

ПОКРЫТИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ С КОНСОЛЬНО-БАЛОЧНОЙ ПОДСТРОПИЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ

И.И. Шишов, Е.А. Смирнов, М.А. Рязанов

*Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых,
г. Владимир*

Предлагается покрытие одноэтажного промышленного здания каркасного типа, опирающееся на консольно-балочную подстропильную систему, состоящую из балок двух типов: первые монтируются на спаренные колонны (две колонны с расстоянием между ними 3,6 м), имеют длину 6,4 м и консоли в обе стороны по 1,4 м; вторые опираются на консоли первых и служат опорами для стропильных балок пролетом 24 м под ребристые плиты длиной 6 м. Обеспечивается шаг поперечных координатных осей здания 24 м. Рассматривается и второй вариант покрытия, в котором смежные подстропильные балки второго типа соединяются между собой поверху стержнями внешнего армирования, что повышает их прочность, жесткость и трещиностойкость. Выполнены расчеты всех балок по предельным состояниям первой и второй групп. Приводится технико-экономическое сравнение предлагаемых вариантов с типовым покрытием здания при шаге колонн 12 м и ребристых плитах длиной 6 м.

Ключевые слова: спаренные колонны; консольно-балочная подстропильная система; балки первого и второго типов; стропильные балки; внешнее армирование.

Покрытия одноэтажных промышленных зданий выполняются обычно из типовых ребристых плит длиной 6 или 12 м, опирающихся на стропильные конструкции. Шаг колонн в типовом решении 6 или 12 м. В последнем случае при плитах длиной 6 м вдоль цеха устанавливаются подстропильные конструкции: балки или фермы пролетом 12 м. Размещение технологического оборудования или модернизация производства могут потребовать увеличения шага колонн, но типового решения этой задачи пока нет.

В работе [1] предлагается стропильная конструкция в виде двускатной рамы, стойки которой выполняются в виде перекрестных стенок, одна из которых сильно вытянута в направлении ребристых плит. Плиты опираются на эти стенки и крепятся к ним сваркой закладных металлических частей в двух точках, отстоящих друг от друга на 1200 мм. Плита оказывается неразрезной трехпролетной, расчетный пролет ее и возникающие моменты уменьшаются, что позволяет увеличить шаг стропильных конструкций и колонн до 18 м.

В работах [2, 3] используется ригель в виде двускатной рамы со сборно-монолитным верхним поясом, жестко соединяющим между собой ригель и торцевые ребра смежных плит.

В работах [4, 5] для решения такой задачи предлагаются ригели увеличенной ширины, опирающиеся на спаренные колонны и выполняющие одновременно несущую и ограждающую функции. Ригели состоят из двух плоских рам двускатного очертания, объединенных общим верхним поясом коробчатого сечения шириной 1,8 м. Стойки ригеля выполняются из пластин, вытянутых в плоскости рам и сообщающих им наибольшую изгибную жесткость, и стенок, развитых в поперечном направлении. Ребристые плиты опираются на эти

стенки продольными ребрами и жестко соединяются с ригелем сваркой закладных деталей. Разработаны и рассчитаны по предельным состояниям первой и второй групп два варианта таких конструкций – для шага поперечных координатных осей здания 15 и 18 м.

Ригели в виде пространственной рамы и спаренные колонны с расстоянием между колоннами в паре 1500 мм применяются в работе [6] при шаге поперечных осей здания 18 м.

В работах [7–10] рассматриваются особенности применения стеклопластиковой арматуры, комплексного армирования изгибаемых элементов, определения предельных деформаций бетона растянутой и сжатой зон.

В нашей работе предлагается решить задачу увеличения шага колонн с помощью консольно-балочной подстропильной системы, состоящей из балок двух типов. Первые имеют длину 6,4 м, опираются на спаренные колонны и имеют консоли в обе стороны. Вторые опираются на консоли первых и имеют длину 18,4 м, обеспечивая шаг поперечных осей здания 24 м. Стропильные балки пролетом 24 м располагаются с шагом 6 м и опираются на вторые из подстропильных (рис. 1).

