

**Г.Л. Ватуля, А.А. Шевченко**

Украинская государственная академия железнодорожного транспорта,  
Харьков, Украина

## **РАБОТА РАЗНОГО ОЧЕРТАНИЯ СТАЛЕБЕТОННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ ПРИ СИЛОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**

Представлены результаты экспериментальных исследований плит с внешним армированием листовой арматурой, соединенной с бетоном при помощи анкеров. Рассматриваются квадратные, круглые и восьмиугольные, опертые по контуру, сталебетонные плиты. Приведены данные об их напряженно-деформированном и предельном состоянии, исчерпаниии несущей способности.

**Ключевые слова:** сталебетонная плита, внешнее армирование, петлевые анкера, прогибы, напряженно-деформированное состояние, предел трещинообразования, пластические деформации, несущая способность.

**G.L. Vatulia, A.A. Shevchenko**

Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkov, Ukraine

## **WORKS OF VARIOUS OUTLINE STEEL CONCRETE SLABS FOR POWER IMPACTS**

The paper presents the results of experimental researches of steel concrete slabs. External steel reinforcement coupled with concrete by anchors. The authors considered square, round and octagonal steel concrete slab. The results of stress-strain and limit state of the plates, together with of carrying capacity exhaustion were provides in the article.

**Keywords:** steel concrete slabs, external steel reinforcement, carrying capacity, loop anchor, deflections, stress-strain state, crack formation limit, plastic deformation.

Снижение ресурсоемкости, а также стоимости строительства может быть достигнуто за счет освоения новых и совершенствования эффективных видов конструкций из армированного бетона, к числу которых относятся конструкции с внешним армированием плоской листовой сталью. Наибольший эффект от внешнего армирования достигается в изгибаемых в двух направлениях плитах перекрытий и покрытий зданий и сооружений. Плоский стальной лист работает в условиях двухосного растяжения, благодаря чему повышается жесткость и несущая способность плиты при одинаковом расходе металла по сравнению с железобетонной [1–4].

Целями проведения исследований являются: определение несущей способности квадратных, круглых и восьмиугольных сталебетон-

ных плит перекрытия; оценка закономерностей их деформирования и исчерпания несущей способности при различных схемах расположения и конфигурации анкеров; определение предела трещинообразования в бетоне и пластических свойств в стальном листе; определение прогибов и деформаций до и после момента образования первых трещин; описание схем их разрушения.

Испытание сталебетонных плит перекрытия выполнялось на опытных образцах, отражающих работу реальной конструкции [5, 6].

Для экспериментальных исследований было изготовлено тринадцать опытных образцов. Четыре образца (П1–П4) представляли собой круглые сталебетонные плиты с размерами в плане диаметром 1,0 м и высотой 50 мм. Образцы П-1 и П-2 изготовлены в виде бетонной плиты с внешним армированием из листовой стали 1. Для совместной работы листовая арматура объединена с бетоном наклонными петлевыми анкерами 2, расположенными по радиусам с шагом 100 мм. Их наклон к горизонтальной поверхности составляет  $45^\circ$  в направлении от центра к контуру плиты. Образцы П-3 и П-4 отличаются от плит П-1 и П-2 тем, что петлевые анкера 2 расположены с шагом 50 мм (рис. 1).

