Частично-ребристые сборно-монолитные перекрытия с ячеистобетонными блоками

Магистрант Н.А. Паращенко*;
к.т.н., доцент А.С. Горшков;
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Н.И. Ватин,
ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Ключевые слова: ребристое перекрытие; перекрытие; ячеистобетонные изделия; заполнитель; расчет армирования

Сегодня жилищное строительство занимает наибольший объем в структуре строительной индустрии. Неотъемлемой частью любого жилого здания является перекрытие. Надежность, прочность, звукоизоляция, теплоустойчивость, экономическая эффективность – наиболее важные критерии выбора при любом строительстве, в том числе и при строительстве перекрытий.

В настоящее время сложилась следующая классификация железобетонных перекрытий (СНиП 2.03.01-84* «Бетонные и железобетонные конструкции»).

I. По способу производства:

1) монолитные;
2) сборные;
3) сборно-монолитные.

II. По конструктивным признакам:

1) балочные;
2) безбалочные;
3) ребристые.

Частично-ребристые сборно-монолитные перекрытия

В данной статье будут рассмотрены сборно-монолитные ребристые перекрытия с заполнением пространства между ребрами стеновыми блоками из автоклавного газобетона [1, 2, 3]. Методика расчета сборно-монолитных перекрытий с использованием блоков из ячеистого бетона содержатся в Руководстве ЦНИИСК 1992 года [4]. Более раннее упоминание данного типа перекрытия с заполнением пространства между ребрами содержится в классической монографии [5]. В работе [5] данный тип перекрытия именуется частично-ребристым. В зарубежной литературе технология производства и методы расчета перекрытий с использованием стеновых блоков из ячеистого бетона описаны в частности в работе [6].

Особенностью данного типа перекрытия является то, что блоки из ячеистого газобетона являются не просто заполнителем между железобетонными ребрами, но также выполняют функцию опалубки для нижней поверхности стяжки и боковых граней железобетонных ребер. Устройство такого типа перекрытия схематично представлено на рис. 1. Вместо деревянных стоек в качестве неподвижных опор опалубки могут быть использованы, в том числе, телескопические стойки, как это показано на рис. 2.

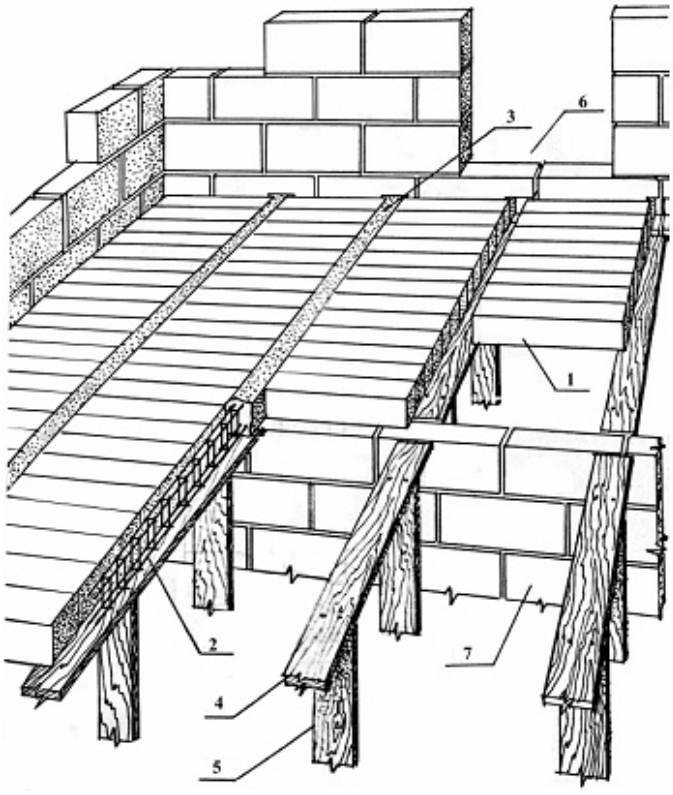

Рисунок 1. Устройство ребристого перекрытия: 1 – газобетонные блоки; 2 – арматурные каркасы; 3 – монолитная балка из мелкозернистого бетона; 4 – опалубочная доска; 5 – стойки из досок; 6 – пролет в стене; 7 – несущая стена

