

УДК 624.012

И. В. Мельник, В. М. Сорохтей, Т. В. Приставский

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПРОДАВЛИВАНИЯ ВЕРХНЕЙ ПОЛКИ МОНОЛИТНОЙ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ С ПУСТОТООБРАЗУЮЩИМИ
ВКЛАДЫШАМИ**

UDC 624.012

I. V. Melnyk, V. M. Sorokhtey, T. V. Prystavskyy

**EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDIES OF PUNCHING THE TOP
SHELF OF A MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE SLAB WITH VOID
FORMING INSERTS**

Аннотация

Представлена методика экспериментальных и теоретических исследований верхней полки фрагментов монолитной железобетонной плиты с пустотообразующими вкладышами при загрузении штампами одинакового размера. Описаны характер разрушений и результаты экспериментальных значений прочности на продавливание при разной толщине верхней неармированной полки, а также сопоставление экспериментальных значений прочности с теоретическими, рассчитанными по разным нормам и в программном комплексе «Лира». Выполнено моделирование напряженно-деформированного состояния при продавливании верхней полки различной толщины в ПК «Femap».

Ключевые слова:

монолитная полая железобетонная плита, бетонная полка, продавливание.

Abstract

The paper presents the methodology of experimental and theoretical research on the top shelf of fragments of a monolithic reinforced concrete slab with void forming inserts during uploading with a stamp of the same size. It also describes the nature of destruction and the results of the experimental values of punching strength at different thicknesses of an unreinforced top shelf, and compares the experimental values of strength with the theoretical ones calculated according to various standards and with «Lira» software complex. The simulation of stress-strain state during punching of top shelves of various thicknesses has been performed in SC «Femap».

Key words:

hollow monolithic concrete slab, concrete shelf, punching.

Введение

Плоские монолитные железобетонные перекрытия все шире используются в зданиях и сооружениях различного назначения: как в каркасном, так и в индивидуальном строительстве. При средних и больших пролетах существенно увеличивается собственный вес монолитных перекрытий. Для его уменьшения целесообразно применять вклады-

ши из относительно легких и дешевых материалов [1, 2].

В Украине в качестве вкладышей обычно используют пенополистирол [3–5]. При этом, как правило, применяют вкладыши прямоугольных форм, позволяющих получать более рациональные геометрические параметры с относительно тонкостенными размерами верхней и нижней полок перекры-

тия. По отношению к окружающему бетону прочность и деформативность пенополистирола на порядок меньше, поэтому можно условно считать, что по отношению к железобетонной плите пенополистирольные вкладыши являются пустотами.

Несмотря на то, что использование плоских монолитных железобетонных перекрытий с вкладышами становится все чаще, исследований на возможное продавливание верхней (непосредственно принимающей нагрузку) полки не проводили.

Анализ исследований и публикаций

Исследования на продавливание бетонных и железобетонных плит имеют столетнюю историю. Среди предыдущих и последних исследований можно выделить работы А. Д. Сергиевского [6], А. Иванова [7], С. Ф. Клованича и В. И. Шеховцова [8].

Экспериментально-теоретические исследования этих и многих других авторов позволили выявить факторы, влияющие на продавливание: прочность бетона, геометрические размеры плит, размеры в плане контактной площадки (штампов) передачи нагрузки, расстояние от опор к штампу, тип штампов, наличие армирования, нагельный эффект в арматуре, форма поверхности пирамиды продавливания, последовательность и характер трещинообразования и др.

Влияние основных факторов на продавливающую силу отражено в предыдущих и действующих нормативных документах [9–11].

Цель и задачи исследований

Провести экспериментально-теоретические исследования прочности верхней полки монолитного железобетонного перекрытия с пустотообразующими вкладышами при загрузении одинакового размера в плане штампами при различной и незначительной тол-

щине полки, что может иметь место в случае отклонения положения вкладышей по высоте сечения плиты и других технологических факторов при выполнении работ по устройству монолитного перекрытия с вкладышами.