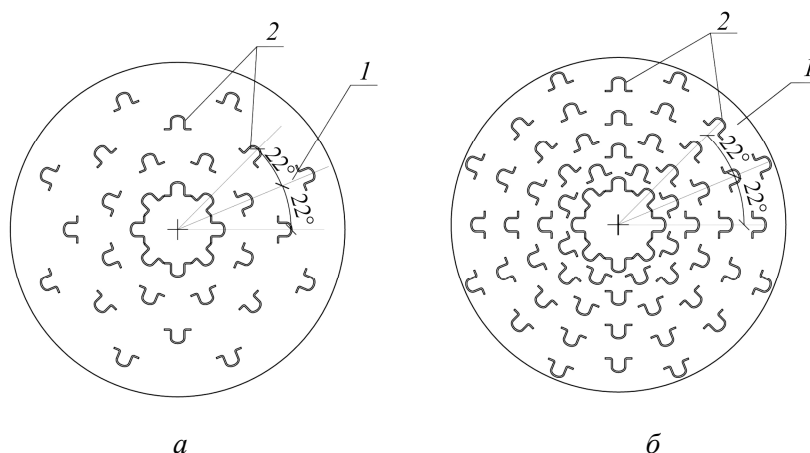


Рис. 1. Сталебетонные круглые плиты: *а* – П-1, П-2; *б* – П-3, П-4

Четыре образца (П-5–П-8) выполнены в виде восьмиугольных симметричных в плане плит размерами описанной окружности  $R = 541$  мм, вписанной окружности  $r = 500$  мм, стороной  $b = 414$  мм и высотой 50 мм. Образцы П-9 и П-10 изготовлены в виде бетонной плиты с внешним армированием листовой сталью. Для совместной работы металлический лист объединен с бетоном наклонными петлевы-

ми анкерами 1, расположенными по радиусам 2 с шагом 50 мм. Их наклон к горизонтальной поверхности составляет  $45^\circ$  в направлении от центра к полигональному контуру. Образцы П-11 и П-12 отличаются от П-9 и П-10 тем, что петлевые анкера 1 расположены с шагом 100 мм (рис. 2).

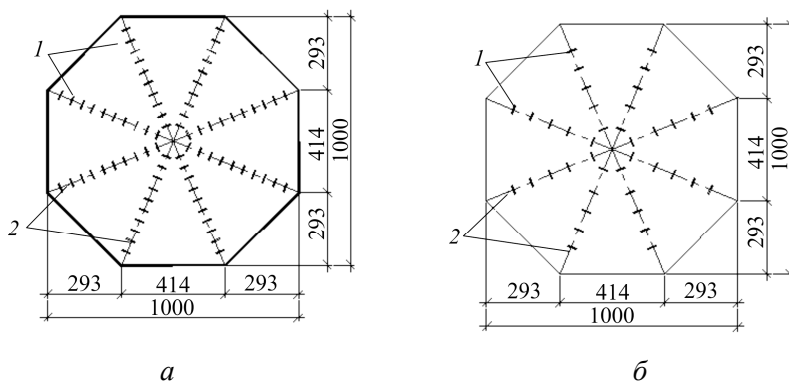


Рис. 2. Сталебетонные восьмиугольные плиты: *а* – П-5, П-6; *б* – П-7, П-8

Четыре образца (П-9–П-12) представляли собой квадратные сталебетонные плиты размерами в плане  $1,0 \times 1,0$  м и высотой 50 мм. Образцы П-5 и П-6 изготовлены в виде бетонной плиты с внешним армированием листовой сталью 1. Для совместной работы металлический лист объединен с бетоном наклонными петлевыми анкерами 3, расположенными по диагоналям и в середине по направлению к краю шагом 100 мм. Их наклон к горизонтальной поверхности составляет  $45^\circ$  в направлении от геометрического центра к краю плиты. Образцы П-7 и П-8 отличаются от П-5 и П-6 тем, что петлевые анкера 3 расположены с шагом 50 мм (рис. 3).

Один образец (П-13) выполнен в виде квадратной плиты размерами в плане  $1 \times 1$  м и высотой 0,05 м. Данный образец состоял из следующих основных частей: армопалубочного элемента, который выполнен из плоского металлического листа, и бетонного слоя. Стальной лист имел основание и отбортовки. Когда отбортовки листа отгибались, создавалось металлическое корыто, которое затем заполнялось бетоном (рис. 4). Также для улучшения сцепления металлического листа с бетоном в местах отсутствия П-образных просечек к листу крепились петлевые анкера 9.