Основные этапы производства работ при изготовлении данного типа перекрытия изложены в альбоме технических решений компании Н+Н [7] и стандарте СТО 501-52-01-2007 «Проектирование и возведение ограждающих конструкций жилых и общественных зданий с применением ячеистых бетонов в Российской Федерации. Часть II». М., 2007.

Технология выполнения сборно-монолитного перекрытия состоит из следующих технологических операций.

В перекрываемый пролет устанавливаются заранее приготовленные доски на стойках (рис. 2). Ширина досок составляет 20÷25 см в зависимости от ширины монолитной балки. Расстояние между досками зависит от длины блоков и величины опоры этих блоков на доски. Верхняя плоскость досок должна совпадать с верхней плоскостью последнего ряда стены из газобетонных блоков. Под доски перед укладкой блоков рекомендуется проложить слой из водонепроницаемого материала, в качестве которого в том числе может быть использована фирменная упаковочная пленка для блоков на поддоне.

На доски укладываются газобетонные блоки, создавая своими торцевыми гранями опалубку для монолитной балки (рис. 3). Расстояние между рядами блоков назначается по расчету.

Рисунок 2. Схема устройства опалубки

Рисунок 3. Укладка блоков на деревянный настил

В пространство между блоками на опалубочную доску укладывается арматурный каркас или отдельные стержни, геометрические параметры которых устанавливаются расчетом.

Для прокладки инженерных коммуникаций в перекрытии устраиваются специальные короба, которые после бетонирования пространства между рядами блоков и устройства выравнивающей стяжки могут быть демонтированы. Перед бетонированием торцы блоков рекомендуется тщательно смачивать водой.

По наружному контуру стен опалубку рекомендуется выполнять из перегородочных газобетонных блоков толщиной 100-150 мм. В пространство между контурными перегородочными блоками наружной несъемной опалубки и арматурным каркасом сборно-монолитного перекрытия в целях сокращения потерь тепловой энергии через торцы железобетонных перекрытий рекомендуется прокладывать слой теплоизоляции высотой 250 мм толщиной не менее 30 мм. В качестве утеплителя рекомендуется использовать изделия из экструдированного пенополистирола (ЭПП, XPS).

Подачу бетонной смеси в пространство между рядами блоков можно осуществлять механическим или ручным способом. Уплотнение бетонной смеси рекомендуется производить вибратором (при подаче бетонной смеси бетононасосом) или послойным трамбованием и штыкованием (при ручном бетонировании). Одновременно с бетонированием пространства между блоками рекомендуется выполнять стяжку пола толщиной не менее 50 мм. Демонтировать опалубку можно по достижении бетоном проектной прочности [8].

Величина пролета варьируется в пределах от 2,4 м до 6 м.

Преимущества сборно-монолитного железобетонного ребристого перекрытия с заполнением пространства между ребрами газобетонными блоками следующие:

1) низкая себестоимость;
2) простота монтажа, возможность устройства перекрытия без применения подъемно-транспортных средств;
3) возможность устройства перекрытия при практически любой форме помещения, в отличие от сборных железобетонных перекрытий;
4) хорошая теплоустойчивость [9] и высокий уровень звукоизоляции.

Область применения таких перекрытий достаточно широка. Они могут применяться как при высотном строительстве [10], так и при строительстве малоэтажных зданий.

Целью данной работы является анализ прочности и деформативности перекрытия двумя различными способами: аналитический расчет [4] и расчет методом конечных элементов (использовался ПК SCAD [11]).

