

УДК 692.231.3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИШАРОВИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК НА ТРІЩИНОСТІЙКІСТЬ

СОПІЛЬНЯК А. М. *асист.*

Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад “Придніпровська державна академія будівництва та архітектури”, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: artem_sopilnyak@ukr.net

Анотація. Постановка проблеми. Зростання темпів житлового будівництва зумовило широке застосування індустріальних конструкцій, в тому числі різних багатошарових стінових панелей і блоків, виготовлених із застосуванням легких бетонів. Експериментальному вивченню роботи таких конструкцій присвячені праці [2; 5; 6; 8]. Знаючи особливості різних видів бетонів, можливо виконати оптимальний підбір бетонів для створення стінової панелі, яка може не тільки принести миттєву вигоду, а й забезпечити енергоефективне житло з довговічних матеріалів. Істотним показником таких конструкцій є мала питома вага, що значно знижує не тільки навантаження на несні конструкції будівлі, але і витрати на доставку на будмайданчик. **Мета статті.** Проведення аналізу результатів випробувань дослідних тришарових залізобетонних балок із теплоізоляційним шаром з полістиролбетону на тріщиностійкість і міцність перерізів, похилих до поздовжньої осі елемента. **Висновок.** Під час випробування зразків спостерігалось утворення часто розташованих похилих тріщин у середньому шарі приопорних зон, що означає, що більш міцні зовнішні шари створюють опір розвитку утворення похилих тріщин і збільшують несні здатність. Зусилля утворення похилих тріщин для тришарових балкових зразків з середнім шаром з полістиролбетону зменшувалися зі збільшенням прольоту зрізу. Коефіцієнт $\varphi_{в4}$ для тришарових елементів виявився заниженим порівняно з експериментальним.

Ключові слова: тришарова залізобетонна балка, випробування, тріщиностійкість.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРЕХСЛОЙНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК НА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ

СОПІЛЬНЯК А. М. *асист.*

Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение “Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры”, ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: artem_sopilnyak@ukr.net

Аннотация. Постановка проблемы. Рост темпов жилищного строительства обусловил широкое применение индустриальных конструкций, в том числе различных многослойных стеновых панелей и блоков, изготовленных с применением легких бетонов. Экспериментальному изучению работы таких конструкций посвящены труды [2; 5; 6; 8]. При знании особенностей разных видов бетонов их оптимальный выбор может не только принести сиюминутную выгоду, но и обеспечить энергоэффективное жилье из долговечных материалов. Существенным показателем таких конструкций является малый удельный вес, что значительно снижает не только нагрузку на несущие конструкции здания, но и затраты на доставку на стройплощадку. **Цель статьи.** Проведение анализа результатов испытаний опытных трехслойных железобетонных балок с теплоизоляционным слоем из полистиролбетона на трещиностойкость и прочность сечений, наклонных к продольной оси элемента. **Вывод.** При испытании образцов наблюдалось образование часто расположенных наклонных трещин в среднем слое приопорных зон, что означало, что более прочные наружные слои создавали сопротивление развитию образовавшихся наклонных трещин и увеличивали несущую способность. Усилия образования наклонных трещин для трехслойных балочных образцов со средним слоем из полистиролбетона уменьшались с увеличением пролета среза. Коэффициент $\varphi_{в4}$ для трехслойных элементов оказался заниженным по сравнению с экспериментальным.

Ключевые слова: трехслойная железобетонная балка, испытание, трещиностойкость.

RESULTS OF RESEARCH OF THREE LAYER REINFORCED CONCRETE BEAMS FOR THE CRACK RESISTANCE

SOPILNYAK A. M. *Assistant.*

Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: artem_sopilnyak@ukr.net

Summary. Problem statement. The growth of residential buildings conditioned the wide use of industrial constructions including multi-layer wall panels and blocks made with use of lightweight concrete. The experimental studies of these wall panels are described in the works [2, 3, 6-8]. Knowing features of different kind of concrete, their optimal chose can bring not only immediate benefit but also to provide energy efficient accommodation of durable materials. An important indicator of these structures is their low weight, which significantly reduces not only the load on the bearing structures of the building but also delivery costs to the building site. **Purpose.** Performing the analysis of results of tests of experimental three-layer reinforced concrete beams with insulating layer of polystyrene concrete on the moment of cracking and the strength of the cross sections, inclined to the longitudinal axis of the element. **Conclusion.** The formation of often located inclined cracks in the middle layer in the support zone was observed during the test of samples This means that more durable outer layers create resistance to development of inclined cracks and increase supporting capacity. Force of formation inclined cracks for three-layer beam specimens with a middle layer of polystyrene concrete decreased with the increase of the shear span. The coefficient ϕ_{v4} of the concrete of three-layer elements was lower than the experimental.

