH OF REINFORCED CONCRETE EDGE SUPPORTED SLABS WITH SPACERS

The paper presents experimental results of reinforced concrete edge supported slabs with spacers. The structural bearing capacity is considered under the spacers' effect. The reinforcement failure, deformation and displacement are analyzed in this paper. Experimental results show that the slab thickness, concrete strength and reinforcement ratio have the effect on the spacer sizes. Spacer forces lead to a significant increase in the bearing capacity and decrease in deformability. It is shown that the slab strength is increased with the increase of the slab thickness and concrete strength. Effect from spacers is mostly displayed in slabs having a lower percentage of reinforcement.

***Keywords:*** experimental studies; reinforced concrete slab; spacer; strain; displacement; uniform load distribution.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке работ по проекту Министерства образования и науки Российской Федерации.

© Кумпяк О.Г., Галяутдинов З.Р., 2015

Опертые по контуру железобетонные плиты широко применяются в промышленном и гражданском строительстве. При этом в большинстве случаев указанные конструкции работают в условиях стесненных деформаций. В монолитных перекрытиях, а также в сборных перекрытиях, швы которых замоноличены бетоном, в результате деформирования конструкций возникает распор, в значительной степени увеличивающий несущую способность изгибаемых элементов.

Впервые явление распора в железобетонных конструкциях было установлено профессором А.А. Гвоздевым в первой половине XX столетия, и впоследствии им и его учениками С.М. Крыловым [4], Л.Н. Зайцевым [3], Г.С. Григорьяном [1] и др. учеными [2, 7, 8] проведены экспериментально-теоретические исследования по изучению влияния сил распора на несущую способность опертых по контуру железобетонных плит и балок и предложены рекомендации по их учету при действии статических нагрузок.

Вместе с тем, несмотря на значительный объем экспериментальных и теоретических исследований, в действующих нормативных документах отсутствует общая методика расчета железобетонных конструкций с распором, а при проектировании опертых по контуру плит влияние сил распора учитывается снижением площади поперечного сечения арматуры, полученной из расчета плиты без учета распора, либо снижением изгибающих моментов [5, 6].

Настоящая работа посвящена экспериментальным исследованиям влияния распора на работу опертых по контуру железобетонных плит. Исследования проводились на образцах двух серий размерами в плане 1,0×0,8 м (таблица). Армирование плит выполнялось отожженной арматурой класса В500 диаметром 3 мм ($\sigma_y$ = 260 МПа).

**Характеристики опытных образцов**

| Маркировка плит | I серия | | | | | | II серия | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | П-1 | П-2 | П-3 | П-4 | П-5 | П-6 | П-7 | П-8 | П-9 | П-10 |
| Толщина плиты, мм | 50 | | | | | | 30 | | | |
| Бетон | В10 | | | | | | В5 | | | |
| Процент армирования, % | 0,25 | | 0,16 | | 0,12 | | 0,26 | | 0,20 | |
| Наличие распора | Нет | Да | Да | Нет | Да | Нет | Да | Нет | Да | Нет |

Испытания проводились на специально разработанном стенде (рис. 1). Стенд состоит из жесткой горизонтальной рамы (двутавр № 50, поз. *1*), воспринимающей горизонтальные усилия, резиновой камеры (поз. *5*), верхней и нижней рамы (двутавр № 18, поз. *2* и *3* соответственно), соединенных между собой болтами (поз. *8*). Резиновая камера представляет собой плоский мешок, склеенный из прорезиненной ткани, размеры которого соответствуют размерам плиты в плане (1,0×0,8 м). Резиновая камера укладывалась на деревянный щит (поз. *4*), установленный на нижнюю раму, и заполнялась водой, создавая тем самым равномерно распределенную нагрузку на плиту. Поверх мешка

укладывался испытуемый образец (поз. *7*). Шарнирное опирание плиты обеспечивалось за счет шаровых опор (поз. *6*), устанавливаемых по периметру плиты между плитой и верхней рамой.

