

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-6-465-470>

УДК 624.21.012

## Конструкция плиты для сборных дорожных покрытий

Канд. техн. наук, доц. С. И. Зиневич<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2018  
Belarusian National Technical University, 2018

**Реферат.** Опыт эксплуатации сборных бетонных покрытий при интенсивном движении тяжелых автомобилей показал, что, несмотря на высокую прочность самих бетонных плит, под них необходимы прочные основания. При непосредственной укладке бетона на грунт в нем в результате нажимов упруго прогибающихся при проходах автомобилей плит накапливаются остаточные деформации, что приводит к образованию под плитой пустот, а в самой плите – трещин. Для увеличения жесткости плиты (уменьшения ее осадок при проезде транспорта) автором предложено устраивать плиты с двумя продольными ребрами, а сами плиты укладывать на рыхлый, перемешанный с цементом грунт. Ребра следует размещать на полосах наката, т. е. симметрично относительно продольной оси плиты, на расстоянии друг от друга, равном расстоянию между колесами расчетного автомобиля на одной оси. С целью определения зависимости жесткости плиты от формы и размеров поперечного сечения продольных ребер выполнены расчеты с использованием метода конечных элементов на ПК «Лира». Конечно-элементная модель плиты включала 19152 узла и 18943 конечных элемента. Упругое основание моделировалось упругими вертикальными связями, находившимися в каждом нижнем узле. Плита загружалась нагрузкой, эквивалентной нагрузке от колеса расчетного автомобиля в четырех точках: колесо посередине плиты; колесо на углу плиты; два колеса одновременно на линии, перпендикулярной продольной оси плиты и находящейся в начале (или конце) плиты; два колеса одновременно на линии, перпендикулярной продольной оси плиты и проходящей через ее центр. Вначале при одинаковой площади поперечного сечения продольного ребра исследовались следующие его формы: треугольная, овальная (полукруг) и прямоугольная. Наиболее оптимальной формой, с точки зрения увеличения жесткости плиты, оказалась треугольная. Перепады высот у такой плиты при воздействии нагрузки наименьшие. Так, по сравнению с типовой плитой (без продольных ребер) наличие продольных ребер треугольного поперечного сечения увеличивает жесткость плиты в среднем на 50 % в зависимости от места положения расчетного колеса на плите (39–64 %). После определения оптимальной формы поперечного сечения продольного ребра найдена зависимость жесткости плиты от высоты продольных ребер. При постоянных объеме плиты и размере основания ребра 32 см (примерная ширина колеса расчетного автомобиля) изменялись высота ребра и толщина плиты. В результате проведенных расчетов получена зависимость жесткости плиты от высоты продольного ребра. Для данного объема и размеров плиты определено, что оптимальной высотой ребра является 25 см.

**Ключевые слова:** сборное покрытие, плита, основание, продольное ребро, метод конечных элементов

**Для цитирования:** Зиневич, С. И. Конструкция плиты для сборных дорожных покрытий / С. И. Зиневич // *Наука и техника*. 2018. Т. 17, № 6. С. 465–470. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-6-465-470>

## Plate Design for Prefabricated Pavements

S. I. Zinevich<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

**Abstract.** Experience in the operation of prefabricated concrete pavements with intensive traffic of heavy vehicles has shown that despite a high strength of the concrete slabs themselves it is necessary to arrange strong foundations. While laying concrete on the ground residual deformations are accumulating in it due to pressures which are initiated by elastically bending plates when vehicles are passing that leads to formation of voids under the plate and cracks in the plate itself. In order

### Адрес для переписки

Зиневич Сергей Иванович  
Белорусский национальный технический университет  
просп. Независимости, 150,  
220114, г. Минск, Республика Беларусь  
Тел.: +375 17 265-97-28  
ftk75@bntu.by