На рис. 2 приводятся поперечные сечения, схемы нагружения и технические характеристики балок покрытия. Расчеты выполнялись на нагрузку, соответствующую третьему снеговому району: полная расчетная нагрузка – 4,09 кПа, нормативная – 3,3 кПа, длительная – 2,97 кПа с учетом веса типовых ребристых плит длиной 6 м и слоев кровельного ковра. Для балок принят бетон класса В40 с расчетным сопротивлением на сжатие $R_b = 19,8$ МПа (с учетом $\gamma_{b1} = 0,9$), предварительно напряженная арматура класса К-7, $R_s = 1390$ МПа.

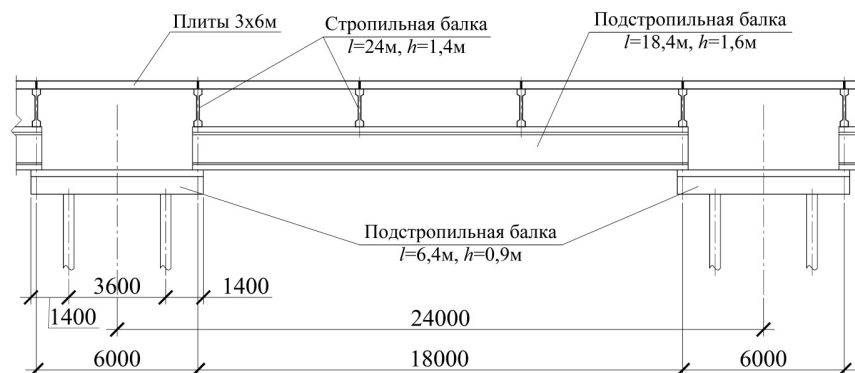


Рис. 1. Схема покрытия

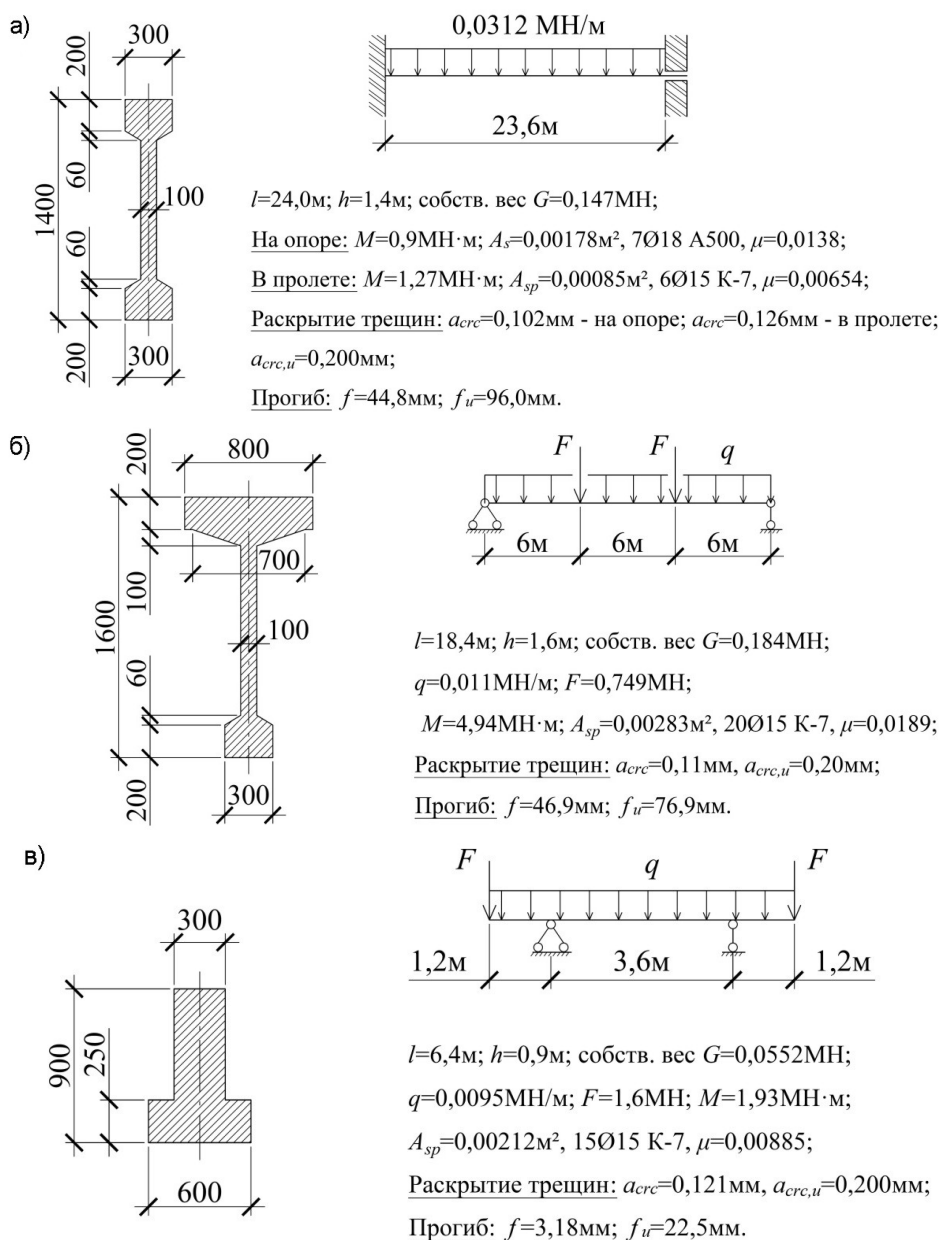


Рис. 2. Поперечные сечения, схемы нагружения и технические характеристики балок покрытия:
 а – стропильная балка; б – подстропильная балка ($l = 18,4 \text{ м}$); в – подстропильная балка ($l = 6,4 \text{ м}$)

Расчеты выполнялись в соответствии с СП [11]. Высота сжатой зоны для всех балок ограничивалась высотой полки. Стропильные балки опираются на широкие полки подстропильных и соединяются с ними жестко сваркой закладных металлических деталей. В опорных сечениях возникают отрицательные моменты 0,9 МНм; в верхней полке закладывается $7\varnothing 18$ А500, $A_s = 0,00178 \text{ м}^2$, $\mu = 0,0138$. Длина стержней 3,0 м. Максимальный момент в пролете $M = 1,27 \text{ МНм}$; принимается предварительно напряженная арматура $6\varnothing 15$ К-7, $A_s = 0,00085 \text{ м}^2$, $\mu = 0,00654$. Наиболее напряженными оказались вторые из подстропильных балок: максимальный момент $M = 4,94 \text{ МНм}$, армирование: $20\varnothing 15$ К-7, $A_s = 0,00283 \text{ м}^2$, $\mu = 0,0189$. В первых подстропильных $M = 1,93 \text{ МНм}$, армирование – $15\varnothing 15$ К-7, $A_s = 0,00212 \text{ м}^2$, $\mu = 0,00885$.

Расчеты по предельным состояниям второй группы выполнялись также в соответствии с исходными предпосылками, принятыми в СП [11]. Моменты образования трещин определялись с учетом неупругих деформаций бетона растянутой зоны.

На рис. 3 приводится второй вариант подстропильной системы – с внешним армированием

подстропильных балок второго типа – смежные балки длиной 18,4 м соединяются между собой поверху арматурными стержнями – ($6\varnothing 20$ А1000).

При нагружении балок крайние сечения их поворачиваются, стержни натягиваются и оказывают сопротивление деформированию: увеличивается момент образования трещин, и уменьшается прогиб балки. Напряжения в стержнях определялись из условия совместности их деформирования с балками в предположении что сечения остаются плоскими и поворачиваются относительно центра арматуры растянутой зоны (рис. 4).