Методика и результаты экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводили на опытном железобетонном плитном образце общими размерами $26 \times 53 \times 122$ см, который представлял собой фрагмент перекрытия с поперечным расположением вкладышей сечением 16×16 см.

Опытные образцы армировались только в нижней зоне.

После тепловой обработки пенополистирольные вкладыши изъяли, образовав пустоты.

Фактическая прочность бетона по результатам испытаний контрольных образцов составляла $19,1 \dots 20,9$ МПа, модуль упругости – $32,1 \cdot 10^3$ МПа.

Верхнюю полку над каждой пустотой порезали в поперечном направлении на пять частей.

Испытания верхней полки на продавливание проводили с использованием верхней и нижней плит гидравлического пресса П-125 (рис. 1, а).

Металлическую пластину (штамп) размерами в плане 3×5 см выставляли на цементно-песчаном растворе марки М100 для выравнивания контактных плоскостей с полкой плиты. При испытании каждой полки к боковым граням соседних ребер устанавливали швеллера № 14 на растворе М100, которые крепили между собой тяжами для восприятия горизонтального распора, возникающего при загрузении (рис. 1, б).

Всего было испытано 30 фрагментов верхней бетонной полки. В зависимости от характера разрушения их можно сгруппировать по четырем типам.

Тип разрушения I. Разрушение полки на площади более 70 %, но не по

всей ширине (рис. 2). Наблюдается образование трещины с двух сторон возле

ребер плиты.

а)



б)

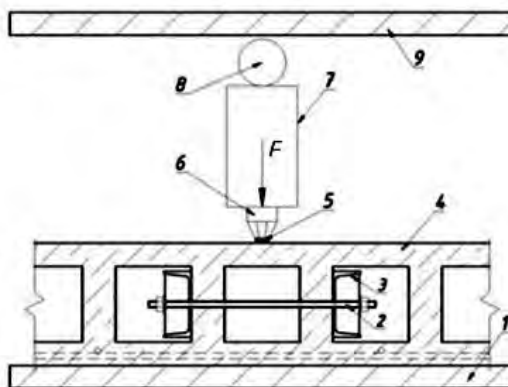


Рис. 1. Общий вид пресса П-125 (а) и схема испытания (б) верхних полок фрагмента плиты на продавливание: 1 – нижняя плита прессы; 2 – тяг; 3 – швеллер № 14; 4 – опытный образец; 5 – металлическая пластина (штамп); 6 – конусный металлический элемент; 7 – гидравлический домкрат; 8 – динамометр; 9 – верхняя плита прессы

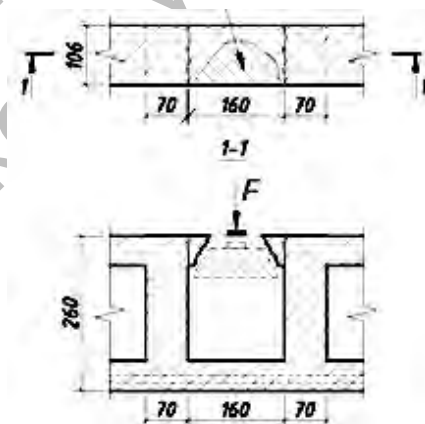


Рис. 2. Характер и схема разрушения полки типа I

Тип разрушения II. Трещины образуются возле ребра P1, срез – со стороны ребра P2 (рис. 3). Площадь зоны разрушения составляет около 75 %.

Тип разрушения III. Разрушенная площадь полки составляет 50...70 %. Срез – со стороны одного из ребер. В отличие от схемы разрушения II очертание в плане краев разрушенной части полки является почти прямоугольным (рис. 4).

Тип разрушения IV. Полка разрушилась по «классической» схеме продавли-

вания в виде пирамиды (рис. 5), боковые грани которой наклонены под углом примерно 45...47° к ее основанию.

Результаты экспериментальных исследований приведены на рис. 6, на котором представлены значения продавливающей разрушающей нагрузки F в зависимости от толщины полки t и график, отражающий характер этой зависимости.

Более подробно методика и результаты экспериментальных исследований изложены в [12].

