

Г.Л. Ватуля, к.т.н., доцент, Е.Ф. Орел, к.т.н., доцент

Украинская государственная академия железнодорожного транспорта

Н.В. Смолянюк, к.т.н., доцент

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СТАЛЕБЕТОННОГО ПЕРЕКРЫТИЯ

В работе приводятся результаты экспериментальных исследований плит с внешней листовой арматурой, соединенной с бетоном при помощи анкеров. Рассматриваются квадратные и восьмиугольные, опертые по контуру, сталебетонные плиты. Приведены данные об экспериментальных моделях, их напряженно-деформированном и предельном состоянии, исчерпании несущей способности.

Ключевые слова: *сталебетонная конструкция, плиты перекрытия, внешнее армирование, несущая способность, предел трещинообразования, пластические деформации, предел прочности, модуль упругости.*

Введение. Вопросам развития теории и методов расчета конструкций с внешним листовым армированием уделяется все больше внимания, вследствие использования таких конструкций при проектировании новых и реконструкции существующих зданий и сооружений. Использование конструкций с внешним армированием в большинстве случаев позволяет увеличить жесткость и несущую способность при уменьшении металлоёмкости, стоимости и трудозатрат при возведении.

Обзор последних источников исследований и публикаций. Наибольший эффект от внешнего армирования достигается в изгибаемых в двух направлениях плитах перекрытий и покрытий зданий и сооружений [1-5]. Совместная работа плоского стального листа в условиях двухосного растяжения и бетонной плиты позволяет добиться наибольшего эффекта, однако актуальным вопросом остается выбор оптимального шага и вида связей объединения.

Постановка задачи. Целью проведения исследований является моделирование работы сталебетонного перекрытия, оценка его напряженно-деформированного и предельного состояния, характера трещинообразования и исчерпания несущей способности. Характер работы сталебетонных плит перекрытия определялся при испытаниях в лабораторных условиях на экспериментальных образцах, отражающих работу реальной конструкции. В работе рассматриваются квадратные и восьмиугольные плиты, в которых объединение бетона и стального листа выполнено при помощи петлевых анкеров, треугольных шпонок и П-образных просечек.

Основной материал и результаты. Для экспериментальных исследований было изготовлено шестнадцать опытных образцов. Двенадцать образцов (П1-П12) представляли собой квадратные сталебетонные плиты с размерами в плане 1,0×1,0 м и высотой 50 мм.

Четыре образца (П13-П16) 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.

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

В образцах П1-П3 металлический лист объединялся с бетонным слоем при помощи наклонных петлевых анкеров, выполненных из гладкой арматурной стали класса Вр-1 диаметром $d = 4$ мм. В образцах П4-П6 для объединения металлического листа с бетоном использовались аналогичные анкера диаметром $d = 5$ мм. Шаг расстановки анкеров в образцах П1-П6 составлял 50 мм (рис. 1).

В образцах П7-П12 металлический лист выполнялся с отбортовками и объединялся с бетоном за счёт П-образных просечек шириной 20 мм и длиной от 80 до 260 мм, выполненных в металлическом листе, причём просечки пересекали линию перегиба отбортовок. Основание каждой просечки было размещено на металлическом

листе, а отогнутая кромка просечек – на отбортовках листа. Использовались следующие варианты размещения просечек: взаимно перпендикулярное (под углом 90° по отношению к кромке листа) в образцах П7 и П8 (рис. 2), веерообразно, под углами от 54° до 90° по отношению к кромке листа, в образцах П9 и П10 (рис. 3) и по углам в образцах П11 и П12 (рис. 4).

Для улучшения сцепления металлического листа с бетоном в местах отсутствия П-образных просечек к листу крепились петлевые анкеры из гладкой проволоки диаметром $d=2$ мм, класс стали Вр-1. Анкера располагались по диагоналям стального листа по 4 для каждой модели плиты (рис. 2-4).

