

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2022-21-3-196-200>

УДК 625.74:656.13.08

Плиты для сборных дорожных покрытий с наименьшим «клавишным» эффектом

Канд. техн. наук, доц. С. И. Зиневич¹⁾, асп. А. К. Каюмов¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2022
Belarusian National Technical University, 2022

Реферат. Изучен вопрос улучшения ровности сборного бетонного покрытия посредством изменения конструкции плит, из которых оно собирается. Неровности сборного покрытия, так называемый «клавишный» эффект, в основном возникают в местах сопряжения плит. Причина неровностей – вертикальные перемещения торцов плит друг относительно друга при проезде автомобиля. С целью исправления этой ситуации авторы предлагают устраивать на концах плит поперечные ребра прямоугольного сечения. Такие ребра будут создавать надежную опору на краях плиты, что уменьшит вертикальные перемещения ее торцов. Чтобы определить эффективность применения поперечных ребер, исследовали бетонную плиту размерами 3×6 м. Поперечное ребро в сечении имело форму прямоугольника со сторонами 20×10 см. Для сравнения результатов испытаний исследовали бетонную плиту таких же размеров, но без поперечных ребер. Деформации и напряжения плиты под нагрузкой определяли методом конечных элементов с использованием программного комплекса «Лира». Расчеты показали, что вертикальные перемещения торцов плит с ребрами в два раза, а напряжения – в 2,4 раза меньше, чем плит без ребер. Таким образом установлено, что использование бетонных плит с поперечными ребрами на торцах позволит уменьшить неровности сборного дорожного покрытия.

Ключевые слова: сборное покрытие, прочность бетона, жесткость плиты, поперечное ребро, деформации и напряжения плиты, нагрузка, вертикальные перемещения, «клавишный» эффект

Для цитирования: Зиневич, С. И. Плиты для сборных дорожных покрытий с наименьшим «клавишным» эффектом / С. И. Зиневич, А. К. Каюмов // *Наука и техника*. 2022. Т. 21, № 3. С. 196–200. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2022-21-3-196-200>

Slabs for Prefabricated Road Surfaces with the Least “Keyboard” Effect

S. I. Zinevich¹⁾, A. K. Kayumov¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The paper studies the issue of improving the evenness of the prefabricated concrete pavement by changing the design of the slabs from which it is assembled. Irregularities of the prefabricated pavement mainly occur at the junction of the plates and are called “keyboard” effect. The reason for the unevenness is the vertical movement of the ends of the plates relative to each other when the car passes. In order to correct this situation, the authors propose to arrange transverse ribs of rectangular cross section at the ends of the plates. Such ribs will create a reliable support at the edges of the slab, which will reduce the vertical movement of its ends. To determine the effectiveness of the use of transverse ribs, a concrete slab with dimensions of 3×6 m has been examined in the paper. The transverse rib in cross section had the shape of a rectangle with sides 20×10 cm. In order to compare the test results, a concrete slab of the same dimensions, but without transverse ribs, has been studied. Deformations and stresses of the slab under load have been determined by the finite element method using the Lira software package. Calculations have shown the effectiveness of the slabs with transverse ribs mounted on its edges.

Адрес для переписки

Зиневич Сергей Иванович
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 65,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 237-38-81
Zinev2018@gmail.com

Address for correspondence

Zinevich Sergey I.
Belarusian National Technical University
65, Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 237-38-81
Zinev2018@gmail.com

The vertical displacements of the ends of the slabs with ribs are two times less than those of the slabs without ribs, and the stresses are 2.4 times less. It is obvious that the use of concrete slabs with transverse ribs at the ends will reduce the unevenness of the prefabricated coating at the points of their mating.

Keywords: prefabricated coating, concrete strength, slab stiffness, transverse rib, slab deformation and stresses, load, vertical displacements, “keyboard” effect

For citation: Zinevich S. I., Kayumov A. K. (2022) Slabs for Prefabricated Road Surfaces with the Least “Keyboard” Effect. *Science and Technique*. 21 (3), 196–200. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2022-21-3-196-200> (in Russian)