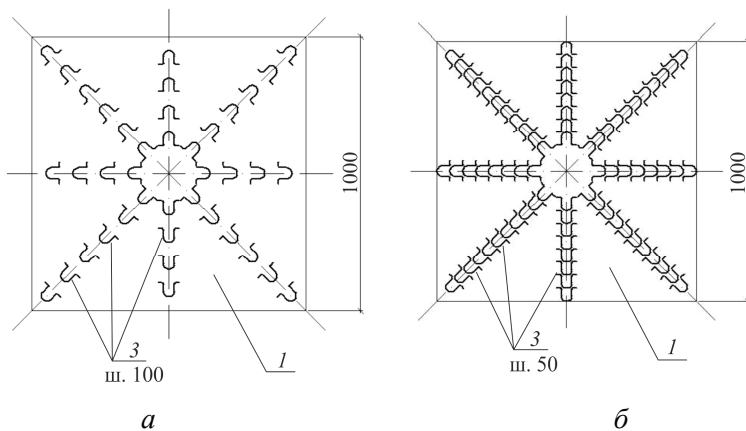


Рис. 3. Сталебетонные квадратные плиты: *a* – П-9, П-10;  
*б* – П-11, П-12

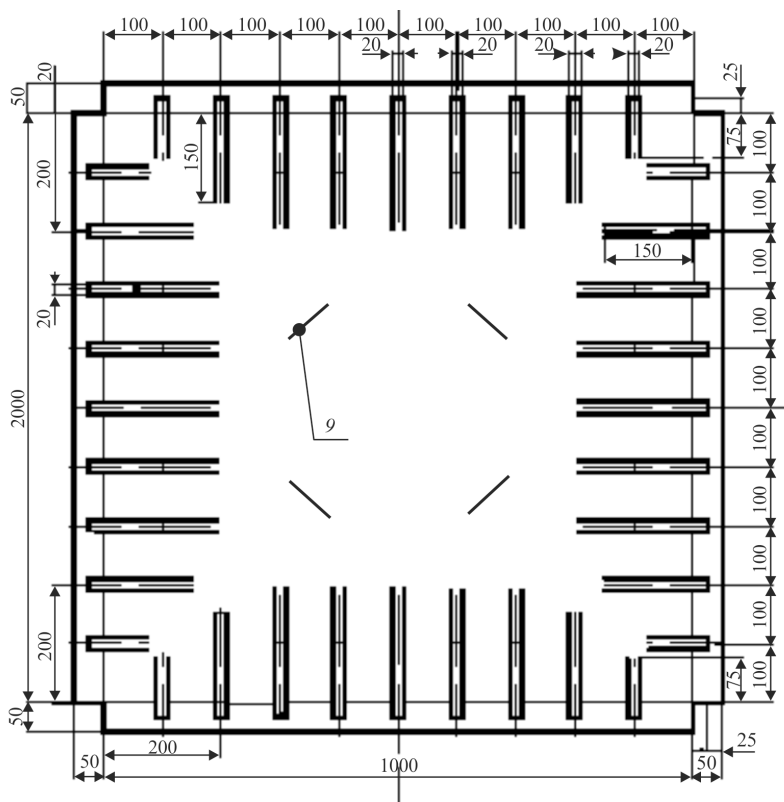


Рис. 4. Металлический лист с просечками, расположенными перпендикулярно кромке листа (П-13)

В качестве рабочей арматуры во всех образцах использовался металлический лист толщиной 1,0 мм.

Испытание плит П-1–П-4 производилось на действие сосредоточенной нагрузки, приложенной в центре плиты, которая передавалась через жесткий штамп радиусом 10 мм. Плиты П-5–П-12 нагружались штампом размерами 200×200×20 мм. Плита П-13 испытывалась на действие распределенной нагрузки, приложенной в центре плиты через жесткий штамп с внешними размерами 40×40 см и внутренними – 20×20 см; обеспечивали передачу нагрузки по замкнутой полосе площадью 0,12 м<sup>2</sup>. Для предотвращения продавливания плиты под штампом устанавливалась маслостойкая резина толщиной 10 мм.