Для создания распора шов между торцом плиты и внутренней плоскостью горизонтальной рамы замоноличивался бетоном класса В15, шов толщиной 50 мм практически несжимаем. Для контроля деформаций горизонтальной рамы в процессе испытаний использовались датчики перемещений, по показаниям которых было установлено, что податливость контура равна нулю.

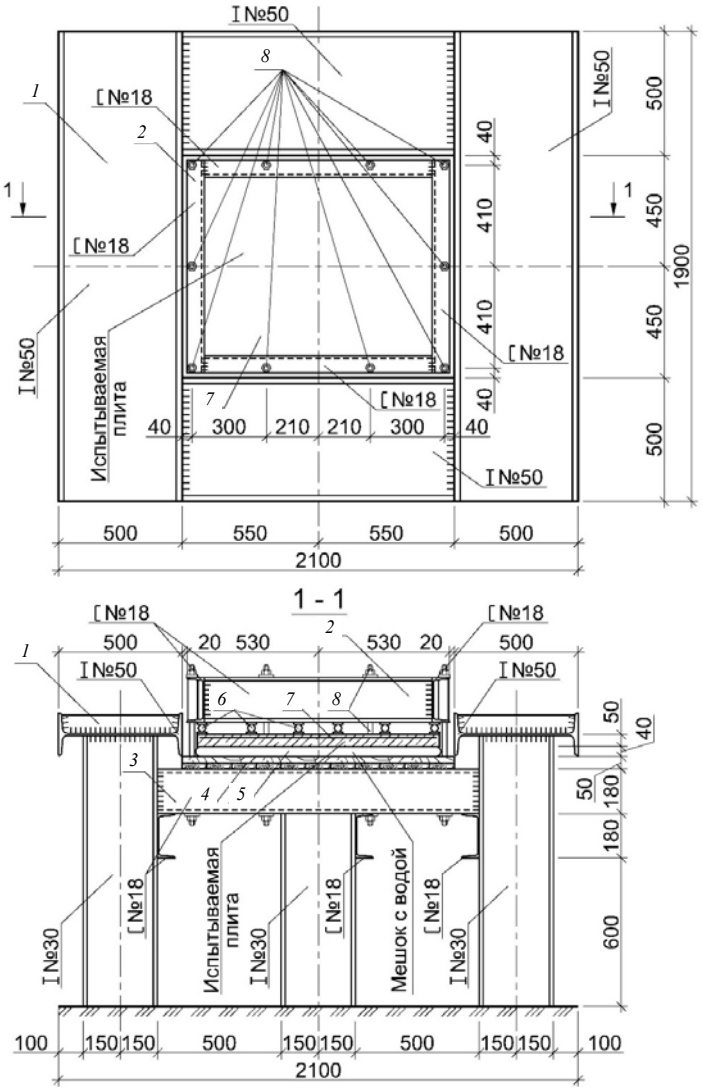


Рис. 1. Стенд для испытания опертых по контуру железобетонных плит с распором:
*1* – горизонтальная рама; *2* – верхняя опорная рама; *3* – нижняя опорная рама; *4* – деревянный распределительный щит; *5* – резиновая камера с водой; *6* – шаровые опоры; *7* – испытуемый образец; *8* – болты

В процессе испытаний фиксировались деформации арматуры, бетона и перемещения наиболее характерных точек плиты. Схема расстановки приборов приведена на рис. 2.