В образцах П13-П16 металлический лист объединялся с бетонным ядром при помощи анкеров, выполненных из рифленой проволочной арматуры $d=4$ мм класса Вр-1. Как и в образцах П1-П6, анкера приваривались к листовой арматуре ручной электродуговой сваркой, при этом для предотвращения смятия стального листа и обеспечения большей зоны его включения в работу при вырывании из него анкерного стержня длина сварного шва выдерживалась равной 6-10 мм. В образцах П13 и П14 (рис. 5) анкерные упоры расположены по радиусам с шагом 50 мм. В образце П15 (рис. 6) анкерные упоры расположены по апофемам с шагом 50 мм, а в образце П16 (рис. 5) - по радиусам с шагом 100 мм.

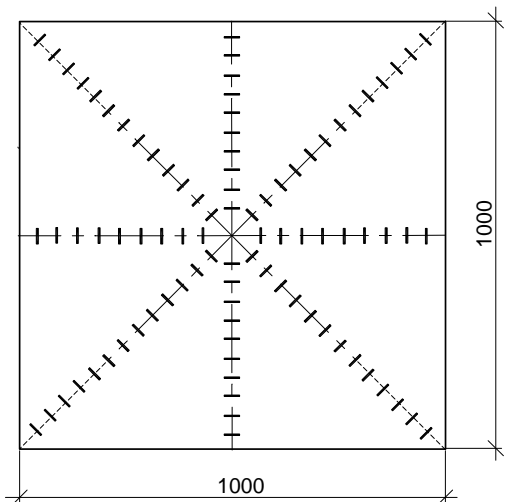


Рисунок 1 – Конструкция образцов П1-П6

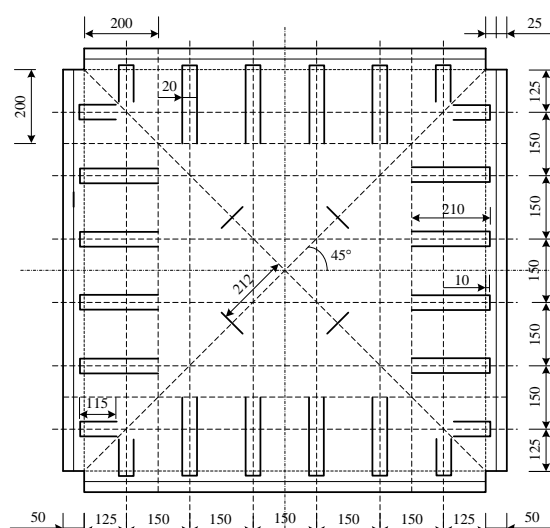


Рисунок 2 – Конструкция образцов П7, П8

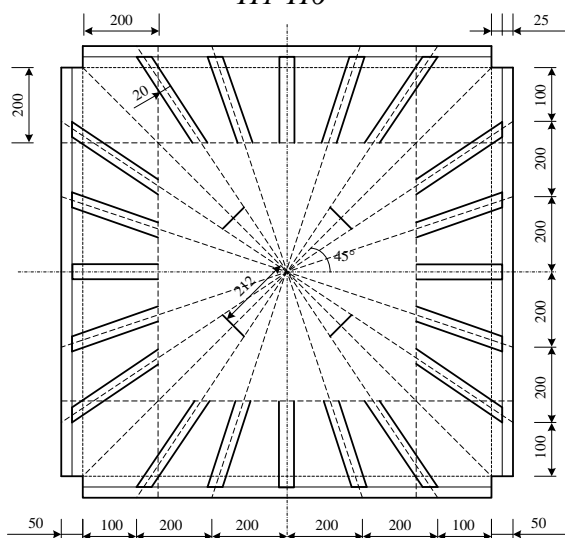


Рисунок 3 – Конструкция образцов П9, П10

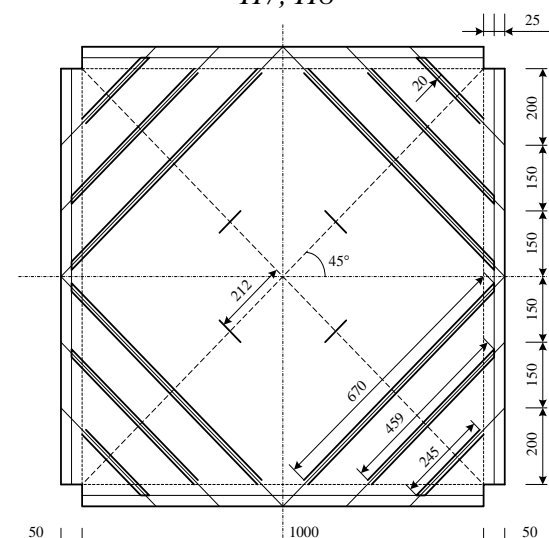


Рисунок 4 – Конструкция образцов П11, П12

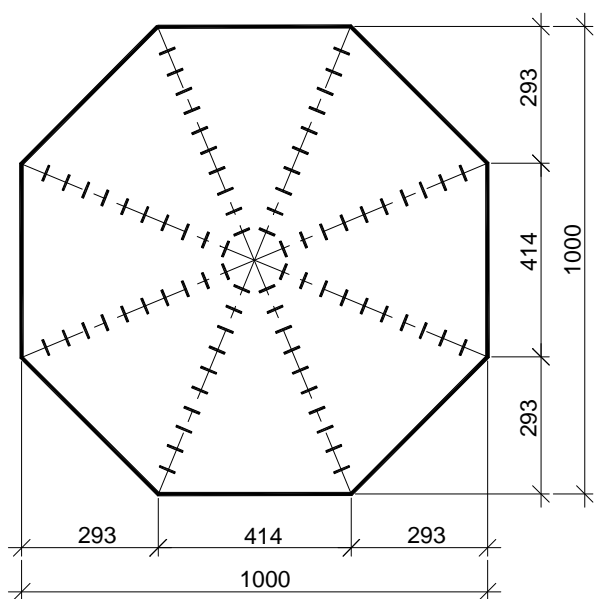


Рисунок 5 – Конструкция образцов П13, П14, П16

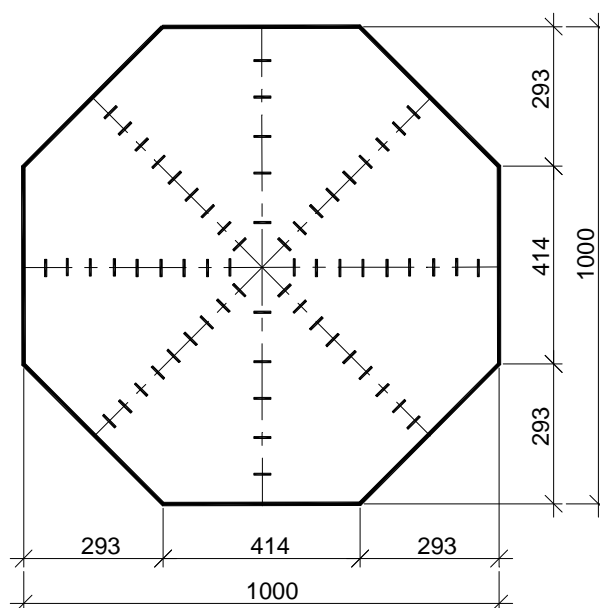


Рисунок 6 – Конструкция образцов П15

Одновременно для получения данных о физико-механических характеристиках бетона и стали были изготовлены бетонные кубы размерами 100x100x100 мм, призмы размерами 150x150x600 мм и стальные полосы размерами 250x25x1 мм, вырезанные из внешнего армирования образца. Испытания контрольных бетонных и стальных образцов были проведены в соответствии с нормами [6, 7].

Испытание плит П1-П6, П13-14 производилось на действие сосредоточенной нагрузки, приложенной в центре плиты, которая передавалась через жесткий штамп размерами 200x200x20 мм. Для предотвращения продавливания плиты от действия сосредоточенной нагрузки в центре опытного образца бетонировалась подушка из цементно-песчаного раствора высотой 10 мм.

Плиты П7-П12 испытывались на действие распределенной нагрузки, приложенной в центре плиты через жесткий штамп с внешними размерами 400x400 мм и внутренними – 200x200 мм, обеспечивали передачу нагрузки по замкнутой полосе площадью 0,12 м². Опытные образцы укладывались на жесткий опорный контур испытательной установки. Для предотвращения отрыва плиты от опорного контура в угловых зонах экспериментальных образцов П1-П12 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 минут для снятия показаний приборов.