Введение

Цементобетонные дорожные покрытия – более прочные и долговечные по сравнению с асфальтобетонными [1, 2]. Одним из видов бетонных покрытий являются сборные, устраиваемые из отдельных плит [3, 4]. Они имеют свои плюсы и минусы. К плюсам можно отнести то, что плиты изготавливают на заводах со строгим соблюдением технологических правил и режимов ухода за бетоном, обеспечивающих их высокое качество. Также преимуществом является возможность движения транспорта сразу после устройства покрытия, т. е. нет необходимости ждать набора прочности бетоном, как при возведении монолитных бетонных покрытий. Это позволяет применять сборные бетонные покрытия при реконструкции или капитальном ремонте существующей дороги, когда нельзя надолго закрыть движение [5]. Немаловажное обстоятельство в пользу сборного бетонного покрытия по сравнению с монолитным – устройство его в течение всего года. Кроме того, стоимость сборных бетонных покрытий примерно в 1,5 раза меньше, чем монолитных армированных.

Однако сегодня устройство сборных бетонных покрытий не нашло широкого применения. Одна из причин – сложность обеспечения ровности покрытия [6]. Наиболее часто неровности (так называемый «клавишный» эффект) возникают в зоне сопряжения плит. Они происходят из-за вертикального перемещения торцов плит друг относительно друга при проезде автомобиля. С целью исправления такой ситуации авторы предлагают устраивать на концах плит поперечные ребра. Поперечное сечение ребра должно иметь прямоугольную форму, что создаст надежные опоры на краях плиты. А это уменьшит вертикальные перемещения ее торцов.

Для проверки эффективности устройства поперечного ребра с точки зрения уменьшения вертикальных перемещений торцов плиты исследовали бетонную плиту размерами 3×6 м. Поперечное ребро в сечении имело форму пря-

моугольника со сторонами 20×10 см (рис. 1). Для сравнения результатов испытаний исследовали такую же по размерам бетонную плиту без поперечных ребер. Деформации и напряжения плит под нагрузкой определяли методом конечных элементов с использованием программного комплекса «Лира».

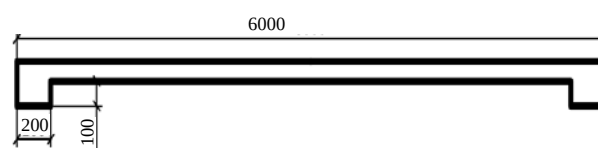


Рис. 1. Продольный разрез исследуемой плиты

Fig. 1. Longitudinal section of the studied plate

Выполнение расчета

Зависимость жесткости плиты от наличия поперечного ребра, установленного на ее торце, определяли методом конечных элементов [7, 8]. Конечно-элементная модель плиты включала 19152 узла и 18943 конечных элемента. Упругое основание моделировали упругими вертикальными связями, находящимися в каждом нижнем узле [9, 10]. Жесткость каждой связи находили по формуле

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

где E_0 , ν_0 – усредненный модуль упругости и коэффициент Пуассона цементогрунта; N – число нижних узлов конечно-элементной модели; K – коэффициент, для плиты размерами 3×6 м $K = 0,9$ [10]; F – площадь нижней поверхности плиты.

Выполняли расчет железобетонной плиты толщиной 180 мм, изготовленной из бетона марки по морозостойчивости F150 с ненапрягаемой арматурой. Основанием служил цементогрунт. Плиту нагружали двумя колесами расчетного автомобиля, каждое из которых принимали в виде гибкой квадратной нагрузки, эквивалентной площади круга диаметром 0,41 м.

Величина равномерно распределенной нагрузки каждого колеса составляла 0,6 МПа. Схема загрузки плиты приведена на рис. 2: два штампа приложены одновременно на линии, перпендикулярной продольной оси плиты и находящейся в ее начале или конце.

Жесткость плиты при воздействии нагрузки оценивали по перепаду высот ее поверхности. Сравнивали вертикальные перемещения торца плиты, имеющей поперечное ребро, и торца плиты без поперечного ребра. Результаты расчетов представлены на рис. 3, 4.

Из рис. 3, 4 видно, что вертикальные перемещения торца плиты, имеющей поперечное ребро, в два раза меньше, чем перемещения торца плиты без поперечного ребра.