### Address for correspondence

Zinevich Sjarhei I.  
Belarusian National Technical University  
150 Nezavisimosty Ave.,  
220114, Minsk, Republic of Belarus  
Tel: +375 17 265-97-28  
ftk75@bntu.by

to increase rigidity of the plate (reduction of its settlement during the passage of vehicles) the author has proposed to arrange plates with two longitudinal ribs, and the plates themselves are to be laid on loose soil mixed with cement. The ribs are proposed to be placed on roll bars, i. e. symmetrically with respect to a longitudinal axis of the plate at a distance from each other which is equal to the distance between wheels of the calculated vehicle on one axis. In order to determine dependence of plate rigidity on a shape and a size of a cross section in longitudinal ribs calculations have been made while using a PC "Lira" and a finite element method. A finite element model of the plate has included 19152 nodes and 18943 finite elements. An elastic foundation has been modeled by vertical elastic links which are in every bottom node. The plate has been loaded with a load which is equivalent to the load from a calculated vehicle wheel at four points: a wheel in the middle of the plate; a wheel on the corner of the plate; two wheels at the same time on the line which is perpendicular to the longitudinal axis of the plate and located at the beginning (or end) of the plate; two wheels at the same time on the line which is perpendicular to the longitudinal axis of the plate and passing through its center. The following forms of a longitudinal rib having the same cross-sectional area have been studied at the beginning: triangular, oval (semicircle) and rectangular. In the context of plate rigidity increase the most optimal form has been a triangular shape. Height differences in such a plate are the least in case of load action. So, for example, in comparison with a typical plate (plate without longitudinal ribs), presence of longitudinal ribs of triangular cross – section increases plate rigidity by an average of 50 % depending on the location of the calculated wheel on the plate (39–64 %). After determining an optimal shape of cross section for longitudinal ribs the dependence has been found for plate rigidity and it depends on a height of longitudinal triangular ribs. While having a constant volume of the plate and a constant a size of the rib base (32 cm) (approximate width of a calculated vehicle wheel) a rib height and a plate thickness have been changed. The calculations have made it possible to determine dependence of the plate rigidity on a height of a longitudinal rib. It has been determined that as for the given volume and dimensions of the plate the optimal rib height is 25 cm.

**Keywords:** prefabricated pavement, plate, base, longitudinal rib, finite element method

**For citation:** Zinevich S. I. (2018) Plate Design for Prefabricated Pavements. *Science and Technique*. 17 (6), 465–470. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-6-465-470> (in Russian)

## Введение

В последнее время в Республике Беларусь строится мало дорог со сборным бетонным покрытием, несмотря на то что устройство такого типа покрытия может осуществляться круглогодично. Есть и другие плюсы сборных покрытий, например движение транспорта открывается сразу после укладки плит, а не после набора прочности бетоном, как в случае монолитного бетонного покрытия. Это имеет большое значение при реконструкции и капитальном ремонте дорог, когда закрытие движения на длительный срок приводит к значительным экономическим потерям [1, 2]. Немаловажно также и то, что ремонт сборных покрытий может выполняться по типу ремонта тротуаров из бетонной плитки, т. е. заменой дефектных плит на новые.

В настоящее время, по мнению автора, сборные бетонные покрытия в Республике Беларусь приобретают особую актуальность, поскольку руководством страны поставлена задача за три-четыре года повысить качество сети местных дорог, протяженность которых составляет более 71 тыс. км. В значительной степени такие покрытия будут востребованы на участках небольшой протяженности, какими являются подъезды к агрогородкам и малым

деревням. На этих участках разворачивать бетоноукладочные комплексы экономически невыгодно, проще и быстрее уложить готовые плиты.

Опыт эксплуатации бетонных покрытий показал, что, несмотря на высокую прочность самих бетонных плит, под них необходимы прочные основания. При непосредственной укладке бетона на грунт в нем в результате нажимов упруго прогибающихся при проходах автомобилей плит накапливаются остаточные деформации. Вначале под плитами образуются полости, и плиты теряют контакт с грунтом, а затем в них появляются трещины. Поэтому на дорогах с высокой интенсивностью движения бетонные покрытия укладывают на прочные основания [3, 4]. Устройство прочных оснований значительно повышает стоимость дороги.

Для увеличения жесткости плиты (уменьшения ее осадок при проезде транспорта) автором предложено устраивать плиты с двумя продольными ребрами, а сами плиты укладывать на рыхлый, перемешанный с цементом грунт. Ребра следует располагать на полосах наката, т. е. симметрично относительно продольной оси плиты на расстоянии друг от друга, равном расстоянию между колесами расчетного автомобиля на одной оси (рис. 1).