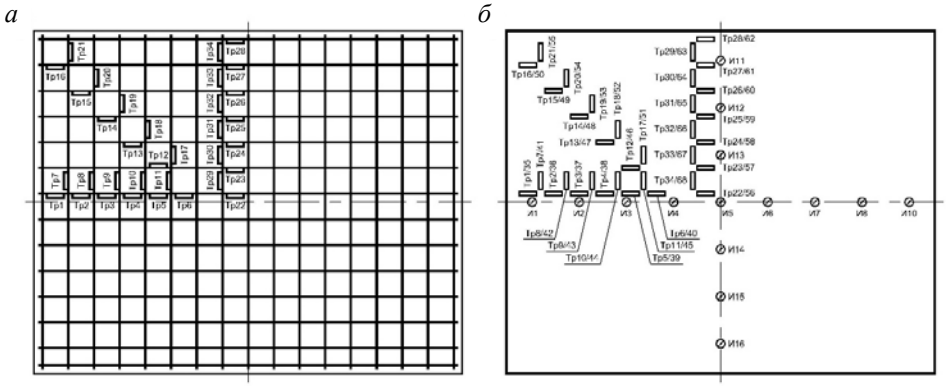


Рис. 2. Схема расстановки тензорезисторов на арматуре (*а*) и бетоне (*б*); схема расстановки датчиков перемещений (*б*)

Анализируя схемы разрушения плит, можно отметить некоторые различия в схемах разрушения. Во всех случаях разрушение происходит с образованием пластических шарниров по схеме конверта (рис. 3).

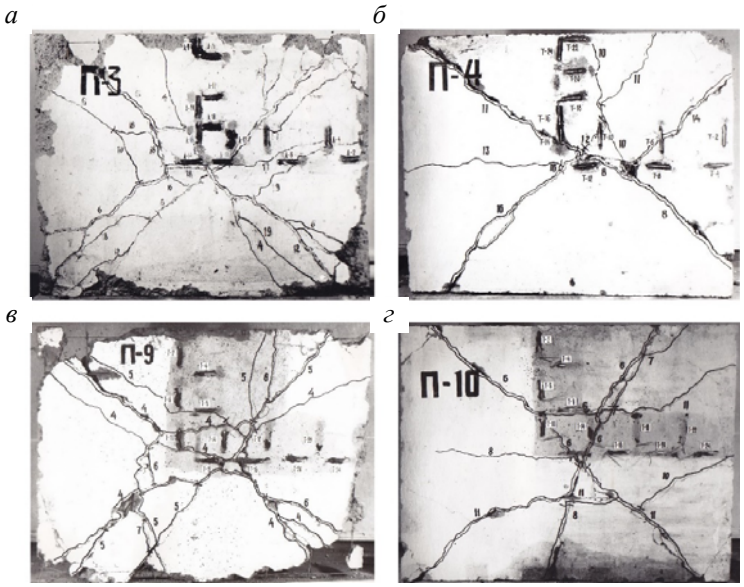


Рис. 3. Схема разрушения железобетонных плит:
*а* – первой серии с распором; *б* – первой серии без распора; *в* – второй серии с распором; *г* – второй серии без распора

Вместе с тем в плитах с распором одновременно с образованием пластических шарниров в растянутой зоне плиты происходит разрушение бетона

в опорных сжатых зонах по периметру конструкции и откол угловых участков. Откол углов плиты обусловлен закреплением плиты по периметру от вертикального смещения, что препятствует подъему углов плиты вследствие действия крутящих моментов, в результате чего происходит разрушение бетона угловых зон плит с распором.

Вследствие поворота дисков плиты после образования пластических шарниров в опорных сечениях возникают сжимающие усилия, обусловленные ограничением горизонтального смещения, что в свою очередь ведет к возникновению сил распора на опоре и, соответственно, к разрушению бетона в опорных сечениях. Анализ схем разрушения показывает, что в плитах второй серии, прочность бетона которых значительно ниже, разрушение бетона в опорных сечениях носит более выраженный характер и происходит практически по всему периметру плиты (рис. 3, *в*). Таким образом, можно отметить, что применение бетонов более высокой прочности препятствует преждевременному разрушению бетона опорных сечений и увеличивает эффект влияния распора на несущую способность плит.