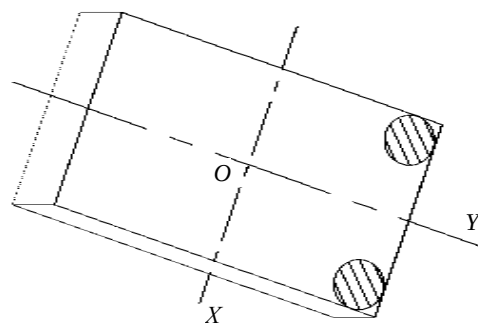


Рис. 2. Схема загрузки плиты

Fig. 2. Plate loading scheme

Напряжения плит с поперечным ребром и без ребра представлены на рис. 5, 6 соответственно. Как видно из рисунков, напряжения в опасной зоне также меньше у плиты, имеющей поперечные ребра в торце.

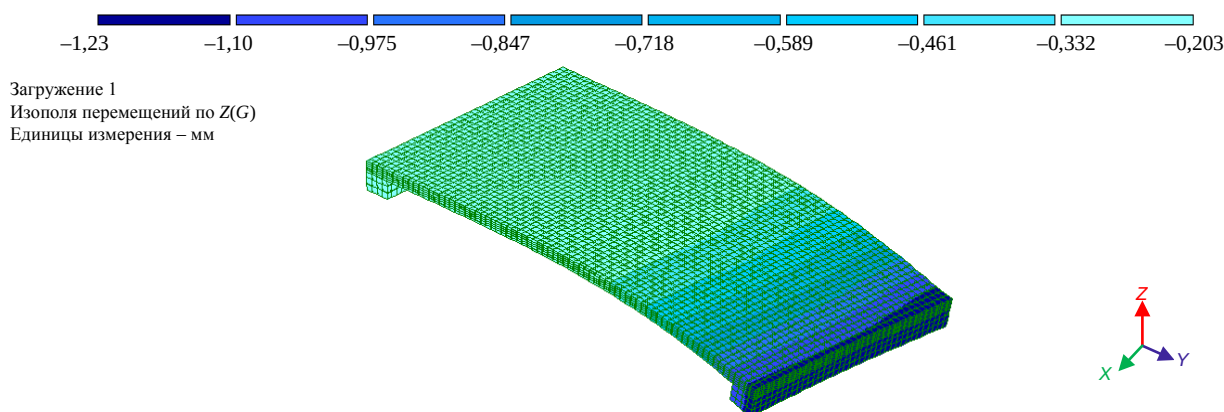


Рис. 3. Изополя вертикальных перемещений торца плиты, имеющей поперечное ребро

Fig. 3. Isofields of vertical displacements of the end of a plate with a transverse rib

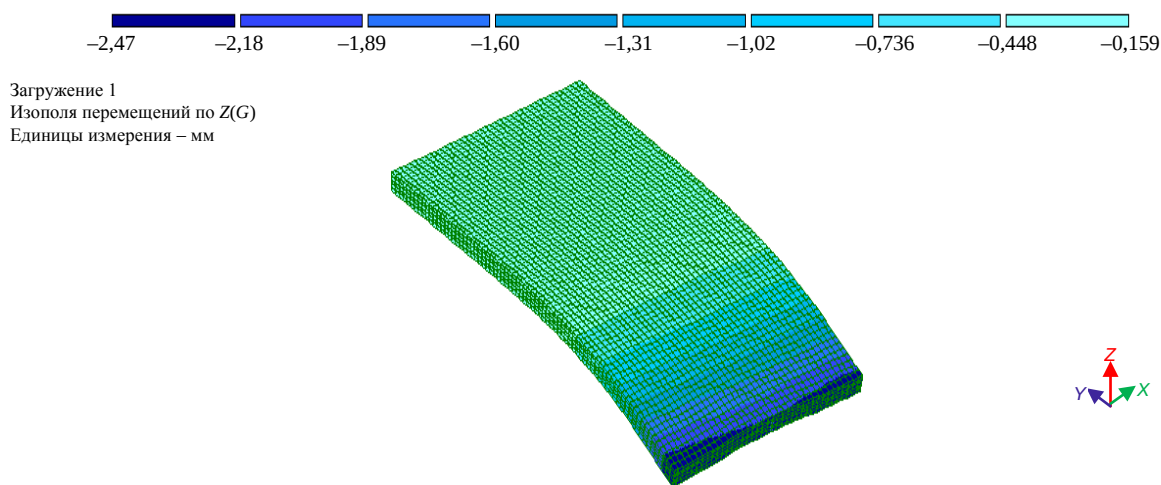


Рис. 4. Изополя вертикальных перемещений торца плиты, не имеющей поперечного ребра