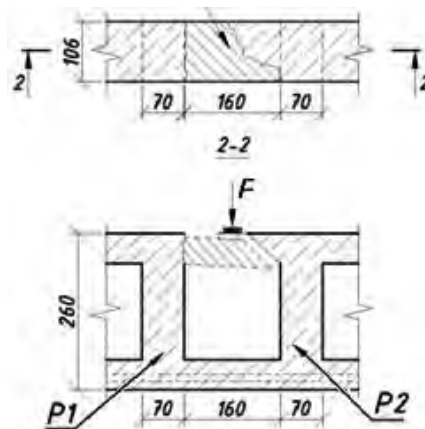


Рис. 3. Характер и схема разрушения полки типа II

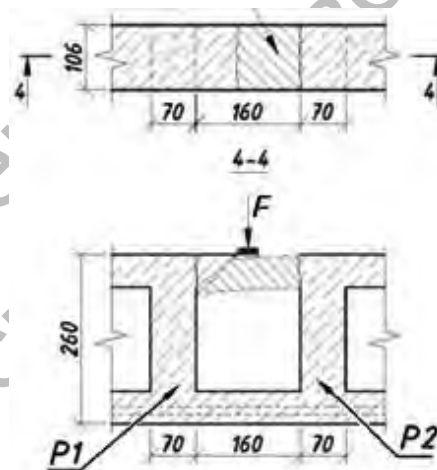
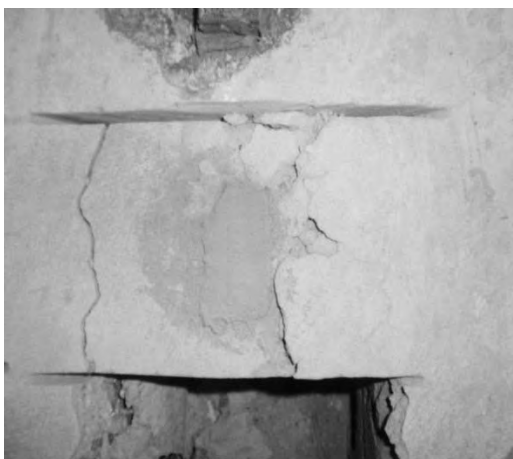


Рис. 4. Характер и схема разрушения полки типа III

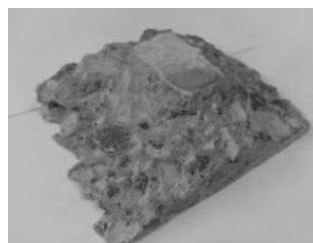
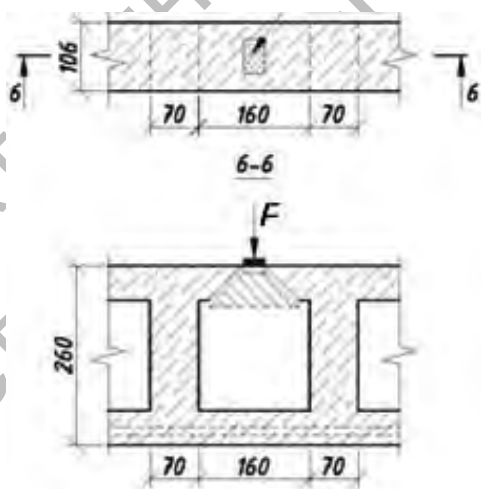