На рис. 5 приводятся поперечное сечение, схема нагружения и технические характеристики подстропильной балки второго типа с внешним армированием. В опорных сечениях возникают отрицательные моменты 1,8 МНм; в верхней полке закладывается $6\varnothing 20$ А1000, $A_s = 0,001885 \text{ м}^2$, $\mu = 0,0157$. Длина стержней в пределах балки 2,0 м. Со стержнями внешнего армирования они соединяются сваркой. Максимальный момент в пролете $M = 3,05 \text{ МНм}$; принимается предварительно напряженная арматура $15\varnothing 15$ К-7, $A_{sp} = 0,00212 \text{ м}^2$, $\mu = 0,0177$.

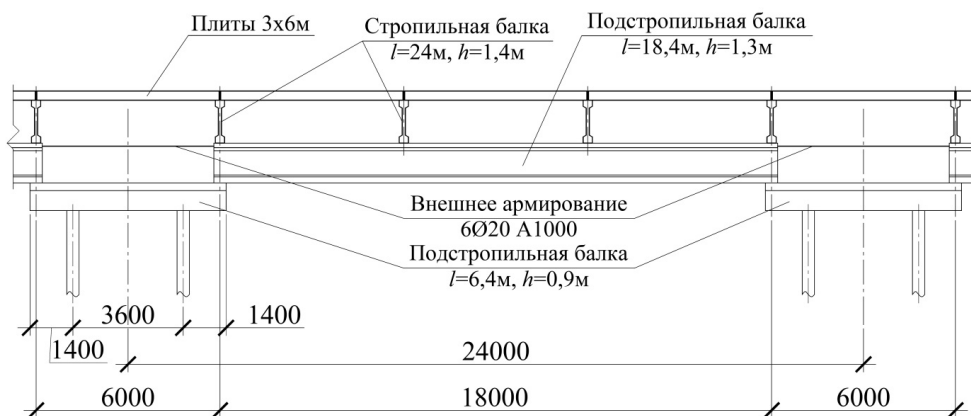


Рис. 3. Схема покрытия с внешним армированием подстропильной системы

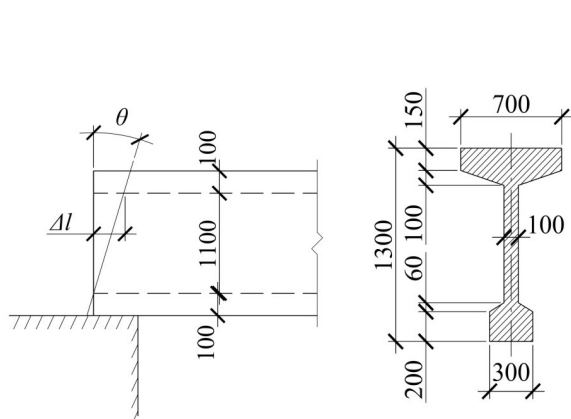
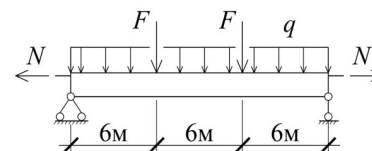


Рис. 4. К определению усилия в стержнях внешнего армирования



$l = 18,4 \text{ м}$; $h = 1,3 \text{ м}$; собств. вес $G = 0,1485 \text{ МН}$;
 $q = 0,00888 \text{ МН/м}$; $F = 0,749 \text{ МН}$; $N = 1,64 \text{ МН}$;
На опоре: $M = 1,8 \text{ МН} \cdot \text{м}$; $A_s = 0,001885 \text{ м}^2$, $6\varnothing 20$ А1000, $\mu = 0,0157$;
В пролете: $M = 3,05 \text{ МН} \cdot \text{м}$; $A_{sp} = 0,00212 \text{ м}^2$, $15\varnothing 15$ К-7, $\mu = 0,0177$;
Раскрытие трещин: $a_{cr,c} = 0,18 \text{ мм}$, $a_{cr,t} = 0,20 \text{ мм}$;
Прогиб: $f = 71,7 \text{ мм}$; $f_{it} = 76,9 \text{ мм}$.