Аналитический расчет

Расчетная схема аналитического расчета перекрытия приведена на рис. 4.

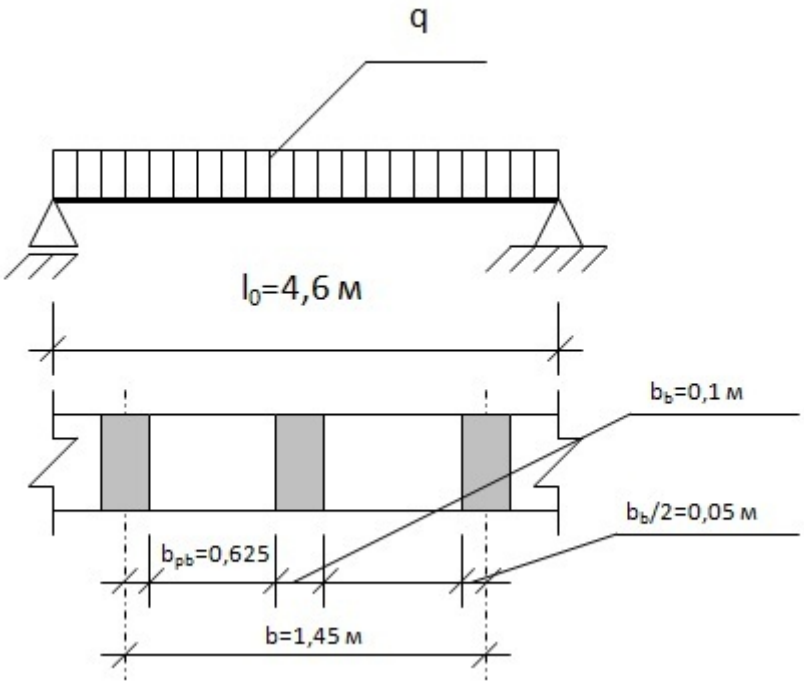

Рисунок 4. Расчетная схема перекрытия для расчета аналитическим способом

В расчете мы исходили ир следующих применяемых строительных материалов: монолитные балки и стяжки – мелкозернистый бетон класса по прочности на сжатие В10, марка по плотности D2000, арматура класса AIII, ячеистобетонные блоки – автоклавный ячеистый бетон класса В2, марки по плотности D500.

Предельный разрушающий момент определяется по формуле, подтвержденной экспериментально:

$$M_U = \sqrt{\frac{3}{7}} \cdot R_b \cdot b_{red} \cdot h_0^2 \cdot \xi \cdot \left(1 - \frac{\xi}{3}\right), \quad (1)$$

где R_b – расчетное сопротивление бетона сжатию;
h_0 – рабочая высота сечения;
ξ – относительная высота сжатой зоны при хрупком разрушении;
b_{red} – приведенное значение ширины балки-шва, учитывающее участие газобетонных блоков при разрушении сборно-монолитного перекрытия и установленное опытным путем, вычисляется по формуле:

$$b_{red} = b_d \cdot \left(1 + \frac{b_{pb} \cdot E_{pb}}{b_b \cdot E_b}\right), \quad (2)$$

где b_{pb} и E_{pb} – соответственно длина ячеистобетонного блока и его модуль упругости;
b_b – ширина бетонной балки-шва;
E_b – модуль упругости материала балки.

Относительная высота сжатой зоны ξ при хрупком разрушении определяется по формуле:

$$\xi = \mu \cdot \alpha \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{2}{\mu \cdot \alpha}} - 1\right), \quad (3)$$

где

$$\alpha = \frac{E_S}{E_b}, \quad (4)$$

коэффициент армирования

$$\mu = \frac{A_S}{b_{red} \cdot h_0}. \quad (5)$$

Расчет сборно-монолитных перекрытий по наклонным сечениям, раскрытию трещин, местное действие нагрузок следует производить по СНиП 2.03.01-84* «Бетонные и железобетонные конструкции».