Рис. 5. Характер и схема разрушения полки типа IV

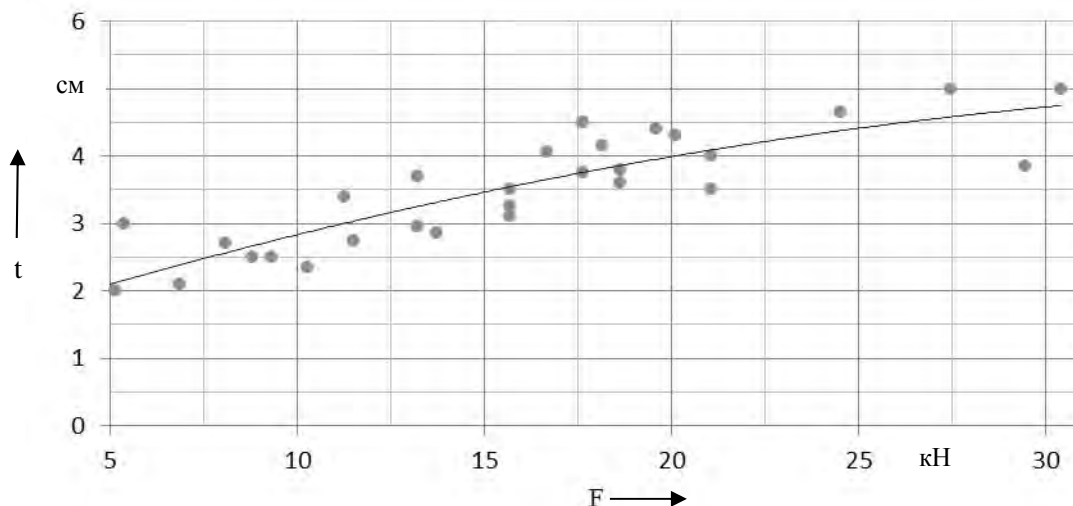


Рис. 6. Зависимость разрушающей продавливающей нагрузки \$F\$ от толщины верхней полки \$t\$

Сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований

Теоретические исследования предусматривали расчет продавливающей силы, определенной по методикам разных нормативных документов.

По [9] продавливающее усилие, которое может воспринять плита без поперечного армирования, находят по зависимости

$$V_{ED,k} = V_{RD,ct} \cdot u, \quad (1)$$

где

$$V_{RD,ct} = [0,12k \cdot f_{c,cube}^{1/3}] \cdot d; \quad (2)$$

\$d\$ – рабочая высота сечения; \$f_{c,cube}\$ – кубическая прочность бетона на сжатие; \$u\$ – контрольный периметр; \$k\$ – коэффициент, учитывающий влияние масштабного фактора,

$$k = 1 + \sqrt{\frac{20}{d}} < 2. \quad (3)$$

При этом принимается, что разрушение происходит под углом \$26,6^\circ\$ по отношению к основанию плиты. В расчетной схеме (рис. 7) приняты следующие

условные обозначения: \$A\$ – базовое контрольное сечение; \$B\$ – основная контрольная площадь; \$C\$ – основной контрольный периметр \$u_1\$; \$D\$ – площадь нагрузки; \$r_{cont}\$ – радиус следующего контрольного периметра.

Расчет элементов без поперечной арматуры на продавливающее действие сосредоточенной силы по [10] производят исходя из расчетной схемы, представленной на рис. 8, из условия

$$F \leq F_{b,ult}, \quad (4)$$

где \$F\$ – сосредоточенная внешняя продавливающая сила; \$F_{b,ult}\$ – предельное усилие, которое может воспринять бетон.

Усилия \$F_{b,ult}\$ определяют по формуле

$$F_{b,ult} = R_{bt} \cdot A_b, \quad (5)$$

где \$R_{bt}\$ – расчетное сопротивление бетона осевому растяжению; \$A_b\$ – площадь расчетного поперечного сечения, расположенного на расстоянии \$0,5h_0\$ от границы площади приложения сосредоточенной силы \$F\$ с рабочей высотой сечения \$h_0\$ (см. рис. 8).

Примечание – В схемах и зависимостях сохранены обозначения, принятые в соответствующих нормах.