Key words: three-layer reinforced concrete beam, testing, durability, crack resistance.

Введение. Рост темпов жилищного строительства и введение новых норм термического сопротивления ограждающих конструкций обусловили широкое применение индустриальных конструкций, в том числе различных многослойных стеновых панелей и блоков, изготовленных с применением легких бетонов. Экспериментальному изучению работы таких конструкций посвящены труды [2; 5; 6; 8].

Каждый из видов бетонов имеет свои особенности. Определенное их сочетание в ограждающей конструкции может не только принести сиюминутную выгоду, но и обеспечить энергоэффективное жилье из долговечных материалов.

Существенным показателем таких конструкций является малый удельный вес, что значительно снижает не только нагрузку на несущие конструкции здания, но и затраты на доставку на стройплощадку.

Цель статьи. Анализ результатов испытаний опытных трехслойных железобетонных балок с теплоизоляционным слоем из полистиролбетона на трещиностойкость и прочность сечений, наклонных к продольной оси элемента.

Изложение материала. По технологии [4] изготовлено четыре серии балочных образцов (рис. 1) длиной 250 см при расчетном пролете 220 см, высотой 30 см и шириной 16 см. Наружные слои выполнены из тяжелого бетона, толщиной 5 см и 7 см, а средний слой — из полистиролбетона, толщиной 18 см. Рабочая и распределительная арматура образцов выполнена из проволоочной арматуры класса Вр-I диаметром 4 мм.

Балочные образцы 1-й и 2-й серий запроектированы из условия разрушения в

средней части пролета по сечениям, нормальным к продольной оси, в количестве двух и трех штук соответственно. В балочных образцах 1-й серии установлена поперечная арматура в виде хомутов.

Остальные серии балочных образцов предназначены для изучения прочности наклонных сечений, по три штуки в каждой. Образцы этих серий полностью идентичны между собой, а отличие их при проведении экспериментов будет заключаться в пролете среза – расстоянии от опор до сосредоточенной нагрузки: h_0 и $1,5 h_0$ (283 мм и 425 мм).



Рис. 1. Опытные образцы трехслойных балок

Разработана методика проведения экспериментальных исследований подготовленных балок-образцов. Для их испытания собран стенд, общий вид которого представлен на рисунке 2.



Рис. 2. Общий вид стенда для испытания балочных образцов в лабораторных условиях

Схема расположения приборов при испытаниях приведена на рисунке 3.

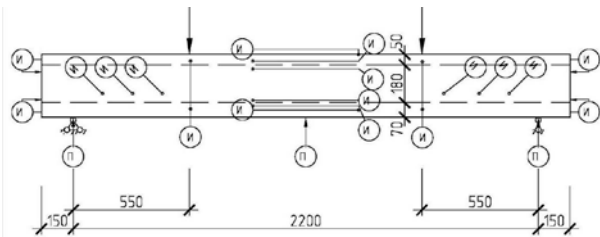


Рис. 3. Схема расстановки приборов на балочных образцах 1 и 2

Для оценки напряженно-деформированного состояния трехслойных балочных образцов с монолитной связью слоев на каждом этапе загрузки в середине их пролета индикаторами измеряли деформации бетона.

В приопорных зонах балок измеряли деформации бетона среднего слоя индикаторами, расположенными под углом 45° к продольной оси балок с целью определения деформаций в направлениях главных растягивающих и сжимающих напряжений.

Прогибы трехслойных балок измеряли прогибомерами системы Максимова. Их устанавливали в центре пролета и на опорах для исключения их осадок.