Вертикальные перемещения точек плиты в процессе нагружения фиксировались вдоль оси симметрии индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм. Индикаторы располагались на расстоянии 150, 300, 500 мм от её кромки (т.е. в центре плиты).

Относительные деформации во всех образцах измерялись при помощи тензодатчиков, которые наклеивались и на бетон, и на стальной лист. Для бетона использовались датчики с базой 50 мм, а для стали – с базой 20 мм. Поверхность материала при этом была тщательно зачищена и обезжирена.

Характер расположения датчиков и их количество зависело от особенностей каждого образца. На бетоне сжатой зоны датчики располагались одинаково во всех образцах: попарно, перпендикулярно друг другу в поперечном и продольном направлении, в середине и по диагонали плиты.

Прогибы измерялись в середине (под точкой приложения груза) индикатором часового типа с ценой деления 0,01мм. На рисунках 7–9 представлены кривые «нагрузка-прогиб» для экспериментальных образцов П1-П16 посредине плиты.

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.

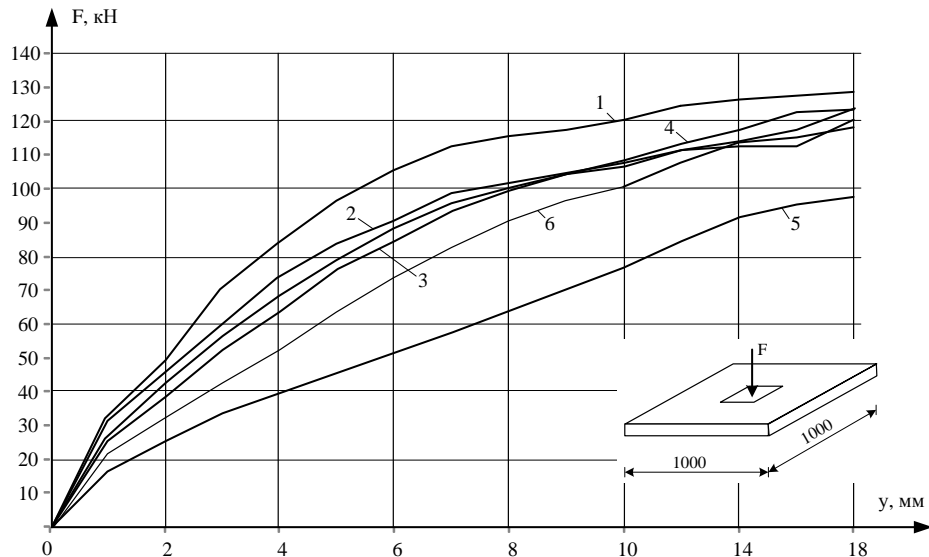


Рисунок 7 – Экспериментальные кривые деформирования образцов П1-П6

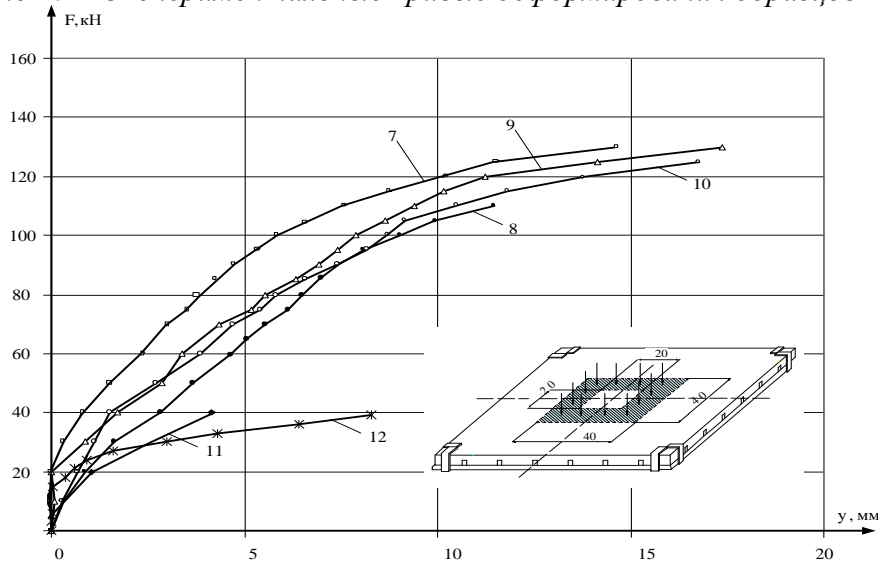


Рисунок 8 – Экспериментальные кривые деформирования образцов П7-П12

Результаты измерений деформаций в стальном листе и бетоне образцов П1-П6 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 П3-П4 не доводились до полного разрушения. Испытания в этих образцах были остановлены из-за возникновения значительных прогибов. Плиты образцов П1, П2, П5 и П6 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.