Опытные образцы укладывались на жесткий опорный контур испытательной установки. Для предотвращения отрыва плиты от опорного контура в угловых зонах экспериментального образца П-13 устанавливались скобы, допускающие свободные угловые перемещения.

Испытания производились нагружением экспериментальных образцов ступенями, равными примерно 0,1 от разрушающей нагрузки. За нулевой отсчет принимались показания регистрирующих приборов без нагрузки. После каждой ступени нагрузка выдерживалась в течение 5 мин для снятия показаний приборов.

Прогибы измерялись в середине (под точкой приложения груза) индикатором часового типа с ценой деления 0,01 мм. На рис. 5, 6 представлены кривые «нагрузка – прогиб» для экспериментальных образцов в середине плиты.

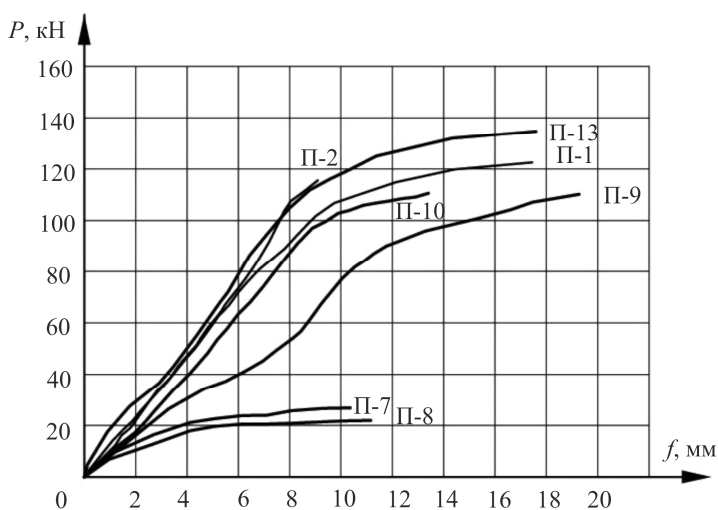


Рис. 5. Экспериментальные кривые прогибов с шагом анкеров 100 мм

Можно отметить, что диаграммы «нагрузка – прогиб» для всех образцов сталебетонных плит имели нелинейный характер, который обусловлен образованием трещин в растянутой зоне бетона и развитием пластических деформаций в компонентах сечения.

Результаты измерений прогибов в центре плиты для круглых экспериментальных образцов П-1–П-4 показали, что пластические деформации в листе появляются уже при нагрузке 100 кН, а при нагрузке 110–130 кН происходит разрушение верхнего волокна бетона в середине плиты.