При проведении испытания балочных образцов визуально было зафиксировано образование наклонных трещин, которое подтверждается показаниями индикаторов. На графике “поперечная сила – деформации” с появлением трещин имеет место ускоренное приращение деформаций по направлению действия главных растягивающих напряжений. Нагрузки образования наклонных трещин, зафиксированные при испытаниях, отражены на графике “поперечная сила — деформации” (рис. 4.)

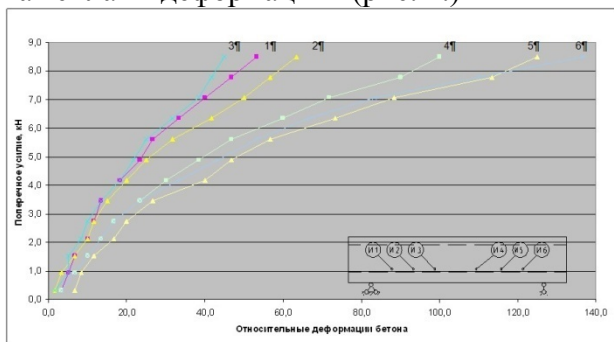


Рис. 4. Деформации по направлению главных растягивающих напряжений, замеренные индикаторами в приопорных зонах балочного образца Б-2-2.

Усилия образования наклонных трещин при одинаковых пролетах среза для трехслойных балочных образцов со средним

слоем из полистиролбетона уменьшались с увеличением пролета среза. Такая же тенденция характерна и для разрушающей нагрузки (рис. 5.).

Для всех испытаний образцов характерно образование нескольких часто расположенных наклонных трещин в среднем слое приопорных зон. Очевидно, более прочные наружные слои создавали сопротивление развитию образовавшихся наклонных трещин, что приводило к появлению новых и увеличению их количества в пределах среднего слоя. В результате несущая способность трехслойных элементов возрастала.

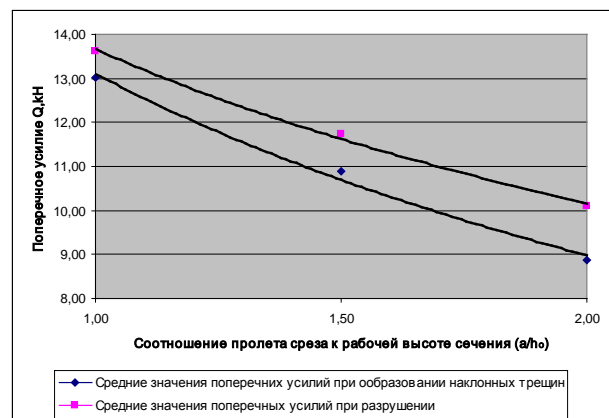


Рис. 5. Нагрузки образования наклонных трещин и разрушения трехслойных образцов без поперечной арматуры

В образцах без поперечной арматуры наибольшее раскрытие и развитие имела одна критическая трещина, по которой в дальнейшем и происходило разрушение. В балках с пролетами среза h_0 и $1,5 h_0$ критическая наклонная трещина развивалась по направлению “опора – груз”. С увеличением пролета среза до $2 h_0$ она становилась более полой, а у растянутой грани она переходила в горизонтальную, следующую вдоль контакта нижнего и среднего слоев к опоре.

Разрушение трехслойных образцов без поперечной арматуры по наклонным сечениям происходило при нагрузках, превышающих нагрузки образования наклонных трещин на 4 %, 7 % и 12 %, соответственно для пролетов среза h_0 , $1,5 h_0$ и $2 h_0$ (рис.5).

В СНиП [1] расчет изгибаемых элементов без поперечной арматуры производится по усилию образования критической наклонной трещины из условия

$$Q = \frac{\varphi_{b4} \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2}{c},$$

но не более $Q \leq 2,5 \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0$ и не менее $Q \leq \varphi_{b3} \cdot (1 + \varphi_n) \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0$.

Значения коэффициентов φ_{b4} и φ_{b3} принимаются в зависимости от вида бетона: для тяжелого бетона соответственно 1,5 и 0,6, а для легкого 1,0 и 0,4.