Fig. 4. Isofields of vertical displacements of the end of a plate without a transverse rib

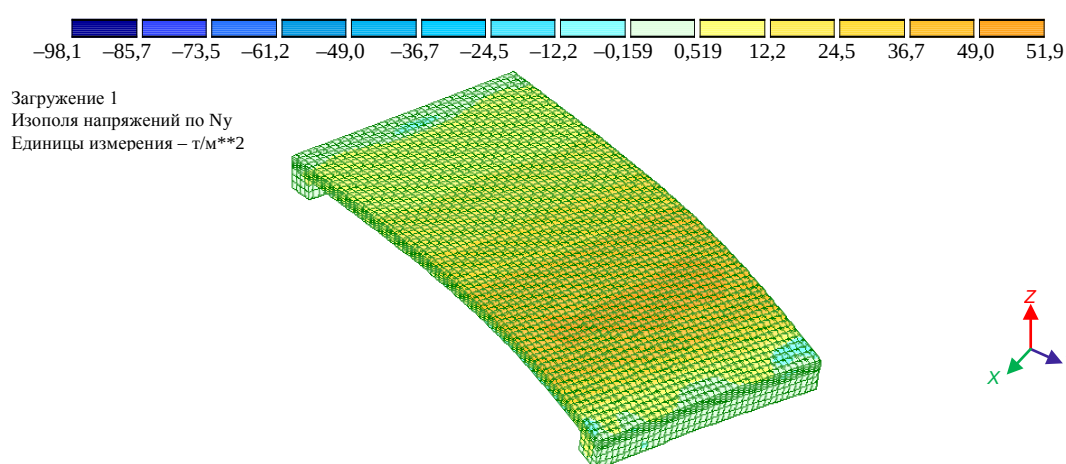


Рис. 5. Изополя наибольших напряжений плиты, имеющей поперечное ребро

Fig. 5. Isofields of the greatest stresses of a plate with a transverse rib

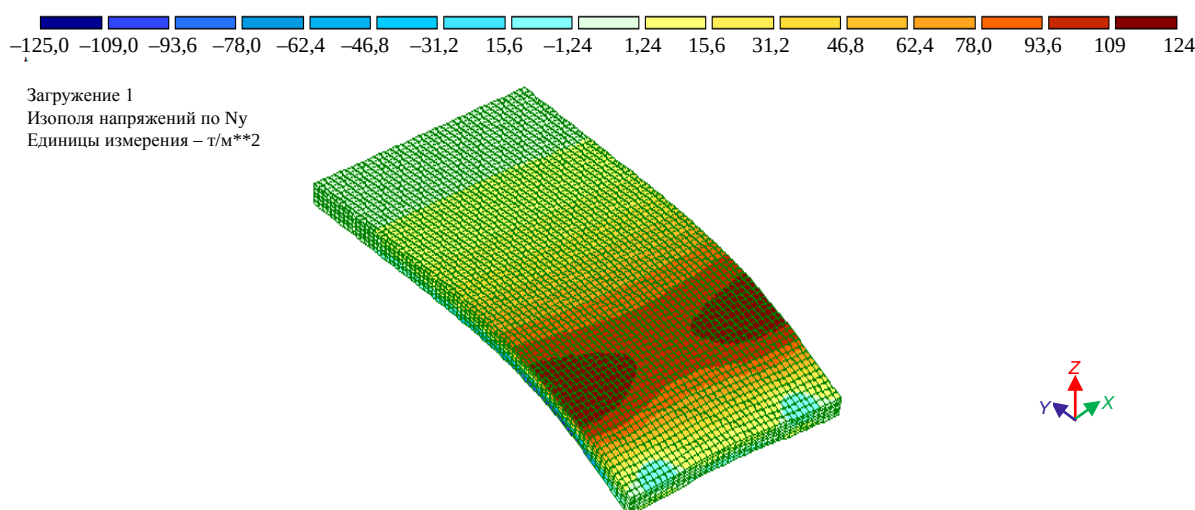


Рис. 6. Изополя наибольших напряжений плиты, не имеющей поперечного ребра

Fig. 6. Isofields of the greatest stresses of a plate without a transverse rib

ВЫВОД

Выполненные исследования и расчеты показали эффективность поперечных ребер, установленных на концах плит. Так, вертикальные перемещения торцов плит с поперечными ребрами в два раза меньше, чем плит без таких ребер. Уменьшение вертикальных перемещений торцов плит минимизирует «клавишный» эффект в зоне сопряжения плит, отчего общая ровность покрытия улучшается. Кроме того, напряжения в опасной зоне плит с поперечными