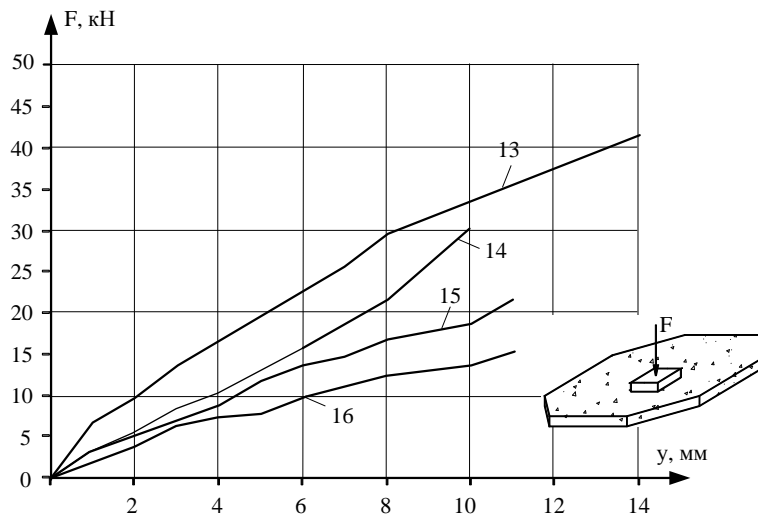


Рисунок 9 – Экспериментальные кривые деформирования образцов П13-П16

Для плит с треугольными шпонками (П7-П12) характерным явилось то, что исчерпание несущей способности сопровождалось отрывом кромок просечек от отбортовок стального листа в местах сварки. При испытаниях всех образцов такое явление наблюдалось только в плитах, где просечки приваривались перпендикулярно кромке образца (П7, П8). 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, т.к. во внешней листовой арматуре не наблюдалось увеличения прогибов и деформаций.

Несущая способность плит с просечками, расположенными по углам (П11, П12), была не велика, т.к. просечки располагались по направлению действия изгибающего момента, то есть в самых слабых местах плит. Таким образом, угловые трещины возникали там, где расположены прорезы в стальном листе, и проходили по всей толщине экспериментальных образцов.

Наиболее высокая несущая способность наблюдалась у плит с веерообразно расположенными просечками (П9, П10). Сравнение экспериментальных значений разрушающих нагрузок с нагрузками для плит П1-П6, свидетельствует о том, что предложенный способ объединения (при помощи просечек) приводит к увеличению несущей способности плит в среднем на 20%. Увеличение несущей способности объясняется образованием по периметру плит треугольных шпонок, работающих на сжатие и предотвращающих сдвиг бетона относительно стального листа. Разрушающие нагрузки плит с взаимно перпендикулярным расположением просечек (П7, П8) в среднем на 10% меньше, чем нагрузки плит с веерообразными просечками.