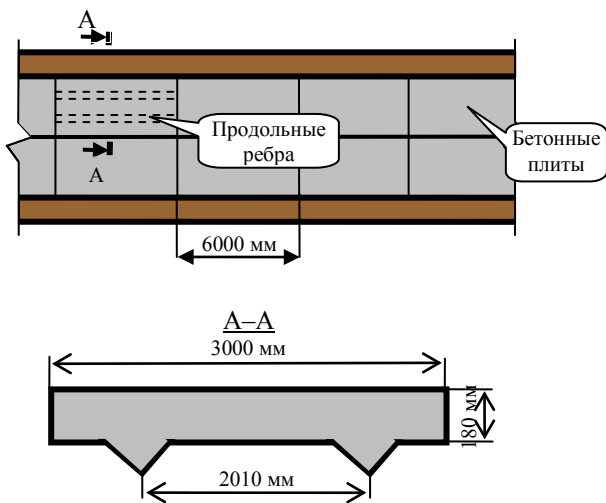


Рис. 1. Поперечный разрез плиты с продольными ребрами

Fig. 1. Cross-section of plate with longitudinal ribs

Цель исследований – проверить эффективность указанных продольных ребер для увеличения жесткости плит и в случае их эффективности определить оптимальную форму и размеры их поперечного сечения.

### Проведение расчета

С целью определения зависимости жесткости плиты от наличия формы и размеров поперечного сечения продольных ребер использовался метод конечных элементов [5, 6]. Конечно-элементная модель плиты включала 19152 узла и 18943 конечных элемента типа параллелепипеда и треугольной призмы. Упругое основание моделировалось упругими вертикальными связями, находящимися в каждом нижнем узле [7, 8]. Жесткость каждой связи находили по формуле [9, 10]

$$R = \frac{E_0 \sqrt{F}}{K(1-\nu_0^2)N},$$

где  $E_0$ ,  $\nu_0$  – усредненный модуль упругости и коэффициент Пуассона цементогрунта;  $N$  – число нижних узлов конечно-элементной модели;  $K$  – коэффициент, для плиты размерами  $6 \times 3$  м, согласно [7] принят равным 0,9;  $F$  – площадь нижней поверхности плиты.

Рассчитывалась железобетонная плита размерами в плане  $3000 \times 6000$  мм и толщиной 180 мм, изготовленная из бетона марки по морозостойкости F150 с ненапрягаемой арматурой. В качестве основания рассматривался цементогрунт. Нагружалась плита колесом расчетного автомобиля в виде гибкой квадратной нагрузки эквивалентной площади круга диаметром 0,41 м. Величина равномерно распределенной нагрузки 0,60 МПа.

Для определения оптимальной формы поперечного сечения продольного ребра исследовали следующие его формы: прямоугольную, овальную (полукруг) и треугольную (рис. 1). Площадь поперечного сечения ребра во всех случаях была одинаковой.

Рассматривали четыре схемы загрузки плиты:

- 1) штамп приложен посередине плиты (рис. 2а);
- 2) штамп приложен на углу плиты (рис. 2б);
- 3) два штампа приложены одновременно на линии, перпендикулярной продольной оси плиты и находившейся в начале (или конце) плиты (рис. 2с);
- 4) два штампа приложены одновременно на линии, перпендикулярной продольной оси плиты и проходившей через ее центр (рис. 2д).

Расчеты выполнены на ПК «Лира». При обработке результатов жесткость плит при воздействии нагрузки оценивалась по перепаду высот их поверхности. Кроме того, жесткость плит с ребрами сравнивалась с жесткостью обычной плиты, т. е. не имеющей продольных ребер.

Полученные результаты представлены в табл. 1, из которой видно, что наиболее оптимальной формой поперечного сечения продольных ребер, с точки зрения увеличения жесткости плиты, является треугольная. Перепады высот у такой плиты оказались наименьшими. По сравнению с плитой без продольных ребер жесткость увеличивается на 39–64 % в зависимости от схемы загрузки.

Вертикальные перемещения плиты с продольными ребрами треугольного поперечного сечения и плиты, не имеющей продольных ребер, например при схеме загрузки 1, приведены на рис. 3.