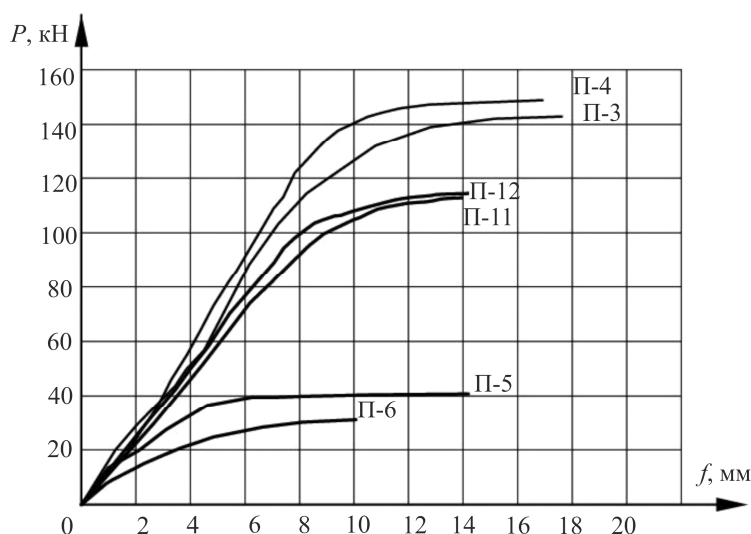


Рис. 6. Экспериментальные кривые прогибов с шагом анкеров 50 мм

Плиты образцов П-1–П-4 доводились до разрушения, которое происходило вследствие продавливания бетона под штампом. Между тем, анализируя характер деформирования плит и развитие пластических деформаций в стальном листе во время разрушения, можно сделать вывод, что исчерпание несущей способности испытываемых образцов произошло по прочности нормальных сечений.

Результаты измерений прогибов в центре плиты для восьмиугольных экспериментальных образцов П-5–П-8 показали, что пластические деформации в листе появляются уже при нагрузке 12 кН, а при нагрузке в среднем 25 кН происходит разрушение верхнего волокна бетона в середине плиты. Это сопровождается стремительным ростом прогибов плиты в середине на 50 %. Как и в образцах П-1–П-4, разруше-

ние образцов происходило из-за продавливания бетона под штампом. Характер деформирования и развитие пластических свойств стального листа к моменту разрушения позволяют говорить об исчерпании несущей способности по прочности нормальных сечений, что коррелирует с результатами испытания квадратных плит, где объединение листа с бетоном также осуществлялось при помощи стальных анкеров.

Результаты измерений прогибов в центре плиты квадратного образца П-9–П-12 показали, что пластические деформации в листе появляются уже при нагрузке 40 кН, а при нагрузке 50–60 кН происходит разрушение верхнего волокна бетона в середине плиты. Плиты образцов П-9–П-10 не доводились до полного разрушения. Испытания в этих образцах были остановлены из-за возникновения значительных прогибов. Плиты образцов П-11 и П-12 доводились до разрушения, которое происходило вследствие продавливания бетона под штампом. Анализируя характер деформирования плит и развитие пластических деформаций в стальном листе во время разрушения, можно сделать вывод, что исчерпание несущей способности испытываемых образцов произошло по прочности нормальных сечений.

Для плиты с треугольными шпонками (П-13) характерным явилось то, что исчерпание несущей способности сопровождалось отрывом кромок просечек от отбортовок стального листа в местах сварки. Такое явление наблюдалось только в плитах, где просечки приваривались перпендикулярно кромке образца (П-13). После отрыва даже одной просечки деформации продолжали расти, что приводило к отрыву остальных просечек. Отрыв петлевых анкеров, приваренных к стальному листу, происходил при нагрузке порядка 40–60 кН, но на работу плиты не оказывал существенного влияния, так как во внешней листовой арматуре не наблюдалось увеличения прогибов и деформаций.

В результате испытания опытных образцов сталебетонных плит перекрытия были получены данные о характере их напряженно-деформированного состояния на различных этапах нагружения, а также данные о характере трещинообразования и предельном состоянии конструкций. Запроектированные модели экспериментальных образцов позволяют оценить влияние на несущую способность плит различного очертания и способов армирования, а также шага расположения анкеров. Анализируя полученные графики зависимости прогибов от нагрузки для разных конструкций сталебетонных образцов, можно сделать вывод, что круглые плиты, а также квад-

ратные плиты с просечками, приваренными перпендикулярно кромке образца, имеют наибольшую несущую способность по сравнению с квадратными и восьмиугольными плитами.

### Список литературы

1. Chikhladze E.D., Vatulya G.L. Experimental Researches of Steel-Concrete Plates // *Proceedings of the IASS 40<sup>th</sup> Anniversary Congress*. – Madrid, 1999. – Vol. 1. – Pp. 13–18.

2. Чихладзе Э.Д., Арсланханов А.Д. Теория деформирования сталебетонных плит // *Совершенствование методов расчета и проектирования конструкций и сооружений: сб. науч. тр. / ХарГАЖТ*. – Харьков, 1996. – Вып. 27. – С. 4–39.

