

УДК 624.012.45 DOI 10.36910/6775.24153966.2019.68.17

М.Г. Сур'янінов, С.П. Неутов, І.Б. Корнєєва*Одеська державна академія будівництва та архітектури***ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ МОДЕЛІ
ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ПУСТОТНОЇ ПЛИТИ ПЕРЕКРИТТЯ**

Наведено результати лабораторних випробувань модельної конструкції багатопустотної плити перекриття. По відношенню до серійної плити, геометричні розміри моделі зменшені в два рази, але, виходячи з технологічних міркувань, плита має не 6, а 5 пустот. Виконано порівняння отриманих результатів з результатами комп'ютерного моделювання та розрахунку в програмних комплексах SOFiSTiK і LIRA-SAPR. Результати розрахунку методом скінчених елементів в двох різних програмних комплексах незначно відрізняються від експериментальних даних тільки до початку тріщиноутворення. Згинальний момент від навантаження, яке відповідає початку утворення тріщин в експерименті, відрізняється на 1,36% від значення, отриманого в результаті комп'ютерного розрахунку, а прогин - на 5,9%. А при фактичному руйнівному навантаженню, отриманому в експерименті, згинальний момент перевищує аналогічну величину, визначену чисельно, в 3, 15 рази, а прогин - в 5,2 рази. Це свідчить про те, що лінійна модель, закладена при комп'ютерних розрахунках, є абсолютно непринятною після початку тріщиноутворення. Процес утворення тріщин експериментального зразка плити почався при навантаженні 16,6 кН, що склало 59% від фактичної величини руйнівного навантаження.

Ключові слова: плита перекриття, модель, експеримент, несуча здатність, залізобетон, комп'ютерне моделювання, SOFiSTiK, LIRA-SAPR.

Н.Г. Сурьянинов, С.Ф. Неутов, И.Б. Корнеева*Одесская государственная академия строительства и архитектуры***ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МОДЕЛИ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПУСТОТНОЙ ПЛИТЫ ПЕРЕКРЫТИЯ**

Приведены результаты лабораторных испытаний модельной конструкции многопустотной плиты перекрытия. По отношению к серийной плите, геометрические размеры модели уменьшены в два раза, но, исходя из технологических соображений, плита имеет не 6, а 5 пустот. Выполнено сравнение полученных результатов с результатами компьютерного моделирования и расчета в программных комплексах SOFiSTiK и LIRA-SAPR. Результаты расчета методом конечных элементов в двух разных программных комплексах незначительно отличаются от экспериментальных данных только до начала трещинообразования. Изгибающий момент от нагрузки, соответствующей началу образования трещин в эксперименте, отличается на 1,36 % от значения, полученного в результате компьютерного расчета, а прогиб — на 5,9 %. А при фактической разрушающей нагрузке, полученной в эксперименте, изгибающий момент, превышает аналогичную величину, определенную численно, в 3, 15 раз, а прогиб — в 5,2 раз. Это свидетельствует о том, что линейная модель, заложенная при компьютерных расчетах, совершенно неприемлема после начала трещинообразования. Процесс трещинообразования экспериментального образца плиты начался при нагрузке 16,6 кН, что составило 59 % от фактической разрушающей нагрузки.

Ключевые слова: плита перекрытия, модель, эксперимент, несущая способность, железобетон, компьютерное моделирование, SOFiSTiK, LIRA-SAPR.

M.H. Surianinov, S.P. Neutov, I.B. Korneieva*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture***EXPERIMENTAL STUDIES OF THE BEARING CAPACITY OF MODEL REINFORCED
CONCRETE EMPTY FLOOR SLABS**

The results of laboratory tests of the model design of a hollow core slab are presented. In relation to the serial plate, the geometric dimensions of the model are halved, but, based on technological considerations, the plate has not 6, but 5 voids. The results obtained are compared with the results of computer modeling and calculation in SOFiSTiK and LIRA-SAPR software systems. The results of the finite element calculation in two different software systems differ slightly from the experimental data only before crack formation began. The bending moment from the load corresponding to the beginning of cracking in the experiment differs by 1,36% from the value obtained by computer calculation, and the deflection by 5,9%. And with the actual breaking load obtained in the experiment, the bending moment exceeds the similar value determined numerically by 3, 15 times, and the deflection by 5,2 times. This indicates that the linear model embedded in computer calculations is completely unacceptable after the onset of crack formation. The cracking process of the experimental plate sample began at a load of 16,6kN, which amounted to 59% of the actual breaking load.