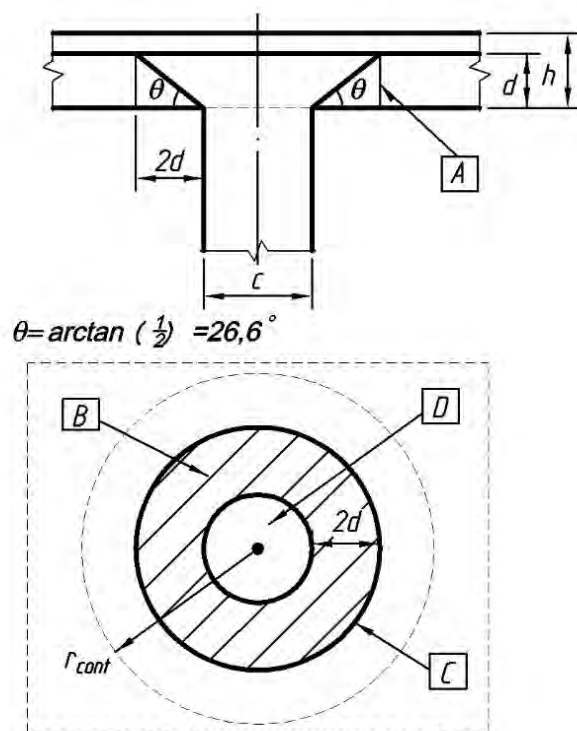


Рис. 7. Расчетная схема продавливания по [9]

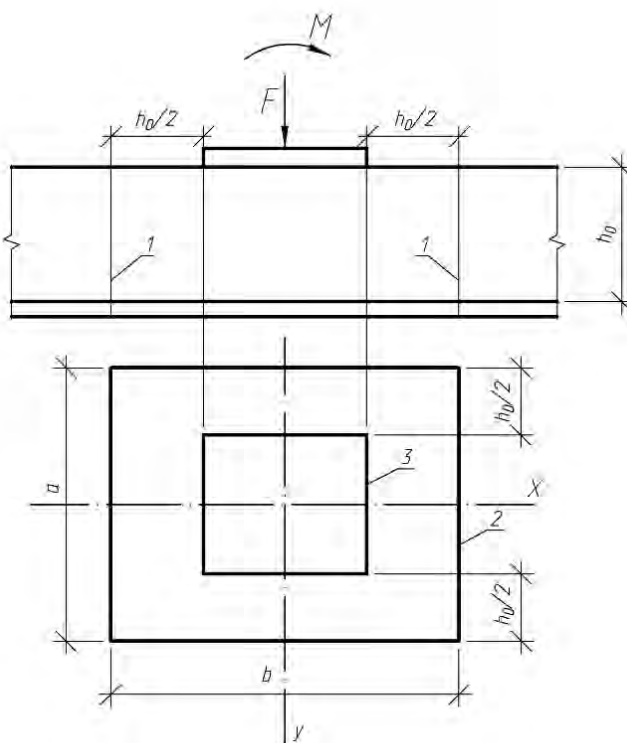


Рис. 8. Схема расчета железобетонных элементов без поперечной арматуры на продавливание по [10]:
1 – расчетное поперечное сечение; 2 – контур поперечного расчетного сечения; 3 – контур площадки загрузки

Площадь поперечного расчетного сечения в общем случае определяют по формуле

$$A_b = u \cdot h_0, \quad (6)$$

где u – периметр контура расчетного поперечного сечения; h_0 – рабочая высота сечения, $h_0 = 0,5(h_{0x} + h_{0y})$; h_{0x} и h_{0y} – рабочие высоты сечения для продольной арматуры, расположенной в направлении осей X и Y .

Расчет на продавливание плитных конструкций без поперечной арматуры по [11] по учету расчетных факторов аналогичен расчету по [10] и производится из условия

$$F \leq \alpha R_{bt} u_m h_0, \quad (7)$$

где F – продавливающая сила; α – коэффициент (для тяжелого бетона $\alpha = 1$); R_{bt} – расчетная прочность бетона на растяжение; u_m – среднеарифметическое значение периметров верхнего и нижнего оснований пирамиды, которая образуется при продавливании в пределах рабочей высоты сечения h_0 .

Поскольку в исследуемой при эксперименте полке продольная арматура отсутствовала, при определении значений продавливающей силы в расчетных зависимостях вместо h_0 принимали полную (общую) высоту сечения h (рис. 9).