Рис. 5. Поперечное сечение, схема нагружения и технические характеристики подстропильной балки покрытия с внешним армированием

Теория расчета строительных конструкций

Сравнение вариантов покрытия здания размерами 72×240 м (S=17280 м²) по массе конструкций и расходу продольной рабочей арматуры

Вид покрытия	Стропильные конструкции		Подстропильные конструкции		Итого (в скобках данные на 1 м ² пола)		
	Масса, т	Рабочая арматура, т	Масса, т	Рабочая арматура, т	Масса, т	Рабочая арматура, т	
Типовое (балка стропильная двускатная пролетом 18 м; балка подстропильная пролетом 12 м)	9,1×164= =1492,4	38,87 П-7	12,0×100= =1200,0	32,0 П-7	2692,4 (0,1558)	70,87 (0,0041) П-7	
Предлагаемые	Вариант 1. Без внешнего армирования	14,7×123= =1808,1	10,33 А500 19,24 К-7	18,4×40+ +5,52×44= =978,88	20,58 К-7	2787,0 (0,1613)	10,33 (0,0006) А500 39,82 (0,0023) К-7
	Вариант 2. С внешним армированием	14,7×123= =1808,1	10,33 А500 19,24 К-7	14,85×40+ +5,52×44= =836,88	5,93 А1000 16,58 К-7	2645,0 (0,1531)	10,33 (0,0006) А500 5,93 (0,00034) А1000 35,82 (0,00207) К-7

В таблице приводится сравнение типового покрытия с шагом колонн 12 м и предлагаемых вариантов покрытий на спаренных колоннах и консольно-балочной подстропильной системе при шаге поперечных осей здания 24 м. Принято здание размерами 72×240 м, имеющее в типовом решении [12] 4 пролета по 18 м, в предлагаемых – 3 пролета по 24 м. Сравняется расход продольной рабочей арматуры и масса несущих элементов покрытия (без ребристых плит).

Заключение

Разработаны консольно-балочная подстропильная система и покрытие в целом для производственного здания каркасного типа с пролетами 24 м, позволяющие увеличить шаг поперечных координатных осей до 24 м. В сравнении с типовым решением на основе стропильных и подстропильных балок для зданий с пролетами 18 м получена существенная экономия рабочей арматуры. Сокращено число монтажных единиц, создаются условия для более эффективного использования площади цеха.

Литература

1. Покрытие здания на сборно-монолитных стропильных конструкциях / С.И. Рощина, И.И. Шишов, Е.Н. Капцова, Х. Эззи // *Бетон и железобетон*. – 2013. – № 3. – С. 30–31.
2. Стропильные конструкции из линейных и плоских элементов и их совместная работа с плитами покрытий / И.И. Шишов, С.И. Рощина, Х. Эззи, М.А. Рязанов // *Бетон и железобетон – взгляд в будущее: научные труды III Всероссийской*

(II Международной) конференции по бетону и железобетону (Москва, 12–16 мая 2014 г.): в 7 т. Т. 1. Теория железобетона. Железобетонные конструкции. Расчет и конструирование. – М.: МГСУ, 2014. – С. 407–413.

3. Пат. 147222RU Российская федерация, МПК E04B 7/20 U1. Железобетонное покрытие одноэтажного производственного здания / С.И. Рощина, И.И. Шишов, Х. Эззи, М.А. Рязанов; заявитель и патентообладатель Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. – № 2014111352/03; заявл. 25.03.2014; опубл. 27.10.2014. Бюл. № 30 – 2 с.

4. Несущие конструкции покрытия промышленного здания при шаге поперечных рам 15 или 18 метров / И.И. Шишов, С.И. Рощина, М.А. Рязанов, Х. Эззи // *Бетон и железобетон*. – 2015. – № 3. – С. 13–16.

5. Пат. 153641 RU Российская федерация, МПК E04B 7/20 U1. Железобетонное покрытие одноэтажного производственного здания на спаренных колоннах / С.И. Рощина, И.И. Шишов, М.А. Рязанов, Х. Эззи; заявитель и патентообладатель Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. – № 2014149245/03, заявл. 05.12.2014; опубл. 27.07.2015. Бюл. № 21. – 2 с.