Key words: floor slab, model, experiment, bearing capacity, reinforced concrete, computer simulation, SOFiSTiK, LIRA-SAPR.

Введение. Перекрытия являются важнейшим конструктивным элементом конструкций зданий и сооружений. В гражданских высотных зданиях массовая доля таких конструкций составляет около трети от всего расхода материала, поэтому совершенствование методов расчета и

разработка новых конструктивных решений перекрытий тесно связаны с экономической эффективностью объекта, повышение которой всегда является актуальным.

Как известно, главным недостатком железобетона является внезапное хрупкое разрушение, что в современных условиях становится серьезной проблемой ввиду непредсказуемости влияния разного рода техногенных факторов и террористических угроз. Одним из эффективных решений этой проблемы является использование высокопрочной стальной фибры в качестве добавки к обычному железобетону. Известно, что введение в бетон стальных фибр обеспечивает значительное повышение его прочности, увеличивает сопротивление термическому воздействию и истиранию, позволяет повысить вязкость разрушения. Последнее особенно важно, поскольку решается проблема хрупкого разрушения.

Влияние фибры на прочностные и деформативные свойства конструкции, в данном случае изгибаемой плиты, конечно же, предпочтительно исследовать на полноразмерных образцах серийных плит. Однако такой подход оказывается более дорогостоящим и трудоемким. Вместе с тем, экспериментальные исследования, проведенные на моделях, позволяют установить основные качественные и количественные закономерности, присущие дисперсно-армированным плитам.

Целью данной работы является исследование несущей способности моделей железобетонных многопустотных плит перекрытия в лабораторных условиях для последующего анализа напряженно-деформированного состояния и проектирования на этой основе полноразмерных сталефибробетонных плит перекрытия.

Постановка проблемы. Исследованием несущей способности железобетонных пустотных плит перекрытия занимались многие авторы. В статье [1] рассмотрены результаты экспериментальных исследований пустотных плит перекрытия непрерывного формования; в работе [2] обсуждаются вопросы повышения несущей способности и жесткости перекрытий, образованных многопустотными плитами; результаты исследований сопоставлены с опытом устройства перекрытий, представлены результаты испытания натурального фрагмента плоского перекрытия из двух многопустотных плит. Экспериментальными исследованиями плит перекрытия занимались и другие авторы [3-6], однако в литературе отсутствует обоснование выбора размеров испытываемых образцов и детальное сопоставление результатов испытаний моделей и натуральных образцов конструкций, что является необходимым для прогнозирования несущей способности плит серийного размера при добавлении в бетон компонентов для повышения вязкости разрушения элементов, предупреждения лавинообразного обрушения.

Результаты исследования. Разработана модельная конструкция многопустотной плиты перекрытия (рис. 1). Изготовлена серия таких плит для исследования, а также кубиковые образцы 100x100 из бетона того же замеса. Кубиковые образцы испытаны на сжатие до разрушения, что позволило установить класс бетона (С16/20) в соответствии с нормами [7]. По отношению к серийной плите, геометрические размеры модели уменьшены в два раза, но, исходя из технологических соображений, плита имеет не 6, а 5 пустот. При проектировании учтены требования действующих норм [8, 9].