Данное условие, учитывая влияние прочности и вида бетона, пролет среза на усилие образования наклонных трещин, не отражает особенности конструктивного сечения элемента, в частности, влияние более прочных наружных слоев из тяжелого бетона в трехслойных элементах монолитного сечения со средним малопрочным теплоизоляционным слоем.

По вышеприведенному условию был выполнен расчет опытных трехслойных образцов со средним слоем из полистиролбетона с использованием прочности на растяжение бетона среднего слоя (табл. 1).

Как видно из данных таблицы 1, значение эмпирического коэффициента φ_{b4} по СНиП [1] для трехслойных элементов оказалось слишком занижено по сравнению с полученными экспериментальными значениями. Поэтому для данного типа конструкций значение коэффициента φ_{b4} было откорректировано и принято равным 5.

При анализе опытных данных, полученных при испытании трехслойных образцов, было замечено явление сдерживания внешними слоями из более прочного бетона развития наклонных трещин в среднем слое, что повышало их несущую способность по наклонным сечениям. Это является положительной чертой характера работы трехслойных железобетонных элементов с монолитной связью слоев по сравнению с однослойными. В связи с этим актуальным будет введение в формулу для определения прочности наклонных сечений по СНиП [1] коэффициента α_1 (см. формула 1), который отразит величину увеличения несущей способности. Численно он может зависеть от соотношения прочности слоев бетона, а также их толщин. Но так как в проведенных исследованиях данной работы этот вопрос не изучался, значение коэффициента α_1 было при-

нятым 1, а потом было определено по экспериментальным данным.

При проверке прочности испытанных трехслойных образцов по наклонной сжатой полосе также был введен коэффициент $\alpha_2 = 1$ (см. формула 2), который может зависеть от конструктивных особенностей трехслойного сечения. Несущая способность трехслойных образцов определенная теоретическим путем по формуле 2 была явно ниже фактической (см. табл. 3.2).

Формула 1:

$$2,5 \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0 \geq Q =$$

$$\frac{\alpha_1 \cdot \varphi_{b4} \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2}{a} \geq \varphi_{b3} \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0.$$

Формула 2:

$$Q \leq 0,3 \cdot \alpha_2 \cdot \varphi_{w1} \cdot \varphi_{b1} \cdot R_b \cdot b \cdot h_0.$$

Значения поперечных усилий, полученные при разрушении в ходе испытания образцов, а также полученные теоретическим путем по формулам 1 и 2 СНиП представлены в таблице 2.

Расчет прочности наклонных сечений по [4] без поперечной арматуры начинается с определения расчетной величины сопротивления сдвига:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

но не менее $V_{Rd,c} = (V_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$

Расчетная величина сопротивления сдвига равна 2,14 кН и не менее 1,19 кН.

Несущая способность на поперечные усилия по формуле

$$V_{ed} \leq 0,5 \cdot b_w \cdot v \cdot f_{cd} \text{ равна } 3,36 \text{ кН.}$$

Выводы. При испытании образцов наблюдалось образование часто расположенных наклонных трещин в среднем слое при опорных зонах, что означало, что более прочные наружные слои создавали сопротивление развитию образовавшихся наклонных трещин и увеличивали несущую способность.

Усилия образования наклонных трещин при одинаковых пролетах среза для трехслойных балочных образцов со средним слоем из полистиролбетона уменьшались с увеличением пролета среза.

Коэффициент φ_{b4} для трехслойных элементов оказался заниженным по сравнению с экспериментальными.

Таблиця 1

Усилия образования наклонных трещин, определенные по СНиП [8] и сопоставление их с опытными значениями

| Шифр балочного образца | a/h ₀ | R _{bt} , МПа | Усилия образования наклонных трещин | | | φ _{в4} exp | φ _{в4} exp среднее |
|------------------------|------------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|---------------------|-----------------------------|
| | | | Q _{exp.тр.} , кН | Среднее Q _{exp.тр.} , кН/% | по СНиП 2.03.01-84* при φ _{в4} =1,0, кН/% | | |
| Б-1-1 | 2 | 0,07 | 6,85 | 7,86 / 100 | 1,59 / 20,24 | 4,96 | |
| Б-1-2 | | | 8,86 | | | | |
| Б-2-1 | 2 | | 8,86 | 8,86 / 100 | 1,59 / 17,94 | 5,59 | |
| Б-2-2 | | | 8,14 | | | | |
| Б-2-3 | | | 9,59 | | | | |
| Б-3-1 | 1,5 | | 9,18 | 10,89 / 100 | 2,11 / 19,37 | 5,16 | |
| Б-3-2 | | | 11,03 | | | | |
| Б-3-3 | | | 12,47 | | | | |
| Б-4-1 | 1 | | 13,42 | 13,03 / 100 | 3,17 / 24,33 | 4,11 | |
| Б-4-2 | | | 12,11 | | | | |
| Б-4-3 | | 13,55 | | | | | |