Расчет жесткости производят по формуле, выведенной для сечения с трещиной из условия равновесия с моментными напряжениями и совместности деформаций:

$$B = E_b \cdot b_b \cdot h_0^3 \cdot e_Z \ , \quad (6)$$

где E_b – модуль упругости раствора балки-шва;
b_b – толщина балки-шва на рассматриваемом участке;
h_0 – рабочая высота сечения;
e_z – коэффициент жесткости балки в сечении с трещиной:

$$e_Z = \frac{\xi^3}{3} + \mu \cdot \alpha \cdot (1 - \xi)^2 \ ; \quad (7)$$

α – по формуле (4);
ξ – относительная высота сжатой зоны при хрупком разрушении определяется по формуле (3).

Кратковременный прогиб от равномерно-распределенной нагрузки определяется по формуле:

$$f_{KP} = \frac{5}{384} \frac{b \cdot l_0^4 \cdot q_{ДЛ}^н}{B}, \quad (8)$$

где b – ширина всего перекрытия;
l_0 – длина пролета в свету;
$q_{дл}^н$ – длительно действующая часть нормативной равномерно-распределенной нагрузки.

Длительный прогиб определяется по формуле:

$$f_{ДЛ} = f_{KP} \cdot (1 + \xi \cdot \varphi_t), \quad (9)$$

где φ_t – для цементно-песчаного раствора по данным испытаний с достаточной степенью точности можно принять равным 2,5.

Для балки длиной 4,6 м и газобетонных блоков размером 62,5х30х20 см был получен следующий результат: для армирования одной балки железобетонного ребристого перекрытия с заполнителем из газобетона необходим один арматурный стержень Ø 16 мм. Прогиб от действия длительной нагрузки при этом составляет $f_{ДЛ} = 2{,}01см$ при допустимом прогибе $f_{ПРЕД} = 2{,}3см$.

Расчет методом конечных элементов

Расчет в ПК SCAD производился по восьми монолитным балкам, восьми пролетам газобетонных блоков между ними и двум пролетам между несущими стенами. Расчетная схема перекрытия представлена на рис. 5.

Расчет производился для ребристого перекрытия с приложением нагрузки от газобетонных блоков на боковые грани ребер. Между ребрами и стяжкой при моделировании перекрытия устанавливались жесткие вставки, так как ребра и плита заливаются монолитным бетоном [11, 12]. Граничными условиями является связь стен в основании по всем направлениям. Шаг разбиения – 0,1 м.