3. Ong K.C.G., Mays G.C., Cusens A.R. Flexural Test of Steel-Concrete Open Sandwiches // *Magazine of Concrete Research*. – 1982. – Vol. 34, no. 120. – P. 130–138.

4. Смолянюк Н.В. Напряженно-деформированное и предельное состояние сталебетонных плит перекрытий: дис. ... канд. техн. наук. – Харьков, 2003. – 184 с.

5. Ватуля Г.Л., Орел Е.Ф., Ковальчук А.М. Экспериментальные исследования сталебетонных плит перекрытия // *Сб. науч. тр. Укр. гос. акад. ж.-д. транспорта*. – Харьков, 2011. – Вып. 126. – С. 314–318.

6. Шевченко А.А. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния сталебетонных круглых плит // *Сб. науч. тр. Укр. гос. акад. ж.-д. транспорта*. – Харьков, 2012. – Вып. 130. – С. 113–120.

### References

1. Chikhladze E.D., Vatulya G.L. Experimental Researches of Steel-Concrete Plates. *Proceedings of the IASS 40<sup>th</sup> Anniversary Congress*. Madrid, 1999, vol. 1, pp. 13-18.

2. Chikhladze E.D., Arslankhanov A.D. Teoriia deformirovaniia stalebetonnykh plit [The theory of deformation of reinforced concrete slabs]. *Sbornik nauchnykh trudov "Sovershenstvovanie metodov rascheta i proektirovaniia konstruksii i sooruzhenii"*. Kharkov, 1996, vol. 27, pp. 4-39.

3. Ong K.C.G., Mays G.C., Cusens A.R. Flexural Test of Steel-Concrete Open Sandwiches. *Magazine of Concrete Research*, 1982, vol. 34, no. 120, pp. 130-138.



4. Smolianiuk N.V. Napriazhenno-deformirovannoe i predel'noe sostoianie stalebetonnykh plit perekrytii [Stress-strain and limit state concrete floor slabs]. Thesis of Ph.D.'s degree dissertation, Kharkov, 2003, 184 p.

5. Vatulia G.L., Orel E.F., Koval'chuk A.M. Eksperimental'nye issledovaniia stalebetonnykh plit perekrytiia [Experimental studies of reinforced concrete slabs]. *Sbornik nauchnykh trudov Ukrainskoi gosudarstvennoi akademii zheleznodorozhnogo transporta*. Khar'kov, 2011, vol. 126, pp. 314-318.

6. Shevchenko A.A. Eksperimental'nye issledovaniia napriazhenno-deformirovannogo sostoianiia stalebetonnykh kruglykh plit [Experimental studies of stress-strain state of concrete round plates]. *Sbornik nauchnykh trudov Ukrainskoi gosudarstvennoi akademii zheleznodorozhnogo transporta*. Khar'kov, 2012, vol. 130, pp. 113-120.

Получено 13.08.2014

### **Об авторах**

**Ватуля Глеб Леонидович** (Харьков, Украина) – кандидат технических наук, доцент, Украинская государственная академия железнодорожного транспорта (61050, Харьков, пл. Фейербаха, 7).

**Шевченко Анна Александровна** (Харьков, Украина) – ассистент, Украинская государственная академия железнодорожного транспорта (61050, Харьков, пл. Фейербаха, 7, e-mail: Anna112358@mail.ru).

### **About the authors**

**Vatulia Gleb Leonidovich** (Kharkov, Ukraine) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Ukrainian State Academy of Railway Transport (7, Sq. Feuerbach, Kharkov, 61050, Ukraine).

**Shevchenko Anna Aleksandrovna** (Kharkov, Ukraine) – Assistant, Ukrainian State Academy of Railway Transport (7, Sq. Feuerbach, Kharkov, 61050, Ukraine, e-mail: Anna112358@mail.ru).