Таблиця 2

Экспериментальные и теоретические значения разрушающих нагрузок по наклонным сечениям

| Шифр балочного образца | a/h ₀ | R _b , МПа R _{bt} , МПа | Разрушающая нагрузка, кН/% | | | | | | | | |
|------------------------|------------------|---|--------------------------------|-------------------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------|----------------|--------------------------------|----------------|-----|
| | | | Q _{exp} , кН | Среднее Q _{exp} , кН | Формула 1 | α ₁ | Формула 1 | α ₁ | Формула 2 | α ₂ | |
| | | | | | при φ _{в4} =1 | | при φ _{в4} =5 | | | | |
| Б-1-1 | 2 | 0,25 0,07 | 8,55 | 9,13/100 | 1,59/17 | 5,67 | 7,92/87 | 1,15 | 3,38/37 | 2,7 | |
| Б-1-2 | | | 9,71 | | | | | | | | |
| Б-2-1 | 2 | | 10,43 | 10,11/100 | 1,59/16 | 6,38 | 7,92/78 | 1,28 | 3,38/33 | 2,99 | |
| Б-2-2 | | | 9,95 | | | | | | | | |
| Б-2-3 | | | 9,95 | | | | | | | | |
| Б-3-1 | 1,5 | | 10,24 | 11,73/100 | 2,11/18 | 7,40 | 10,57/90 | 1,48 | 3,38/29 | 3,47 | |
| Б-3-2 | | | 12,11 | | | | | | | | |
| Б-3-3 | | | 12,83 | | | | | | | | |
| Б-4-1 | 1 | | 13,77 | 13,63/100 | 3,17/23 | 8,60 | 15,85/116 | 1,72 | 3,38/25 | 4,03 | |
| Б-4-2 | | | 12,83 | | | | | | | | |
| Б-4-3 | | 14,27 | | | | | | | | | |
| | | | α ₁ ^{сп} = | | 7 | α ₁ ^{сп} = | | 1,4 | α ₂ ^{сп} = | | 3,3 |

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Бетонные и железобетонные конструкции : СНиП 2.03.01-84. – Взамен СНиП II-21-75 и СН 511-78 ; введ. 01.01.1986. – Москва : ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 79 с.
2. Вайнтштейн М. З. Двухслойные наружные ограждающие конструкции из легкого бетона, изготавливаемые в один прием формования / М. З. Вайнтштейн // Развитие производства и применения легких бетонов и конструкций из них, в том числе с использованием промышленных отходов : тез. докл. III Всесоюз. конф. по легким бетонам, [Ереван, 5–7 авг. 1985 г.] / [науч. ред. Ю. М. Баженов и др.]. – Москва, 1985. – С. 61-62.

3. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення : ДБН В.2.6-98:2009. – [На заміну СніП 2.03.01-84*] ; чинні від 2011.06.01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 75 с. – (Державні будівельні норми України.).
4. Король Е. А. Совершенствование технологии изготовления трехслойных стеновых панелей с теплоизоляционным слоем из полистиролбетона / Е. А. Король, В. В. Полетаев // Передовой научно-производственный опыт, рекомендуемый для внедрения в строительстве объектов агропромышленного комплекса : науч.-техн. информ. сб. / ЦНИИЭПсельстрой. – Москва, 1990. – Вып. 19. – С 4-5.
5. Король Е. А. Трехслойные ограждающие железобетонные конструкции из легких бетонов и особенности их расчета : монография / Е. А. Король. – Москва : АВС, 2001. – 256 с.
6. Ограждающие конструкции безопалубочного формования из керамзитобетона / А. Я. Эпп, Р. В. Сакаев, В. В. Чижевский, П. А. Феросин // Развитие производства и применения легких бетонов и конструкций из них, в том числе с использованием промышленных отходов : тез. докл. III Всесоюзн. конф. по легким бетонам, [Ереван, 5 – 7 авг. 1985 г.] / [науч. ред. Ю. М. Баженов и др.]. – Москва, 1985. – С. 65.
7. Стронгин Н. С. Легкобетонные конструкции крупнопанельных, жилых домов / Н. С. Стронгин, Д. К. Баулин. – Москва : Стройиздат, 1984. – 184 с.
8. Dall D. Durisol. Lightweight Precast Concrete / Dall D. Durisol // Paper trade. – 1950. – Vol. 130, № 23.