Что касается сталебетонных плит (П13-П16), то, как показывают результаты измерений деформаций внешней арматуры и бетона, пластические деформации в листе появляются уже при нагрузке 12 кН, а при нагрузке 25 кН происходит разрушение верхнего волокна бетона в середине плиты. Это сопровождается ростом прогибов плиты в середине на 50%. Как и в образцах П1-П6, разрушение образцов происходило из-за продавливания бетона под штампом. При этом плиты, в которых анкерные упоры располагались вдоль радиусов (П13, П14, П16), имели большую несущую способность, чем плиты (П15), в которых анкеры расположены в направлении апофем. Характер деформирования и развитие пластических свойств стального листа к моменту разрушения позволяет говорить об исчерпании несущей способности по прочности нормальных сечений, что коррелируется с результатами испытания квадратных плит, где объединение листа с бетоном также осуществлялось при помощи стальных анкеров.

Выводы. В результате испытания опытных образцов сталебетонных плит перекрытия были получены данные о физико-механических свойствах материалов (бетона и стали), характере их напряженно-деформированного состояния на различных этапах нагружения, трещинообразовании и предельном состоянии. Запроектированные

модели экспериментальных образцов позволяют оценить влияние на несущую способность плит различных способов армирования и шага расположения анкеров.

Литература

1. Чихладзе, Э.Д. Теория деформирования сталебетонных плит / Э.Д. Чихладзе, А.Д. Арсланханов // Совершенствование методов расчета и проектирования конструкций и сооружений // Сборник научных трудов. - Харьков, ХарГАЖТ. - 1996. – Вып. 2 – С. 4-39.
2. Chikhladze, E.D. «Experimental Researches of Steel-Concrete Plates» / E.D. Chikhladze, G.L. Vatulya // Shells and spatial structures: from recent past to the next millennium // Proceedings of the IASS 40th Anniversary Congress – Madrid. – 1999. – Vol.1. - P. 13-18.
3. Орел, Е.Ф. Моделирование напряженно-деформированного состояния трехслойных сталебетонных плит / Е.Ф. Орел // Сборник научных трудов. - Луганск, ЛНАУ. - 2007. – Вып. 71(94). – С. 22-26.
4. Смолянюк, Н.В. Напряженно-деформированное и предельное состояние сталебетонных плит перекрытий: дис.... канд. техн. наук: 05.23.01. / Н.В. Смолянюк. – Харьков, 2003. – 184 с.
5. Ong, K.C.G. Flexural Test of Steel-Concrete Open Sandwiches / K.C.G. Ong, G.C. Mays, A.R. Cusens // Magazine of Concrete Research. - 1982. - Vol. 34. - No.120 - P.130-138.
6. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками: ДСТУ Б В.2.7-214:2009. – Київ: НДІБК. 2009.
7. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение: ГОСТ 12004-81. – М: Госстандарт, 1981.

Надійшла до редакції 15.12. 2011

© Г.Л. Ватуля, Е.Ф. Орел, Н.В. Смолянюк

Г.Л. Ватуля, к.т.н., доцент, Е.Ф. Орел, к.т.н., доцент
Українська державна академія залізничного транспорту
Н.В. Смолянюк, к.т.н., доцент
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СТАЛЕБЕТОННОГО ПЕРЕКРИТТЯ

У роботі наведено результати експериментальних досліджень плит із зовнішньою листовою арматурою, яка поєднана з бетоном за допомогою анкерів. Розглядаються квадратні та восьмикутні сталебетонні плити, які спираються по контуру. Зроблено опис до-слідних моделей, їх напружено-деформованого та граничного стану, вичерпання несучої здатності.

Ключові слова: сталебетонна конструкція, плити перекриття, зовнішнє армування, несуча здатність, межа тріциноутворення, пластичні деформації, границя міцності, модуль пружності.

G.L. Vatulya, k.t.s., docent, Y.F. Orel, k.t.s., docent
Ukrainian State Academy of Railway Transport
H.V. Smolyanuk, k.t.s., docent
Kharkiv National Automobile and Highway Institute

MODELING OF THE BEHAVIOR OF THE STEEL CONCRETE FLOOR

The authors provide the experimental researches of square and octagonal slabs with external steel reinforcement. Steel concrete slabs have the support contour. The experimental slab models were describes in the article together with characteristics of stress-strained and ultimate state of experimental slab and carrying capacity exhaustion data.

Key words: steel concrete structure, slabs, external reinforcement, carrying capacity, crack formation, ultimate strength, plastic deformations, modulus of elasticity.