Кроме определения продавливающей силы по расчетным зависимостям разных норм, находили также ее значения с использованием программного комплекса «Ли́ра» при различной толщине полки.

Результаты определения разрушающей продавливающей нагрузки F по разным расчетным зависимостям и их сравнение с опытными значениями F представлены на рис. 10. Из сопоставления видно, что расчет по различным нормативным документам дает занижение значения продавливающей силы сравнительно с полученными опытными данными. Наилучшую сходимость с экспериментальными значениями обеспечивает расчет, выполненный по ПК «Ли́ра».

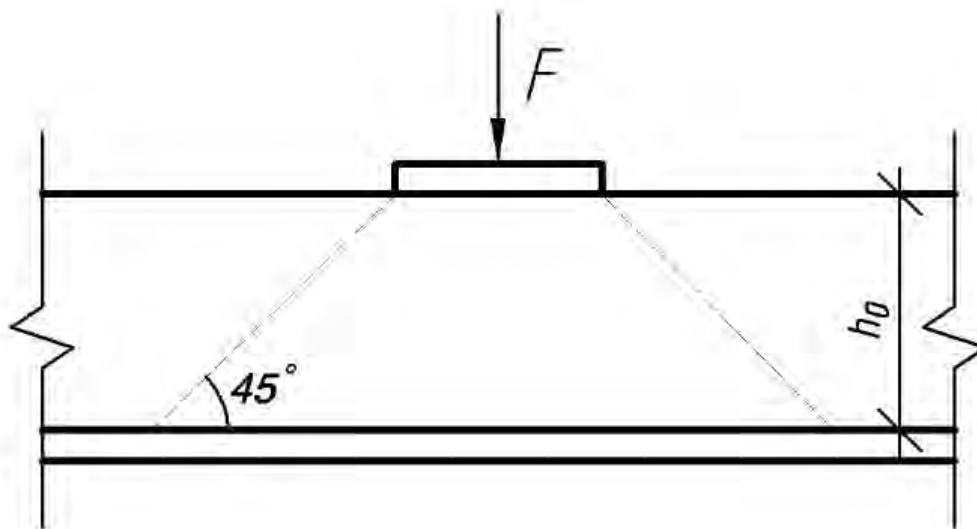


Рис. 9. Схема расчета железобетонных элементов на продавливание по [11]