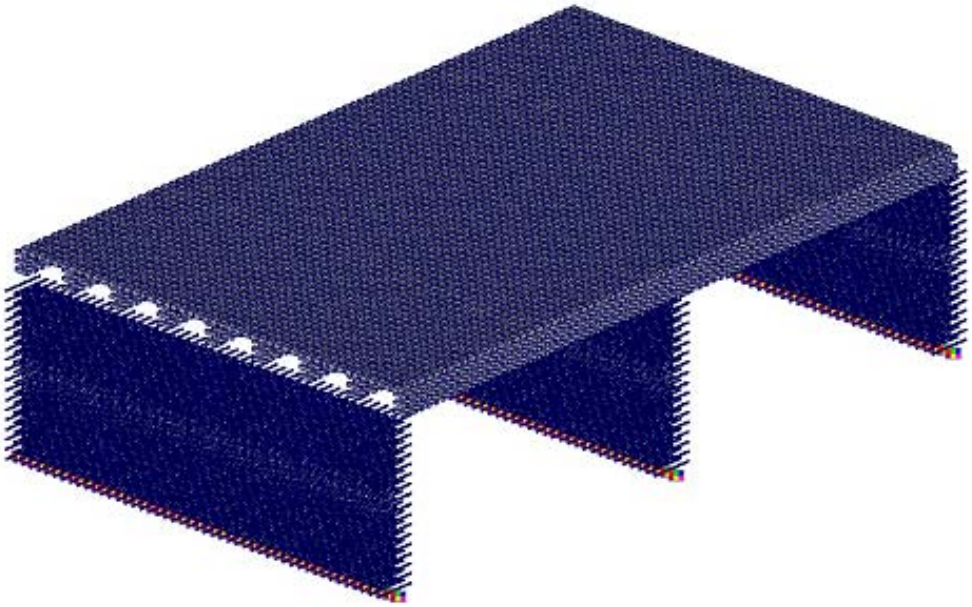

Рисунок 5. Расчетная схема перекрытия для расчета в ПК SCAD

Характеристики газобетонных блоков и бетона, а также размеры пролетов аналогичны характеристикам блоков, бетона и арматуры и размерам пролетов, использовавшимся при аналитическом расчете.

Для расчета арматуры и прогиба в ПК SCAD на перекрытие были приложены следующие нагрузки:

1) собственный вес балок;
2) вес пола;
3) вес временных перегородок;
4) временная нагрузка;
5) собственный вес газобетонных блоков.

Деформации перекрытия при расчете методом конечных элементов представлены на рис. 6.

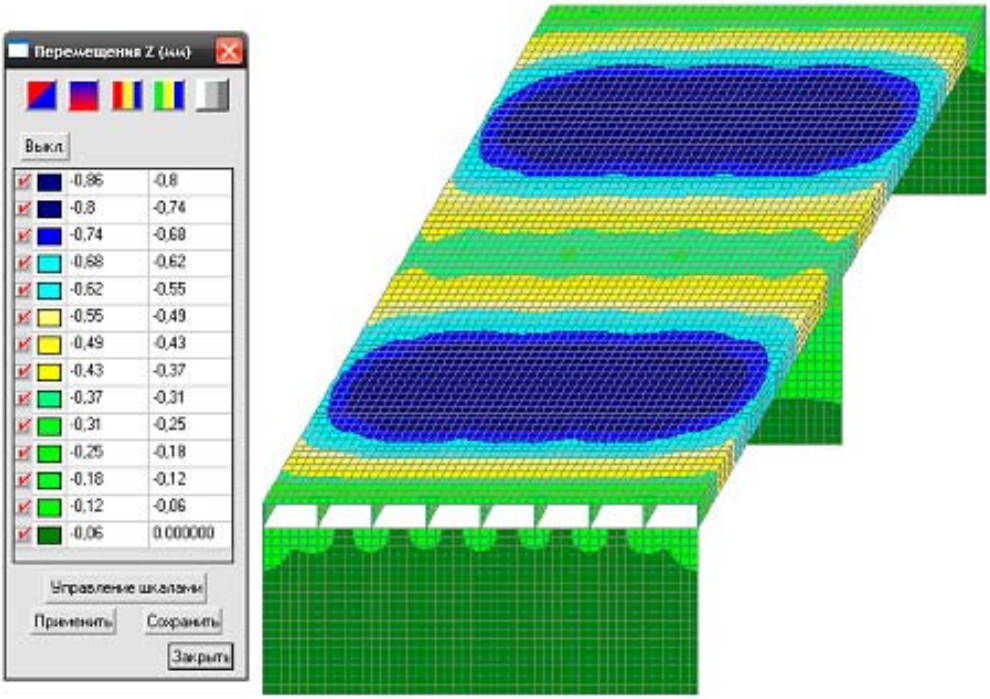

Рисунок 6. Деформации перекрытия

В результате этого расчета был получен следующий результат: для армирования одной балки железобетонного ребристого перекрытия с заполнителем из газобетона необходима 1 арматура Ø 8 мм; прогиб от действия длительной нагрузки $f_{ДЛ} = 0{,}8мм$ при допустимом прогибе $f_{ПРЕД} = 23мм$. Из чего можно сделать вывод, что расчет в ПК SCAD является не только более точным, чем аналитический метод расчета, но также позволяет использовать арматуру меньшего диаметра, что сразу же уменьшает стоимость изготовления данного типа перекрытия.