ребрами в 2,4 раза меньше, что способствует продлению срока службы сборных бетонных покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левицкий, Е. Ф. Бетонные покрытия автомобильных дорог / Е. Ф. Левицкий, В. А. Чернигов. М.: Транспорт, 1980. 288 с.
2. Носов, В. П. Основные тенденции в строительстве цементобетонных покрытий на автомобильных дорогах / В. П. Носов // Наука и техника в дорожной отрасли. 2011. № 4. С. 1–3.

3. Орловский, В. С. Проектирование и строительство сборных дорожных покрытий / В. С. Орловский. М.: Транспорт, 1978. 149 с.
4. Автомобильные дороги. Правила устройства: ТКП 059.1–2020 (33200). Введ. 01.09.2020. Минск: Минтранс, 2020. 76 с.
5. Автомобильные дороги / Я. Н. Ковалев [и др.]. Минск: Арт Дизайн, 2006. 351 с.
6. Бабков, В. Ф. Проектирование автомобильных дорог / В. Ф. Бабков, О. В. Андреев. М.: Транспорт, 1979. Ч. I. 367 с.
7. Клованич, С. Ф. Метод конечных элементов в механике железобетона / С. Ф. Клованич. Одесса: Изд-во ОНМУ, 2007. 110 с.
8. Метод конечных элементов как аппарат для расчета многослойных аэродромных покрытий / А. А. Хатунцев [и др.] // Проблемы и технологии инженерно-аэродромного обеспечения войск: сб. науч. ст. по материалам докладов XXIII Межвуз. НПК «Перспектива-2013». Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2013. С. 119–124.
9. Босаков, С. В. Статические расчеты плит на упругом основании / С. В. Босаков. Минск: БНТУ, 2002. 128 с.
10. Горбунов-Посадов, М. И. Расчет конструкций на упругом основании / М. И. Горбунов-Посадов, Т. А. Маликова, В. И. Соломин. М.: Стройиздат, 1984. 639 с.

Поступила 16.02.2022

Подписана в печать 18.04.2022

Опубликована онлайн 31.05.2022

REFERENCES

1. Levitsky E. F., Chernigov V. A. (1980) *Concrete Road Surfaces*. Moscow, Transport Publ. 288 (in Russian).
2. Nosov V. P. (2011) State, Problems, Prospects for the Use

- of Cement Concrete in the Construction of Roads. *Nauka i Tekhnika v Dorozhnoi Otrastli = Advanced Science and Technology for Highways*, (4), 1–3 (in Russian).
3. Orlovsky V. S. (1978) *Design and Construction of Prefabricated Road Surfaces*. Moscow, Transport Publ. 149 (in Russian).
4. TKP [Technical Code of Common Practice] 059.1–2020 (33200). *Car Roads. Rules for the Construction*. Minsk, Mintrans Publ., 2020. 76 (in Russian).
5. Kovalev Ya. N., Leonovich I. I., Yaromko V. N., Veren'ko V. A., Minin A. V., Cheptsov G. V., Yatshevich I. K. (2006) *Car Roads*. Minsk, Art Dizain Publ. 351 (in Russian).
6. Babkov V. F., Andreev O. V. (1979) *Road Design. Part I*. Moscow, Transport Publ. 367 (in Russian).
7. Klovaniich S. F. (2007) *Finite Element Method in Reinforced Concrete Mechanics*. Odessa, Publishing House of Odessa National Maritime University. 110 (in Russian).
8. 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 Inter-university Scientific and Practical Conference "Perspective-2013"*. Voronezh, Publishing House of Air Force Military Educational and Scientific Centre "Air Force Academy", 119–124 (in Russian)
9. Bosakov S. V. (2002) *Static Calculations of Slabs on an Elastic Foundation*. Minsk, Belarusian National Technical University. 128 (in Russian).
10. Gorbunov-Posadov M. I., Malikova T. A., Solomin V. I. (1984) *Calculation of Structures on an Elastic Foundation*. Moscow, Stroyizdat Publ. 639 (in Russian).

Received: 16.02.2022

Accepted: 18.04.2022

Published online: 31.05.2022