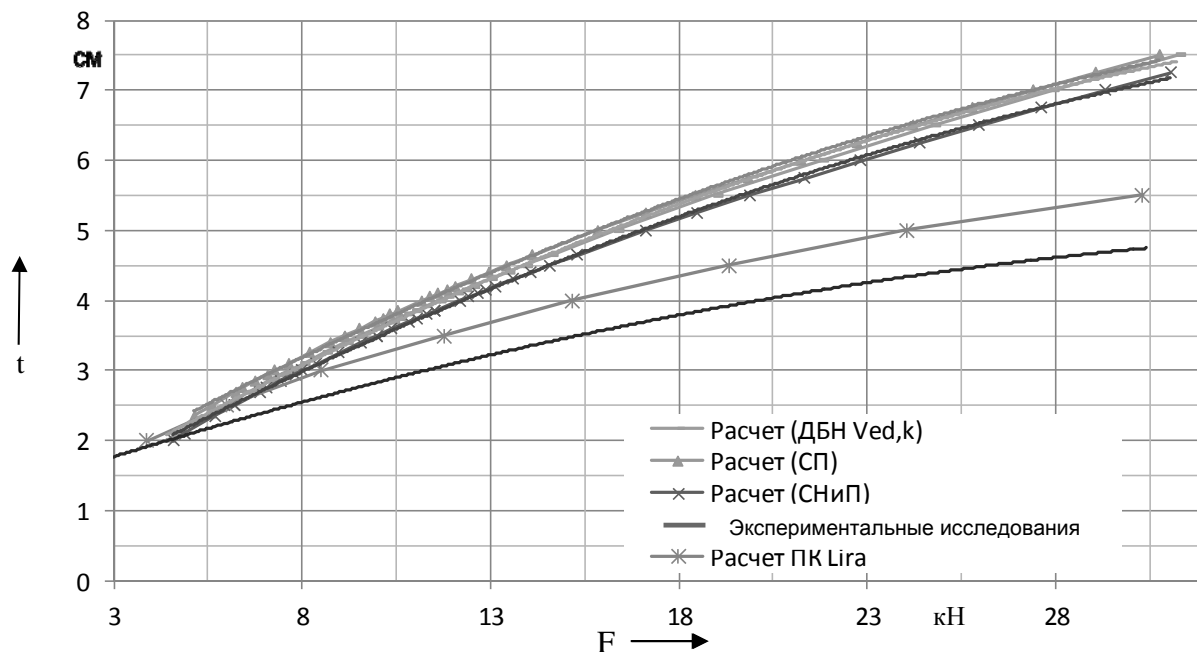


Рис. 10. Сравнение расчетных и опытных значений разрушающей нагрузки F в зависимости от толщины полки t

Моделирование работы опытных образцов в ПК «Femar»

При моделировании в ПК «Femar» задавали геометрические размеры фрагментов опытных образцов, которые по ширине отвечали размерам верхней полки в плане. Кроме того, задавали фактические физико-механические характеристики бетона, определённые испытанием кубов и призм.

Расчеты производили как в упругой стадии, так и с учетом пластических деформаций бетона. При этом опытные образцы были «разбиты» на отдельные объёмные элементы с размером ребра 5 мм.

Результаты моделирования НДС в ПК «Femar» в объёмном изображении представлены для фрагментов опытных образцов с толщиной полки 20 и 50 мм (рис. 11).

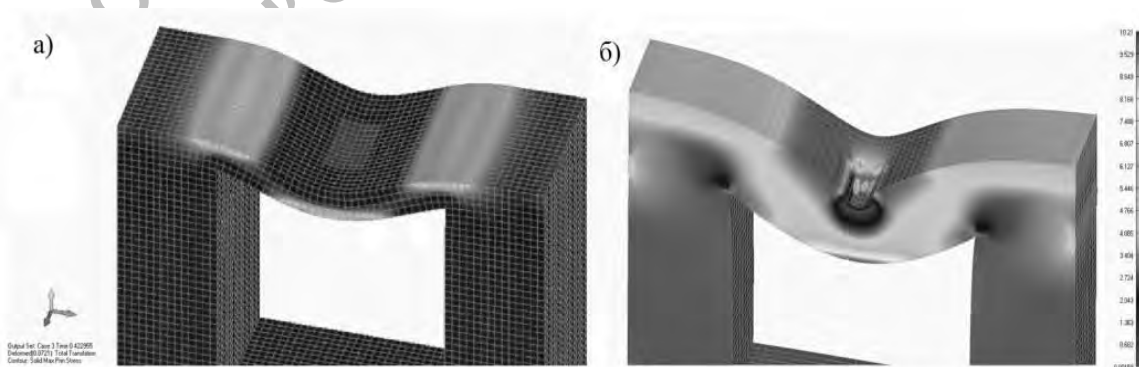


Рис. 11. Схема деформирования и характер распределения напряжений в полках: а – толщиной 20 мм; б – толщиной 50 мм

Из сравнения схем (см. рис. 11) видно, что при толщине полки 20 мм характер распределения напряжений иной, нежели в полке толщиной 50 мм. Для полки толщиной 20 мм более свойственно распределение напряжений, присущее изгибаемым элементам. В полке толщиной 50 мм под основанием штампа формируется будущая «классическая» пирамида продавливания.

Выводы

Характер разрушения верхней неармированной полки фрагментов монолитной железобетонной плиты с пустотообразующими вкладышами при испытании на продавливание был разным и в большинстве случаев не соответствовал «классической» схеме продавливания по форме пирамиды.

Опытные значения продавливающей силы даже при незначительной толщине полки (20...30 мм) при загрузке штампом 3×5 см являлись существенными (от 5,0 до 11,5 кН) и достаточными для восприятия технологи-

ческих и других сосредоточенных нагрузок. При толщине полки 40...50 см фактическое значение продавливающей силы составило от 20 до 31 кН.