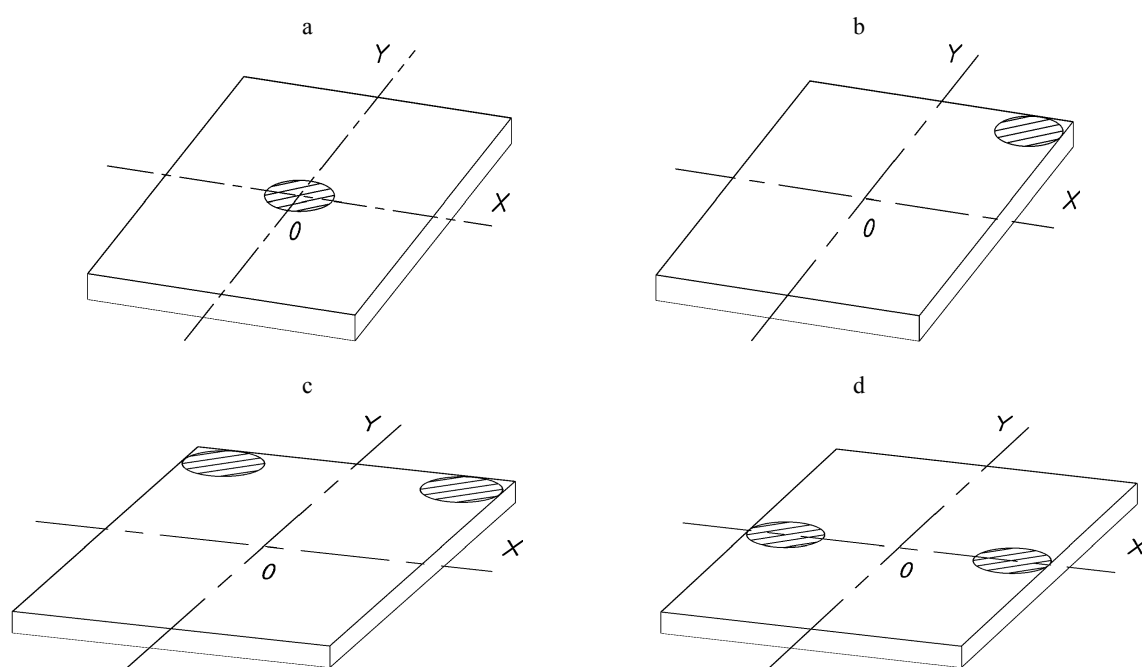


Рис. 2. Схемы загрузки плиты  
Fig. 2. Diagrams of plate loading

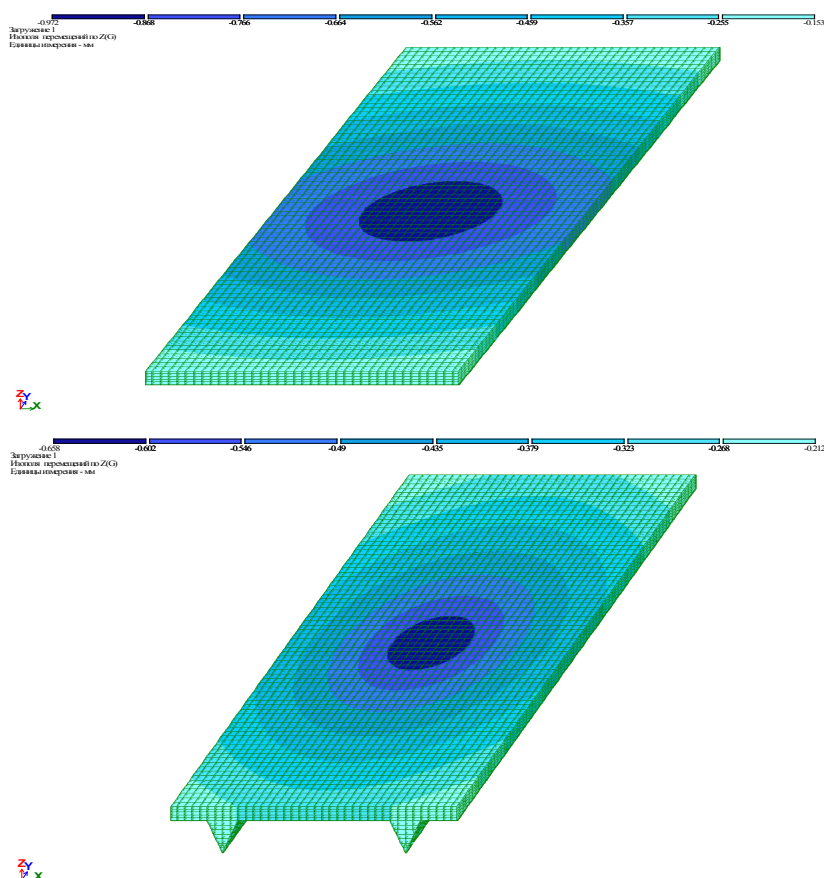


Рис. 3. Вертикальные перемещения плиты  
Fig. 3. Vertical plate displacement

После определения оптимальной формы поперечного сечения продольного ребра найдена зависимость жесткости плиты от высоты продольных треугольных ребер. При постоянных объеме плиты и размере основания ребра 32 см (примерная ширина колеса расчетного автомобиля) изменялись высота ребра и толщина плиты.

В результате проведенных расчетов получена зависимость жесткости плиты от высоты продольного ребра, представленная на рис. 4.

Руководствуясь графиком рис. 3, для данного объема и размера плиты оптимальной высотой поперечного сечения продольного ребра можно считать 25 см. При других геометрических размерах плиты результаты могут быть иными.

Перепад высот поверхности различных типов плит под нагрузкой  
Height difference in plates of various types under loading

Схема нагружения плиты	Форма поперечного сечения продольных ребер	Деформация плиты			
		Максимальное значение	Минимальное значение	Перепад высот	Увеличение жесткости плиты, %
1	Без ребер	-0,972	-0,1530	0,8119	0
	Прямоугольная	-0,827	-0,3000	0,5270	35
	Овальная	-0,717	-0,2250	0,4920	39
	Треугольная	-0,658	-0,2120	0,4460	45
2	Без ребер	-4,410	-0,1710	4,2390	0