6. Шишов, И.И. Покрытие производственного здания на спаренных колоннах / И.И. Шишов, А.О. Дрогина, Т.В. Ковалишина // *Бетон и железобетон*. – 2013. – № 5. – С. 14–15.

7. Кустикова, Ю.О. Практические рекомендации и технико-экономическое обоснование применения композитной арматуры в железобетонных конструкциях зданий и сооружений / Ю.О. Кус-

тикова, В.И. Римшин, Л.И. Шубин // *Жилищное строительство*. 2014. – № 7. – С. 14–18.

8. Никулин, А.И. К построению расчетной модели для определения трещиностойкости железобетонных балок на основе энергетических соотношений / А.И. Никулин // *Известия Орловского государственного технического университета*. Серия: «Строительство и транспорт». – 2004. – № 3–4. – С. 78–85.

9. Никулин А.И. К уточнению величин предельных относительных деформаций бетона в сжатой зоне изгибаемых железобетонных элементов / А.И. Никулин // *Промышленное и гражданское строительство*. – 2014. – № 8. – С. 12–15.

10. Никулин, А.И. Трещиностойкость изги-

баемых железобетонных элементов с учетом использования в растянутой зоне различных сочетаний стальной и стеклопластиковой арматуры / А.И. Никулин, Н.В. Фролов, Ю.А. Никулина // *Бетон и железобетон*. – 2015. – № 1. – С. 18–23.

11. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 (утв. Приказом Минрегиона России от 29.12.2011 № 635/8). – М., 2012.

12. Справочник проектировщика. Типовые железобетонные конструкции зданий и сооружений для промышленного строительства / под ред. Г.И. Бердичевского. – М.: Стройиздат, 1974. – 398 с.

Шишов Иван Иванович, кандидат технических наук, профессор, доцент кафедры строительных конструкций, Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых (Владимир), shishov@shishov777.elcom.ru.

Смирнов Евгений Александрович, кандидат технических наук, профессор, доцент кафедры строительных конструкций, Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых (Владимир), easm@bk.ru.

Рязанов Максим Александрович, аспирант кафедры строительных конструкций, Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых (Владимир), makc85@bk.ru.

Поступила в редакцию 22 декабря 2016 г.

DOI: 10.14529/build170106

THE ROOFING OF AN INDUSTRIAL BUILDING WITH THE CANTILEVER FOOTING BEAM SYSTEM

I.I. Shishov, shishov@shishov777.elcom.ru

E.A. Smirnov, easm@bk.ru

M.A. Ryazanov, makc85@bk.ru

*Vladimir State University named after Alexander and Nicholay Stoletovs,
Vladimir, Russian Federation*

The paper is focused on the roofing of an industrial building resting on the cantilever beam system consisting of two types of beams. The first beams are mounted on paired columns (two columns with 3.6 meter spacing). They are 6.4 meters long and have cantilevers of 1.4 m at both sides. The second beams rest on cantilevers of the first beams and act as a support of sloping beams with the span of 24 m for 6 meter ribbed plates. The 24 meter step of transverse coordinate axes of the building is provided. The authors also consider the second option of covering, where adjoining footing beams are joined together on the top by external reinforcement bars, increasing their strength, rigidity and its cracking resistance. The limit state analysis of all beams is conducted. The paper presents the engineering and economic comparison of the suggested options of the building roofing with 12 meter column spacing and ribbed plates 6 m long.

Keywords: paired columns; cantilever footing beam system; beams of the first and the second types; footing beams; outer reinforcement.