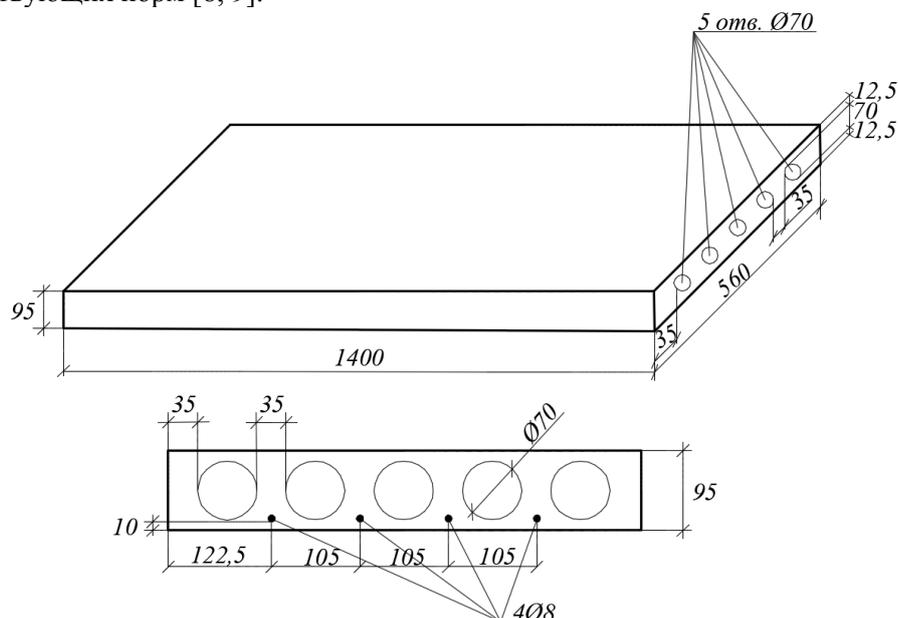


Рис. 1. Модель железобетонной многопустотной плиты перекрытия

Испытания модельных железобетонных плит перекрытия проведены на специально смонтированном стенде (рис. 2). Силовое устройство стенда состоит из плиты нагружения 2 и четырех балок составного сечения — двух верхних 3 и двух нижних 4. Пара верхних балок 3 лежит на плите нагружения 2, на нижние балки опирается модель железобетонной многопустотной плиты 1. Верхние балки связаны с нижними с помощью четырех пластинчатых стержней 5. Плита нагружения 2 опирается на четыре симметрично расположенные стойки 9 и представляет собой жесткий металлический диск прямоугольной формы. Для того, чтобы средняя пролетная часть железобетонной плиты испытывала деформацию чистого изгиба, для ее нагружения использовали двухуровневую перекрестно-балочную систему, на которую нижней плоскостью давит гидравлический домкрат 6 мощностью 100 кН. Нагрузка, прикладываемая к железобетонной плите, контролируется с помощью образцового динамометра (50 кН).