Для уточнения представленной в работе модели, а также ее срока службы, необходимы натурные испытания фрагментов рассматриваемого типа перекрытий, как это было сделано для стен из автоклавного газобетона с облицовочным слоем из силикатного кирпича [13].

Литература

1. Пинскер В. А., Вылегжанин В. П., Почтенко А. Г. Сборно-монолитные перекрытия из ячеистобетонных блоков // Ячеистые бетоны в современном строительстве. Сборник докладов. Выпуск 4 – Санкт-Петербург: НП «Межрегиональная Северо-Западная строительная палата», Центр ячеистых бетонов, 2007. С. 14-16.
2. Автоклавный ячеистый бетон / Пер. с англ. Ред.совет: Г.Бове (пред.) и др. М. : Стройиздат, 1981. 88 с.
3. Grutzek M. W. Cellular concrete // Cellular Ceramics: Structure, Manufacturing, Properties and Applications. M. Scheffler and P. Colombo, Eds., John Wiley & Sons, Weinheim, Germany, 2005. Pp. 193–223.
4. Рекомендации по применению стеновых мелких блоков из ячеистых бетонов / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. М., 1992. 58 с.
5. Сахновский К. В. Железобетонные конструкции. М. : Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1962. 840 с.
6. Hamid Baghery. Prestressed gybrids of AAC and HPC. The BCE (Block Composit Element) Building system. Stockholm, Royal Institute of Technology, 2006. 90 p.
7. Альбом технических решений по применению изделий из автоклавного газобетона (торговая марка «Н+Н») в строительстве жилых, общественных и промышленных зданий. Материалы для проектирования и рабочие чертежи узлов (издание второе, переработанное и дополненное) [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: http://stroika812.ru/d/123582/d/albom_tehnicheskih_resheniy.pdf.
8. JoséM Calixto, Armando C Lavall, Cristina B Melo, Roberval J Pimenta, Rodrigo C Monteiro. Behaviour and strength of composite slabs with ribbed decking // Journal of Constructional Steel Research, Volume 46, Issues 1-3, April-June 1998. Pp. 211-212
9. Пинскер В. А., Вылегжанин В. П., Гринфельд Г. И. Теплофизические испытания фрагмента кладки стены из газобетонных блоков марки по плотности D400 // Инженерно-строительный журнал. 2009. №8. С. 17-19.
10. Никоноров С. В., Тарасова О. А. Технология раннего нагружения монолитных перекрытий при использовании балочно- стоечной опалубки // Инженерно-строительный журнал. 2010. №4. С. 17-20.
11. Карпиловский В. С., Криксунов Э. З., Маляренко А. А., Перельмутер А. В., Перельмутер М. А.. Вычислительный комплекс SCAD. М. : Издательство АСВ, 2007. 592 с.
12. Дзюба И. С., Ватин Н. И., Кузнецов В. Д. Монолитное большепролетное ребристое перекрытие с постнапряжением // Инженерно-строительный журнал. 2008. №1. С. 5-12.
13. Кнатько М. В., Горшков А. С., Рымкевич П. П. Лабораторные и натурные исследования долговечности (эксплуатационного срока службы) стеновой конструкции из автоклавного газобетона с облицовочным слоем из силикатного кирпича // Инженерно-строительный журнал. 2009. №8. С. 20-26.

** Наталья Андреевна Паращенко, Санкт-Петербург, Россия*

Тел. моб.: +7(921)790-25-71; эл. почта: nata.par@gmail.com

doi: 10.5862/MCE.24.7

Partially rib precast and cast-in-situ floors with cellular-concrete blocks

N.A. Parashchenko;
A.S. Gorshkov;
N.I. Vatin,
Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia
+7(921)790-25-71; e-mail: nata.par@gmail.com

Keywords

rib floor; floor structure; cellular-concrete items; filling aggregate; reinforcing calculation

Abstract

The object of research is precast and cast-in-situ inserted floor with cellular-concrete items used for reduction of structure weight. The used materials and installation technologies are considered.