REFERENCE

1. Strongin N. C. *Betonnye i zhelezobetonnye konstruksii* [Lightweight concrete construction of large-panel residential buildings]. Moscow, Stroiizdat, 1984. 184 p. (in Russian).
2. Wainstein M. C. *Dvukhsloynnye naruzhnye ograzhdayuchshie konstruksii iz legkogo betona, izgotavlivaemye v odin priem formovaniya* [Walling without shuttering forming of claydite-concrete]. *Razvitie proizvodstva i primeneniya legkikh betonov i konstruksiy iz nikh v tom chisle s ispol'zovaniem promyshlennykh otkhodov* – Development of production and application of light-weight concrete and structures, including the use of industrial waste. III all-Union conference on lightweight concretes. Moscow, Stroiizdat, 1985. 65 p. (in Russian).
3. *Konstruksii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruksii. Osnovni polozhennya DBN B.2.6-98:2009. [Na zaminu SNiP 2.03.01-84*]; chinni vid 2011.06.01.* [Construction of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete structures. Basic principles: SCN B.2.6-98:2009]. Kyiv, Minregionbud Ukrainy, 2009. 75 p. (in Ukrainian).
4. Korol E. A. *Sovershenstvovanie tekhnologii izgotovleniya trekhslonnykh stenovykh panelej s teploizolyatsionnym sloem iz polistirolbetona* [The improvement of manufacturing of three-layer wall panels with insulating layer of polystyrene]. *Peredovoj nauchno-proizvodstvennyj opyt, rekomenduemyj dlya vnedreniya v stroitel'stve ob'ektov agropromyshlennogo kompleksa : nauch.-tekhn. inform. sb.* – Advanced research and production experience, recommended for implementation in the construction of agro-industrial complex. Scientific and technical information collection. no. 19, Moscow, 1990. pp. 4 - 5. (in Russian).
5. Korol E. A. *Trekhslonnye ograzhdayuschie zhelezobetonnye konstruksii iz legkikh betonov i osobennosti ikh rascheta* *Monografiya* [Three-layer protecting concrete structures from light-weight and features of their calculation. Monograph]. Moscow, ABC, 2001. 256 p. (in Russian).
6. Epp A. Ay., Sakaev R.V. *Ograzhdayuschie konstruksii bezopalubochnogo formovaniya iz keramzitobetona* [Walling formless spinning keramsit]. *Razvitie proizvodstva i primeneniya legkikh betonov i konstruksiy iz nikh, v tom chisle s ispol'zovaniem promyshlennykh otkhodov : tez. dokl. III Vsesoyuzn. konf. po legkim betonam* – The development of the production and use of lightweight concrete and structures of them, including the use of industrial waste: proceedings of III All-Union. Conference for lightweight concrete]. Moscow, 1985. 65p. (in Russian).
7. Strogina N. S., Baulin D. K. *Legkobetonnye konstruksii krupnpanel'nykh, zhilykh domov* [Light concrete structure of large, residential buildings]. Moscow, Stroyizdat, 1984. 184 p. (in Russian).
8. Dall D. Durisol. Lightweight Precast Concrete. Paper trade. 1950, vol. 130. no. 23.

Стаття рекомендована до друку 14.01.2015 р. Рецензент: д. т. н. Савицький М. В.

Надійшла до редколегії: 10.02.2015 р. Прийнята до друку: 12.03.2015 р.