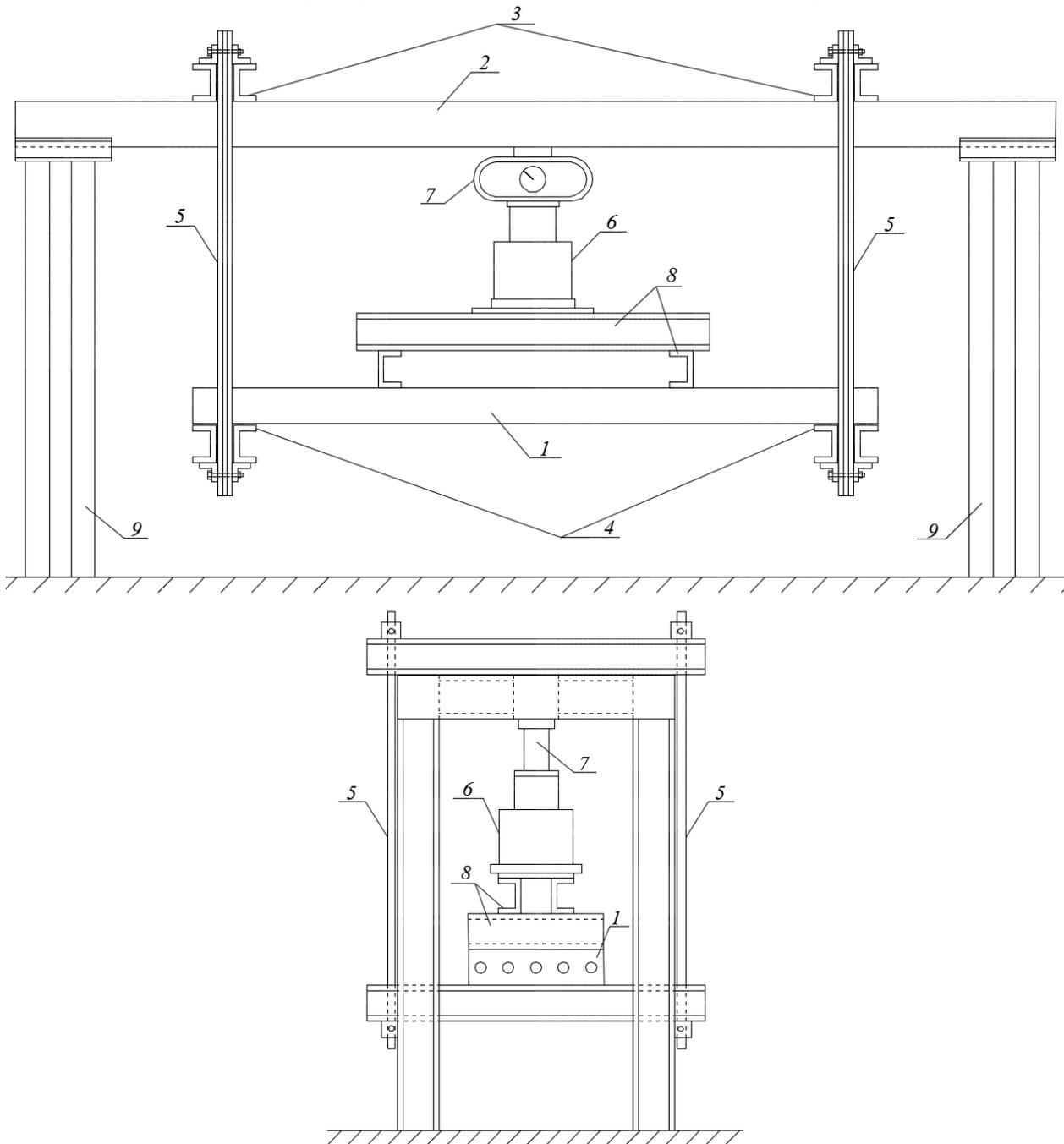


Рис.2. Испытательный стенд

1 – модель многопустотной железобетонной плиты перекрытия; 2 – плита нагружения; 3 – верхняя пара балок нагружения; 4 – нижняя пара балок нагружения; 5 – пластинчатые стержни нагружения; 6 – домкрат 100 кН; 7 – образцовый динамометр 50 кН; 8 – перекрестная система балок, передающая нагрузку на плиту; 9 – опоры.

Разработана программа испытаний, которая регламентирует рабочую схему испытаний конструкций, величины испытательных нагрузок, схемы и порядок их приложения, размещение и тип измерительных приборов, а также содержит указания по проведению испытаний[10]. Расчетная схема представляла собой однопролетную модель нагружения с шарнирными опорами по коротким сторонам плиты (рис. 3). Испытаниям были подвергнуты три плиты.

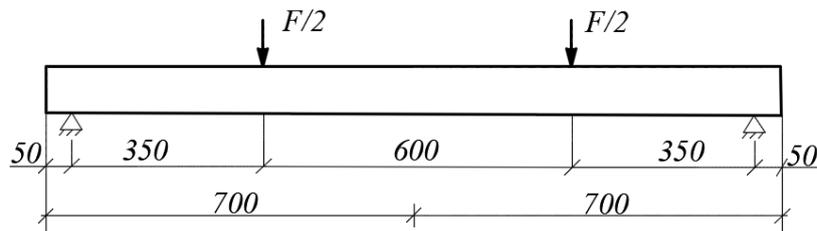


Рис. 3. Схема загрузения

Сначала было проведено пробное нагружение нагрузкой 6,04 кН, что соответствует 80 делениям на динамометре;нагружениеосуществлялось в 3 этапа. После необходимой выдержки под нагрузкой конструкция поэтапно разгружалась до нуля. Делается это для устранения обжатия узлов, опор. Далее нагрузка прикладывалась ступенями, составляющими 10% от расчетной нагрузки, то есть по 20 делений или 1,51 кН. После загрузки каждой ступени осуществлялась выдержка для затухания деформаций и производились отсчеты по приборам. После того, как была достигнута контрольная нагрузка, выполнена выдержка в течение 24 часов, так как деформации в бетоне нарастают постепенно. Измерительные приборы установлены в тех точках и сечениях, перемещения и деформации которых являются наиболее характерными для исследуемой конструкции (рис. 4). Для измерения продольных деформаций установлены индикаторы часового типа в количестве 8 штук и наклеены тензодатчики в соответствующих точках.Прогибы измерялись в середине пролета при помощи прогибомера Аистова.