Сказанное выше также подтверждается показаниями прогибомеров (рис. 4) и деформациями арматуры (рис. 5).

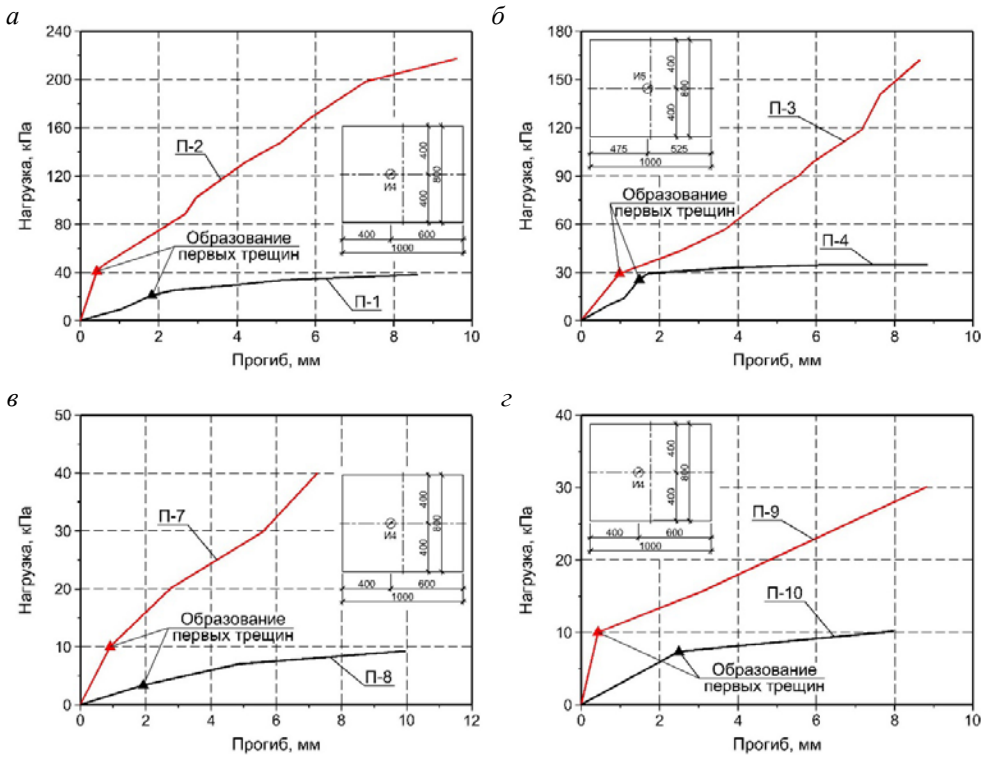


Рис. 4. Перемещения железобетонных плит первой (*а*, *б*) и второй (*в*, *г*) серий

Из графиков перемещений видно, что прочность плит первой серии увеличилась более чем в 5 раз, в то время как для плит второй серии увеличе-

ние прочности составляет 3–4 раза. Данное обстоятельство может быть связано как с меньшей прочностью бетона второй серии образцов, так и меньшей толщиной плит второй серии. Также необходимо отметить более высокую жесткость плит с распором как на стадии упругой работы, так в условиях упругопластического деформирования.

Деформации арматуры в плитах первой серии с распором изменяются практически по линейному закону вплоть до разрушения конструкций (рис. 5, *а*), при этом максимальные значения деформаций на рассматриваемом участке плиты не превышают $\varepsilon_s = 100 \cdot 10^{-5}$. В плитах второй серии с распором деформации арматуры можно условно разделить на два участка (рис. 5, *б*). На первом этапе при деформациях арматуры до $\varepsilon_s = 100 \cdot 10^{-5}$ наблюдается линейный характер изменения деформаций конструкции, после чего наблюдается резкий рост деформаций арматуры без увеличения внешней нагрузки. Это обусловлено разрушением бетона в опорных сечениях, исключением распора из работы конструкции, резким ростом деформаций арматуры с последующим разрушением конструкции.