The aim of this work is analysis of strength and deformability of floor by two different methods: analytical calculation and calculation by finite element method using SCAD. It was shown that the finite element calculation is more precise and also it allows to use armature of lesser diameter that decreases the cost of the floor.

For adjustment of given model and life duration of the structure the full-scale tests are necessary.

References

1. Pinsker V. A., Vylegzhanin V. P., Pochtenko A. G. *Yacheistyye betony v sovremennom stroitelstve. Sbornik dokladov*. [Cellular concretes in modern construction: collected papers]. No. 4. Saint-Petersburg, 2007. Pp. 14-16. (rus)
2. *Avtoklavnyy yacheistyy beton* [Autoclaved cellular concretes]. Moscow : Stroyizdat, 1981. 88 p. (rus)
3. Grutzek M. W. Cellular concrete. *Cellular Ceramics: Structure, Manufacturing, Properties and Applications*. M. Scheffler and P. Colombo, Eds., John Wiley & Sons, Weinheim, Germany, 2005. Pp. 193–223.
4. *Rekomendatsii po primeneniyu stenovykh melkikh blokov iz yacheistykh betonov* [Guidelines on use of small wall blocks made of cellular concretes] / TsNIISK im. V.A. Kucherenko. Moscow, 1992. 58 p. (rus)
5. Sakhnovskiy K. V. *Zhelezobetonnyye konstruktsii* [Reinforced concrete structures]. Moscow : Gosudarstvennoye izdatelstvo literatury po stroitelstvu, arkhitekture i stroitelnym materialam, 1962. 840 p. (rus)
6. Hamid Baghery. *Prestressed gybrids of AAC and HPC. The BCE (Block Composit Element) Building system*. Stockholm, Royal Institute of Technology, 2006. 90 p.
7. *Albom tekhnicheskikh resheniy po primeneniyu izdeliy iz avtoklavnogo gazobetona (torgovaya marka «N+N») v stroitelstve zhilykh, obshchestvennykh i promyshlennykh zdaniy. Materialy dlya proyektirovaniya i rabochiye chertezhi uzlov* [Catalogue of technical decisions for use of autoclaved aerated concrete items (H+H) in construction of residential, public and industrial buildings. Design materials and working drawings of details]. URL: http://stroika812.ru/d/123582/d/albom_tehnicheskih_resheniy.pdf. (rus)
8. JoséM Calixto, Armando C Lavall, Cristina B Melo, Roberval J Pimenta, Rodrigo C Monteiro. Behaviour and strength of composite slabs with ribbed decking. *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 46, No.s 1-3, April-June 1998. Pp. 211-212.
9. Pinsker V. A., Vylegzhanin V. P., Grinfeld G. I. *Magazine of Civil Engineering*. 2009. No. 8. Pp. 17-19. (rus)
10. Nikonorov S. V., Tarasova O. A. *Magazine of Civil Engineering*. 2010. No. 4. Pp. 17-20. (rus)
11. Karpilovskiy V. S., Kriksunov E. Z., Malyarenko A. A., Perelmuter A. V., Perelmuter M. A. *Vychislitelnyy kompleks SCAD* [Computer system SCAD]. Moscow : Izdatelstvo ASV, 2007. 592 p. (rus)
12. Dzyuba I. S., Vatin N. I., Kuznetsov V. D. *Magazine of Civil Engineering*. 2008. No. 1. Pp. 5-12. (rus)
13. Knatko M. V., Gorshkov A. S., Rymkevich P. P. *Magazine of Civil Engineering*. 2009. No. 8. Pp. 20-26. (rus)

Full text of this article in Russian: pp. 50-55