Рис. 4. Расположение измерительных приборов

На седьмойступенинагружения, при нагрузке 16,6 кН, был зафиксирован момент трещинообразования 2,94кНм, одинаковый для всех трех плит. Разрушающая нагрузка составила 27,9 кН на 16 ступенинагружения при моменте 15,41кНм. Величины изгибающих моментов вычислены на основе обработки показаний тензодатчиков. Значения прогибов для серии модельных плит при этих нагрузках представлены в табл.1.

Таблица 1

Экспериментальные значения прогибов

Характеристики	Модельные плиты			
	1	2	3	Средние значения
Прогиб в начале трещинообразования, мм	1,66	1,72	1,69	1,69
Полный прогиб в конце испытаний, мм	15,2	16,1	15,8	15,7

С целью верификации результатов, полученных экспериментально, выполнено компьютерное моделирование плиты в двух программах — SOFiSTiK[11] (рис. 5) и ПК ЛИРА-САПР [12].

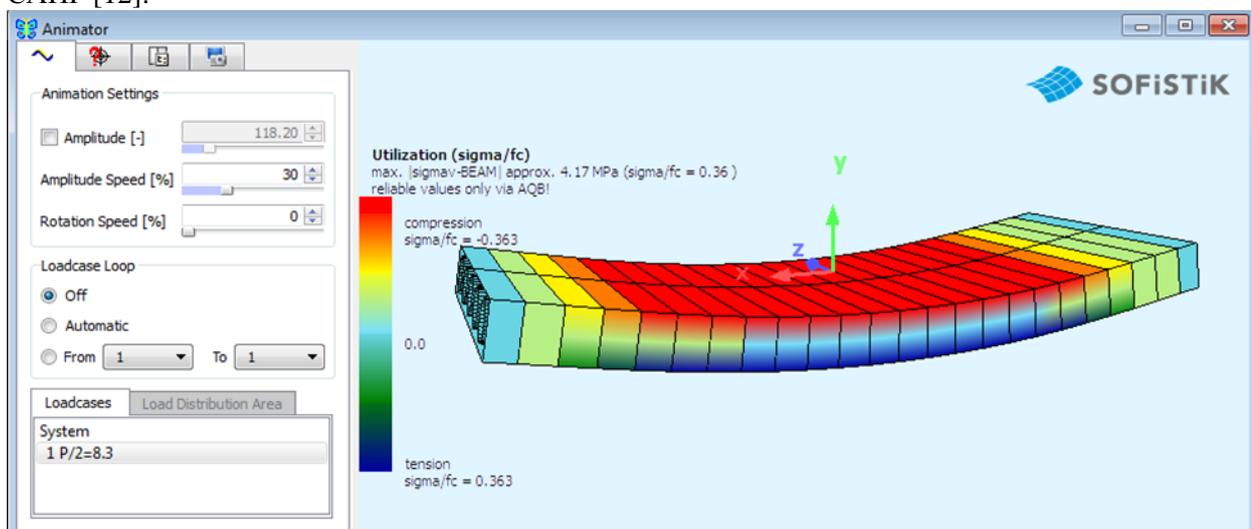


Рис. 5. Компьютерная модель плиты в SOFiSTiK

Расчеты плиты проводились при нагрузке 16,6 кН, которая в эксперименте соответствует началу трещинообразования, а также при нагрузке 27,9 кН, которая привела к разрушению образца.