	Прямоугольная	-3,300	-0,0345	3,2660	29
	Овальная	-2,820	-0,0377	2,7820	34
	Треугольная	-2,600	-0,0330	2,5670	39
3	Без ребер	-4,070	-0,0590	4,0110	0
	Прямоугольная	-2,930	-0,0807	2,8490	29
	Овальная	-2,430	-0,0875	2,3430	42
	Треугольная	-2,000	-0,00141	1,9990	50
4	Без ребер	-1,610	-0,0104	1,5990	0
	Прямоугольная	-1,160	-0,3100	0,8500	47
	Овальная	-0,955	-0,2390	0,7160	55
	Треугольная	-0,793	-0,2150	0,5780	64

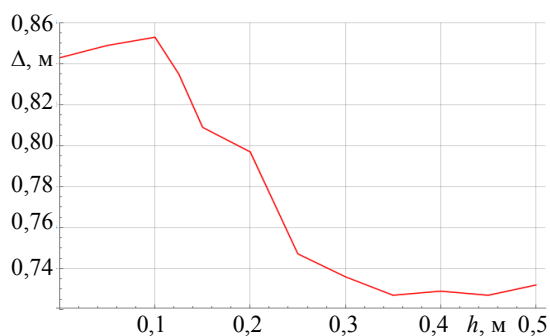


Рис. 4. Зависимость перепада высот поверхности плиты  $\Delta$  от высоты поперечного сечения продольного ребра  $h$  при схеме нагружения 1

Fig. 4. Dependence in height difference of plate surface  $\Delta$  on height of longitudinal rib cross-section  $h$  according to diagram of loading 1

## ВЫВОДЫ

1. В результате проведенных исследований жесткости плиты с продольными ребрами раз-

личного поперечного сечения и сравнения ее с жесткостью плиты, не имеющей продольных ребер, установлено, что наличие продольных ребер увеличивает жесткость плиты в среднем на 50 %. Наиболее оптимальной формой поперечного сечения продольных ребер является треугольная. Перепады высот у такой плиты наименьшие. По сравнению с плитой без продольных ребер жесткость увеличивается на 39–64 % в зависимости от схемы нагружения. Для данного объема и размера плиты оптимальной высотой поперечного сечения продольного ребра можно считать 25 см.