References

1. Roshchina S.I., Shishov I.I., Kaptsova E.N., Ezzi Kh. [Building Coating on Precast-Monolithic Roof Constructions]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 2013. no.3, pp. 30–31. (in Russ.).
2. Shishov I.I., Roshchina S.I., Ezzi Kh., Ryazanov M.A. [Truss of Linear and Planar Elements and How They Work Together with the Hob]. *Beton i zhelezobeton – vzglyad v budushchee: nauchnye trudy III Vserossiyskoy (II Mezhdunarodnoy) konferentsii po betonu i zhelezobetonu (Moskva, 12 – 16 maya 2014 g.): Teoriya zhelezobetona. Zhelezobetonnye konstruksii. Raschet i konstruirovaniye* [Concrete and Reinforced Concrete - a Look into the Future: the All-Russian Scientific Works III (II International) Conference on Concrete and Reinforced Concrete (Moscow, 12 - 16 May 2014). The Theory of Reinforced Concrete. Reinforced Concrete Structures. Calculation and Design]. Moscow, MGSU Publ., 2014, vol. 1, pp. 407–413. (in Russ.).
3. Roshchina S.I., Shishov I.I., Ezzi Kh., Ryazanov M.A.. *Zhelezobetonnoe pokrytie odnoetazhnogo proizvodstvennogo zdaniya* [Concrete Covers Single-Storey Industrial Building]. Patent no. 147222 RF, 2014.
4. Shishov I.I., Roshchina S.I., Ryazanov M.A., Ezzi Kh. [Supporting Structures Covering Industrial Building at Step Transverse Frames 15 or 18 Meters]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 2015. no. 3, pp. 13–16. (in Russ.).
5. Roshchina S.I., Shishov I.I., Ryazanov M.A., Ezzi Kh. *Zhelezobetonnoe pokrytie odnoetazhnogo proizvodstvennogo zdaniya na sparenykh kolonnakh* [Concrete Covers Single-Storey Industrial Building on the Twin Towers]. Patent RF, no. 153641, 2015.
6. Shishov I.I., Drogina A.O., Kovalishina T.V. [Covering an Industrial Building on the Twin Towers]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 2013, no. 5, pp. 14–15. (in Russ.).
7. Kustikova Yu.O., Rimshin V.I., Shubin L.I. [Practical Recommendations and Feasibility Study for the Use of Composite Reinforcement in Concrete Structures of Buildings and Constructions]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction], 2014, no. 7, pp. 14–18. (in Russ.).
8. Nikulin A.I. [To Build a Computational Model to Determine the Fracture Toughness of Reinforced Concrete Beams Based on Energy Relations]. *Izvestiya OrelGTU. Ser. Building and Transport*, 2004, no. 3–4, pp. 78–85. (in Russ.).
9. Nikulin A.I. [To Clarify the Value of the Maximum Relative Deformation of Concrete in the Compressed Zone of Bent Reinforced Concrete Elements]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2014, no. 8, pp. 12–15. (in Russ.).
10. Nikulin A.I., Frolov N.V., Nikulina Yu.A. [Crack Bent Reinforced Concrete Elements with Regard to the Use Of Different Combinations of the Extended Area of Steel and Fiberglass Reinforcement]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 2015, no. 1, pp. 18–23. (in Russ.).
11. SP 63.13330.2012. [Concrete and Reinforced Concrete Structures. The Main Provisions. The Updated Edition of SNIP 52-01-2003]. Moscow, 2012. (in Russ.).
12. Berdichevskiy G.I. *Spravochnik proektirovshchika. Tipovye zhelezobetonnye konstruksii zdaniy i sooruzheniy dlya promyshlennogo stroitel'stva* [Designer Directory. Typical Reinforced Concrete Constructions of Buildings and Structures for Industrial Buildings]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1974. 398 p.

Received 22 December 2016

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Шишов, И.И. Покрытие промышленного здания с консольно-балочной подстропильной системой / И.И. Шишов, Е.А. Смирнов, М.А. Рязанов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2017. – Т. 17, № 1. – С. 49–54. DOI: 10.14529/build170106

FOR CITATION

Shishov I.I., Smirnov E.A., Ryazanov M.A. The Roofing of an Industrial Building with the Cantilever Footing Beam System. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2017, vol. 17, no. 1, pp. 49–54. (in Russ.). DOI: 10.14529/build170106