Теоретические значения продавливающей силы, подсчитанной по расчетным зависимостям разных норм, дают заниженные значения продавливающей силы. Наилучшую сходимость с опытным значением продавливающей силы обеспечивает расчет с использованием ПК «Лира».

Компьютерное моделирование работы верхней полки в ПК «Femap» позволило выявить особенности и отличие напряженно-деформированного состояния полков различной толщины.

Особенность напряженно-деформированного состояния верхней полки монолитной железобетонной плиты с пустотообразующими вкладышами при сосредоточенной нагрузке необходимо учитывать при совместном действии основной (эксплуатационной) и местной нагрузок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мельник, І. В.** Конструктивно-технологічні особливості бетонних і залізобетонних конструкцій з ефективними вставками / І. В. Мельник // Науково-практичні проблеми сучасного залізобетону : зб. наук. праць. – Київ, 1997. – С. 164–171.
2. **Мельник, І. В.** Спосіб виготовлення пустотілих бетонних і залізобетонних виробів / І. В. Мельник // Декларативний патент на винахід. – Державний департамент інтелектуальної власності. – Бюл. № 7-II від 15.12.2000.
3. **Євстаф'єв, В. І.** Полегшені багат шарові перекриття для архітектурно-будівельних систем з широким кроком несучих конструкцій : автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. І. Євстаф'єв. – Київ, 2004. – 18 с.
4. **Мельник, І. В.** Конструктивні рішення плоских монолітних залізобетонних перекриттів з ефективними вставками і експериментальне дослідження їх фрагментів / І. В. Мельник, В. М. Сорохтей // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць. – Рівне, 2006. – Вип. 14. – С. 253–260.
5. Опыт надстройки при реконструкции здания за счет уменьшения веса монолитной плиты перекрытия / А. М. Югов, В. В. Таран, Г. Н. Тонкачев, В. И. Сопельник // Науковий вісник будівництва. – Харків, 2009. – Вип. 52.
6. **Сергиевский, А. Д.** Расчет плит на продавливание / А. Д. Сергиевский // Бетон и железобетон. – 1962. – № 6.
7. **Иванов, А.** Расчет прочности плоских плит перекрытий без поперечной арматуры монолитных каркасных зданий на продавливание / А. Иванов, А. С. Залесов // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 2003. – С. 200–205.
8. **Клованич, С. Ф.** Продавливание железобетонных плит : натурный и численный эксперименты / С. Ф. Клованич, В. И. Шеховцов. – Одесса, 2011. – С. 6–9.

9. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – Київ, 2011.
10. СП 52-101-2003. Свод правил по проектированию и строительству «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры». – М., 2003.
11. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции. – М., 1989.
12. Експериментальні дослідження верхньої полиці монолітної залізобетонної порожнистої плити на продавлювання / І. В. Мельник, В. М. Сорохтей, Т. В. Приставський, М. І. Козак // Вісн. Львівського нац. аграрного ун-ту «Архітектури і сільськогосподарське будівництво». – 2014. – № 15. – С. 88–94.

Статья сдана в редакцию 23 мая 2016 года

Игорь Владимирович Мельник, канд. техн. наук, доц., Национальный университет «Львовская политехника». E-mail: GNDL112@ukr.net.

Василий Михайлович Сорохтей, научный сотрудник, Национальный университет «Львовская политехника». E-mail: monza@ukr.net.

Тарас Владимирович Приставский, аспирант, Национальный университет «Львовская политехника». E-mail: taras.vol@ukr.net.

Igor Vladimirovich Melnyk, PhD (Engineering), Associate Prof., Lviv Polytechnic National University. E-mail: GNDL112@ukr.net.

Vasyl Mikhailovich Sorokhtey, research fellow, Lviv Polytechnic National University. E-mail: monza@ukr.net.

Taras Vladimirovich Prystavskyy, PhD student, Lviv Polytechnic National University. E-mail: taras.vol@ukr.net.