2. При других геометрических размерах плиты результаты могут быть иными. В дальнейшем целесообразно получить зависимость жесткости плиты, имеющей продольные ребра, от ее геометрических размеров, а также установить, как влияют геометрические размеры на

оптимальную высоту продольного ребра треугольного поперечного сечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабков, В. Ф. Проектирование автомобильных дорог. Ч. I / В. Ф. Бабков, О. В. Андреев. М.: Транспорт, 1979. 367 с.
2. Орловский, В. С. Проектирование и строительство сборных дорожных покрытий / В. С. Орловский. М.: Транспорт, 1978. 149 с.
3. Носов, В. П. Состояние, проблемы, перспективы применения цементобетона при строительстве автомобильных дорог / В. П. Носов // Наука и техника в дорожной отрасли. 2011. № 4. С. 1–3.
4. Левицкий, Е. Ф. Бетонные покрытия автомобильных дорог / Е. Ф. Левицкий, В. А. Чернигов. М.: Транспорт, 1980. 288 с.
5. Клованич, С. Ф. Метод конечных элементов в механике железобетона / С. Ф. Клованич. Одесса: Изд-во ОНМУ, 2007. 110 с.
6. Метод конечных элементов как аппарат для расчета многослойных аэродромных покрытий / А. А. Хатунцев [и др.] // Проблемы и технологии инженерно-аэродромного обеспечения войск: сб. науч. статей по матер. докладов XXIII межвузовской НПК «Перспектива-2013». Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2013. С. 119–124.
7. Горбунов-Посадов, М. И. Расчет конструкций на упругом основании / М. И. Горбунов-Посадов, Т. А. Маликова, В. И. Соломин. М.: Стройиздат, 1984. 639 с.
8. Жемочкин, Б. Н. Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании / Б. Н. Жемочкин, А. П. Сеницын. М.: Стройиздат, 1962. 239 с.
9. Ржаницын, А. Р. Строительная механика / А. Р. Ржаницын. М.: Высш. шк., 1991. 439 с.
10. Босаков, С. В. Статические расчеты плит на упругом основании / С. В. Босаков. Минск: БНТУ, 2002. 128 с.

Поступила 06.06.2018  
 Подписана в печать 15.08.2018  
 Опубликовано онлайн 30.11.2018

REFERENCES

1. Babkov V. F., Andreev O. V. (1979) *Design of Highways. Part I*. Moscow, Transport Publ. 367 (in Russian).
2. Orlovsky V. S. (1978) *Design and Construction of Prefabricated Road Pavements*. Moscow, Transport Publ. 149 (in Russian).
3. Nosov V. P. (2011) *State, Problems, Perspectives of Cement Concrete Application in the Construction of Highways* / *Nauka i Tekhnika v dorozhnoy otrasli* [Science and Technique in the road sector]. No 4. P. 1–3.
4. Levitsky E. F., Chernigov V. A. (1980) *Concrete Pavements of Highways*. Moscow, Transport Publ. 288 (in Russian).
5. Klovanych S. F. (2007) *Finite Element Method in Mechanics of Reinforced Concrete*. Odessa, Publishing House of Odessa National Maritime University. 110 (in Russian).
6. Khatuntsev A. A., Popov A. N., Makarov E. V., Burakov A. V. (2013) Finite Element Method as Apparatus for Calculating Multilayer Airfield Pavements. *Problems and Technologies of Engineering and Airfield Support of Troops: Collection of Scientific Papers of XXIII<sup>rd</sup> Interuniversity Scientific and Practical Conference "Perspective-2013"*. Voronezh, Publishing House of Air Force Military Educational and Scientific Centre "Air Force Academy", 119–124 (in Russian).
7. Gorbunov-Posadov M. I., Malikova T. A., Solomin V. I. (1984) *Calculation of Structures on Elastic Foundation*. Moscow, Publishing House Stroyizdat. 639 (in Russian).
8. Zhemochkin B. N., Sinitsyn A. P. (1962) *Practical Calculation Methods of Foundation Beams and Plates on Elastic Foundation*. Moscow, Publishing House Stroyizdat. 239 (in Russian).
9. Rzhantsyn A. R. (1991) *Structural Mechanics*. Moscow, Vysshaya Shkola Publ. 439 (in Russian).
10. Bosakov S. V. (2002) *Static Calculations of Slabs on Elastic Foundation*. Minsk, Belarusian National Technical University. 128 (in Russian).

Received: 06.06.2018  
 Accepted: 15.08.2018  
 Published online: 30.11.2018