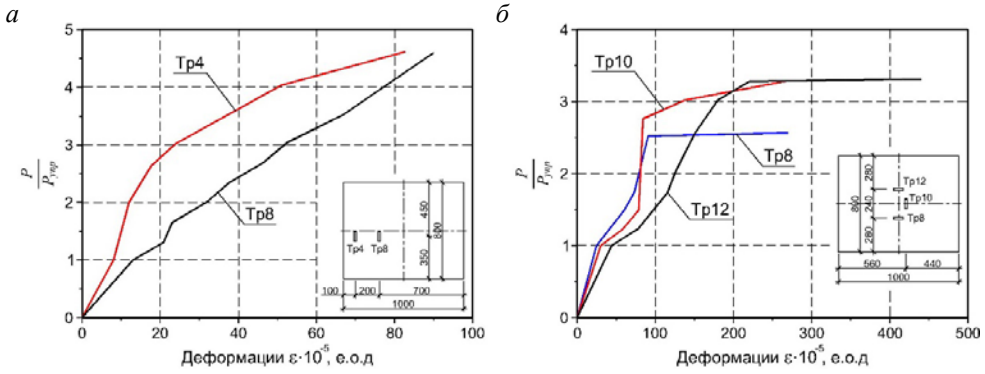


Рис. 5. Деформации арматуры железобетонных плит первой (*а*) и второй (*б*) серий

Влияние процента армирования на несущую способность железобетонных плит с распором показано на рис. 6.

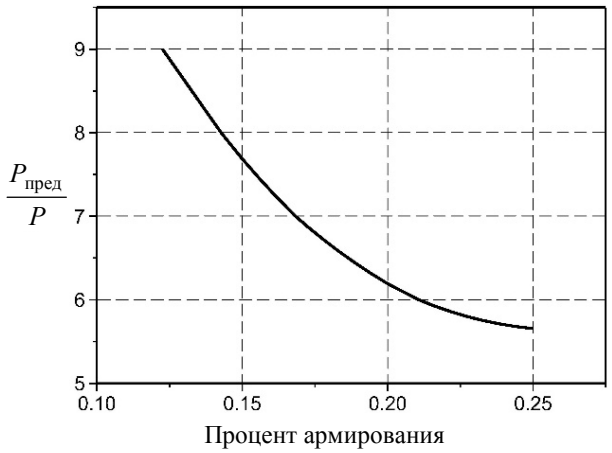


Рис. 6. Влияние процента армирования на несущую способность плит с распором

Из графика видно, что с увеличением процента армирования влияние распора на несущую способность плит снижается. При большем объеме арматуры она сдерживает возникающие растягивающие усилия и препятствует деформированию конструкции, т. е. происходит уменьшение углов поворота опорных сечений, и, соответственно, влияние распора на несущую способность снижается.

Таким образом, выполненные исследования показали, что распор в значительной степени позволяет повысить несущую способность опертых по контуру железобетонных плит. Влияние распора на несущую способность увеличивается с увеличением толщины плиты и с повышением прочности бетона. Увеличение процента армирования приводит к снижению влияния распора на несущую способность конструкций.