Числовые значения прогибов и изгибающих моментов, полученные экспериментально и в результате компьютерного моделирования, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Прогибы и изгибающие моменты

Начало трещинообразования в эксперименте								
Эксперимент			SOFiSTiK			ЛИРА-САПР		
Нагрузка кН	Момент кНм	Прогиб мм	Нагрузка кН	Момент кНм	Прогиб мм	Нагрузка кН	Момент кНм	Прогиб мм
16,6	2,94	1,69	16,6	2,9	1,59	16,6	2,9	1,58
Разрушение плиты в эксперименте								
Эксперимент			SOFiSTiK			ЛИРА-САПР		
Нагрузка кН	Момент кНм	Прогиб мм	Нагрузка кН	Момент кНм	Прогиб мм	Нагрузка кН	Момент кНм	Прогиб мм
27,9	15,41	15,7	27,9	4,89	3,02	27,9	4,89	3,05

Выводы. Анализ табл. 2 показывает, что результаты расчета методом конечных элементов в двух разных программных комплексах, использующих разные конечные элементы для аппроксимации построенных геометрических моделей плиты, практически совпадают (значения прогибов и моментов в табл. 2). Изгибающий момент от нагрузки, соответствующей началу

образования трещин в эксперименте, отличается на 1,36 % от значения, полученного в результате компьютерного расчета, а прогиб — на 5,9 %. А при фактической разрушающей нагрузке, полученной в эксперименте, изгибающий момент, превышает аналогичную величину, определенную численно, в 3, 15 раза, а прогиб — в 5,2 раза. Это свидетельствует о том, что линейная модель, заложенная при компьютерных расчетах, совершенно неприемлема после начала трещинообразования.

Процесс трещинообразования экспериментального образца плиты начался при нагрузке 16,6 кН, что составило 59 % от фактической разрушающей нагрузки.

1. Фардиев Р.Ф. Исследование несущей способности пустотных плит перекрытия при сниженной величине опирания на ригели / Р.Ф. Фардиев, А.Х. Ашрапов, А.И. Мустафин // Известия КГАСУ. – Казань, КГАСУ, 2014. – № 4 (30). – С. 72–77.

2. Босаков С.В. К повышению несущей способности и жесткости перекрытий, образованных многпустотными плитами / С.В. Босаков, А.И. Мордич, В.Н. Симбиркин // Промышленное и гражданское строительство. – М., 2017. – № 4. – С. 44–49.

3. Грановский А.В. Экспериментальные исследования несущей способности плит перекрытий кессонного типа / А.В. Грановский, М.Р. Чупанов // Промышленное и гражданское строительство. – М., 2015. – № 5. – С. 43–48.

4. Palmer K.D., Schultz A. Experimental investigation of the web-shear strength of deep hollow-core units, PCI Journal, 2011, vol. 56 (4), pp. 83–104.

5. Walraven J., Merckx W. The bearing capacity of hollow core slabs, Heron vol. 28, Delft, 1983.

6. X. H. Zhou, W. Chen, F. B. Wu Study on stiffness of assembled monolithic concrete hollow floor with two-way ribs, Journal of Building Structures, 2011, vol. 32, no. 9, pp. 75–83.

7. Бетони. Метод визначення міцності за контрольними зразками. ДСТУ Б.В.2.7-214:2009. – [чинний від 2009-12-22]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 43 с. (Національний стандарт України).

8. Конструкції будинків і споруд. Вироби бетонні і залізобетонні. Загальні технічні умови.: ДСТУ Б В.2.6-2:2009. – [чинний від 2010-10-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 29 с. (Національний стандарт України).

9. Бетонні і залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6- 98:2009. – Офіц. вид. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с. – (Конструкції будинків і споруд. Державні будівельні норми України).

10. Изделия строительные бетонные и железобетонные сборные. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости: ДСТУ Б В.2.6-7-95 (ГОСТ 8829-94). – [Введен с 1995-11-16]. – К.: Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997. – IV, 30 с. – (Національний стандарт України).

11. Кухтин В.Н. Применение расчетного комплекса SOFiSTiK для расчета мостовых конструкций: учебное пособие / В.Н. Кухтин, И.В. Булаев, И.С. Баранов. — М.: МАДИ, 2015. — 136 с.

12. Программный комплекс ЛИРА-САПР 2015. Учебное пособие / [Д.А. Городецкий, М.С. Барабаш, Р.Ю. Водопьянов и др.]; под ред. академика РААСН А.С. Городецкого. – М., 2015. – 376 с.

Стаття надійшла до редакції 22.11.2019