## Библиографический список

1. *Григорьян, Г.С.* Учет влияния распора, появляющегося в изгибаемых элементах железобетонных статически-неопределимых систем в упругопластической области / Г.С. Григорьян // Известия АН Армянской ССР. – 1947. – № 5. – С. 19–27.
2. *Гуревич, А.Л.* Построение математической модели для расчета на ЭВМ железобетонных балок, работающих с распором / А.Л. Гуревич // Железобетонные конструкции. Экспериментально-теоретические исследования: сб. статей. – Куйбышев : КГУ, 1977. – С. 53–59.
3. *Зайцев, Л.Н.* Исследование работы неразрезных железобетонных плит после появления трещин : дис. … канд. техн. наук. – Москва, 1965. – 163 с.
4. *Крылов, С.М.* Перераспределение усилий в статически неопределимых железобетонных конструкциях / С.М. Крылов. – М. : Стройиздат, 1964. – 163 с.
5. *Железобетонные и каменные конструкции*: учебник / О.Г. Кумпяк, З.Р. Галяутдинов, О.Р. Пахмурин, В.С. Самсонов. – Изд. 2-е, доп. и перераб. – М. : Издательство АСВ, 2014. – 672 с.
6. Руководство по проектированию железобетонных конструкций с безбалочными перекрытиями – М. : Стройиздат, 1979. – 54 с.
7. *Янкелевич, М.А.* К расчёту железобетонных балок и плит, работающих с распором / М.А. Янкелевич // Строительные конструкции. Вып. 35. – Киев : Будівельник, 1982. – С. 5–30.

8. *Aliawdin, P.* Behaviour of reinforced concrete elements under restrained flexure / P. Aliawdin, V. Simbirkin // Problemy budownictwa / Red. naukowa R. Świtka. – Zielona Góra : Uniwersytet Zielonogórski, 2003. – P. 97–110.

## REFERENCES

1. *Grigor'yan G.S.* Uchet vliyaniya raspora, poyavlyayushchegosya v izgibaemykh elementakh zhelezobetonnykh staticheski-neopredelimykh sistem v uprugoplasticheskoi oblasti [Accounting for spacer effect in flexural elements of statically indeterminate systems in elastoplastic area]. *Izvestiya AN Armyanskoi SSR* 1947. No. 5. Pp. 19–27. (rus)
2. *Gurevich A.L.* Postroenie matematicheskoi modeli dlya rascheta na EVM zhelezobetonnykh balok, rabotayushchikh s rasporom [Mathematical simulation of reinforced concrete beams with spacers]. Zhelezobetonnye konstruktsii. Eksperimental'no-teoreticheskie issledovaniya: sb. statei [reinforced concrete structures. Experimental and theoretical research: Collection of papers]. Kuibyshev : KSU Publ., 1977. Pp. 53–59. (rus)
3. *Zaitsev L.N.* Issledovanie raboty nerazreznykh zhelezobetonnykh plit posle poyavleniya treshchin : dis. … kand. tekhn. nauk [Research of continuous reinforced concrete slab behavior after cracking. PhD thesis]. Moscow, 1965. 163 p. (rus)
4. *Krylov S.M.* Pereraspredelenie usilii v staticheski neopredelimykh zhelezobetonnykh konstruktsiyakh [Force redistribution in statically indeterminate reinforced concrete structures]. Moscow : Stroyizdat, 1964. 163 p. (rus)
5. *Kumpyak O.G., Galyautdinov Z.R., Pahmurin O.R., Samsonov V.S.* Zhelezobetonnye i kamennye konstruktsii: uchebnik [Reinforced concrete and stone structures. Textbook]. 2nd edition. Moscow : ABU Publ., 2014. 672 p. (rus)
6. *Rukovodstvo po proektirovaniyu zhelezobetonnykh konstruktsii s bezbalochnymi perekrytiyami* [Guidelines for designing reinforced concrete structures with beamless slabs]. Moscow : Stroyizdat, 1979. 54 p. (rus)
7. *Yankelevich M.A.* K raschetu zhelezobetonnykh balok i plit, rabotayushchikh s rasporom [Design of reinforced concrete beam and slab behavior]. Building designs. Kiev : Budivelnik, 1982. V. 35. Pp. 5–30. (rus)
8. *Aliawdin P., Simbirkin V.* Behaviour of reinforced concrete elements under restrained flexure. Problemy budownictwa. Red. naukowa R. Świtka. Zielona Góra : Uniwersytet Zielonogórski, 2003. Pp. 97–110.