

Зиневич С.И.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Беларусь

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 (т.е. уменьшения ее осадок при проезде транспорта), автором предложено плиты устраивать с двумя продольными ребрами, а сами плиты укладывать на рыхлый перемешанный с цементом грунт. Ребра предложено 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 узлов и 18943 конечных элементов. Упругое основание моделировалось упругими вертикальными связями, находящимися 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 и 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 форма. Перепады высот у такой плиты при воздействии нагрузки оказались наименьшими. Так, например, по сравнению с типовой плитой (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, определена зависимость жесткости плиты от высоты продольных треугольных ребер. При постоянном объеме плиты и постоянном 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

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, то есть заменой дефектных плит на новые.

В настоящее время, на взгляд автора, сборные бетонные покрытия в Республике Беларусь приобретают особую актуальность, поскольку руководством страны поставлена задача за 3-4 года повысить качество сети местных дорог, протяженность которых составляет более 71 тысяч километров. 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 (т.е. уменьшения ее осадок при проезде транспорта), автором предложено плиты устраивать с двумя продольными ребрами, а сами плиты укладывать на рыхлый перемешанный с цементом грунт. Ребра предлагается 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).

В настоящей работе поставлена цель проверить эффективность указанных продольных ребер для увеличения жесткости плит и в случае их эффективности определить оптимальную форму и размеры их поперечного сечения.

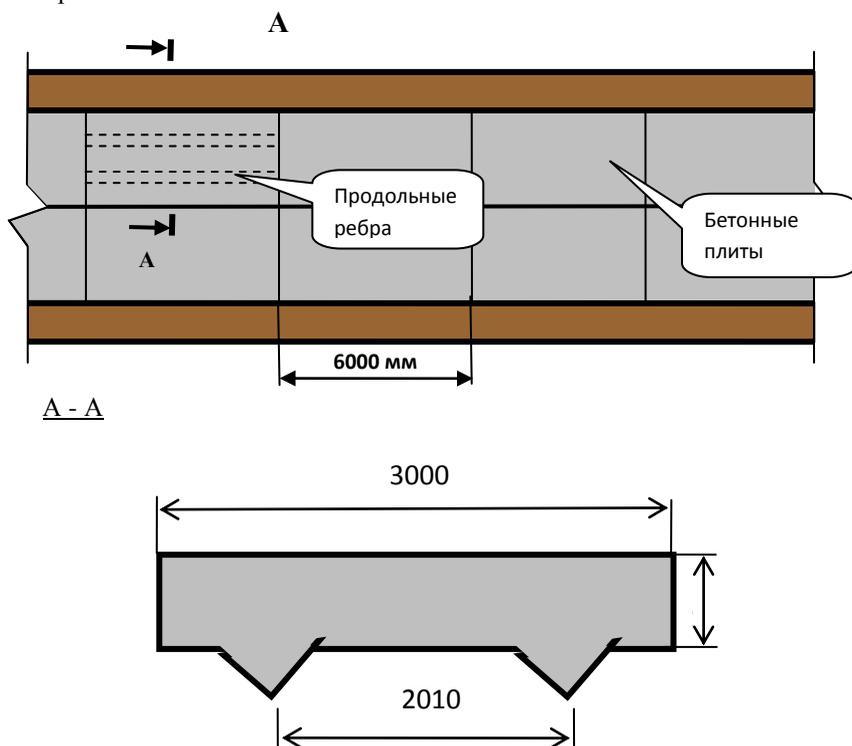


Рис. 1 – Поперечный разрез плиты с продольными ребрами

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 узлов и 18943 конечных элементов типа параллелепипед и треугольная призма. Упругое основание моделировалось упругими вертикальными связями, находящимися в каждом нижнем узле [7,8]. Жесткость каждой связи подсчитывалась по формуле [9,10]:

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

где E_0, ν_0 – усредненный модуль упругости и коэффициент Пуассона цементогрунта;

N – число нижних узлов конечно-элементной модели;

K – для плиты размерами 6х3 м принят равным 0,9 согласно [7];

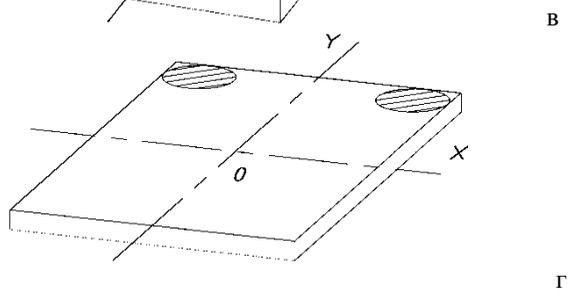
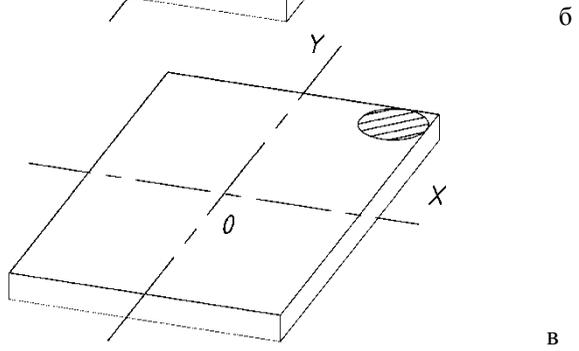
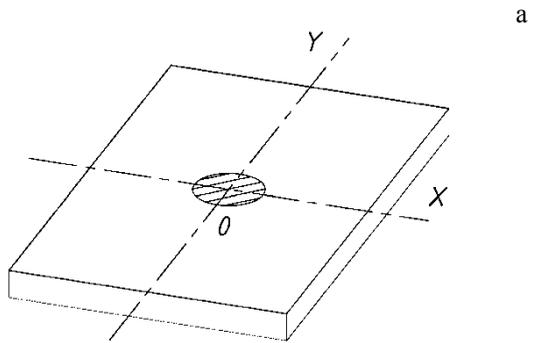
F – площадь нижней поверхности плиты.

Рассчитывалась железобетонная плита размерами в плане 3000×6000мм и толщиной 180мм, изготовленная из бетона марки по морозостойчивости F150 с ненапрягаемой арматурой. В качестве основания рассматривался цементогрунт. Нагружалась плита колесом расчетного автомобиля в виде гибкой квадратной нагрузки эквивалентной площади круга диаметром 0,41м. Величина равномерно распределенной нагрузки составляет 0,6 МПа.

Для определения оптимальной формы поперечного сечения продольного ребра, исследовались следующие его формы: прямоугольная, овальная (полукруг) и треугольная (рисунок 1). Площадь поперечного сечения ребра во всех случаях была одинаковой.

Рассматривались 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 находящейся в начале (или конце) плиты (рис. 2в);
- 4) два штампа приложены одновременно на линии перпендикулярной продольной оси плиты и проходящей через ее центр (рис. 2г).



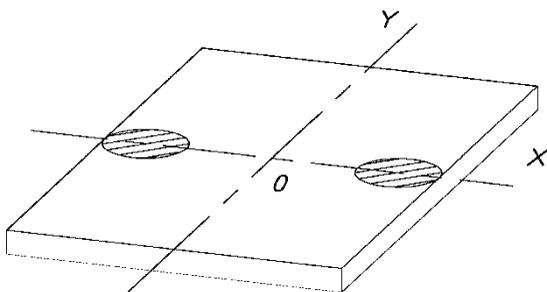


Рис. 2 – Схемы загрузки плиты

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. плиты не имеющей продольных ребер.

Полученные результаты представлены в таблице 1.

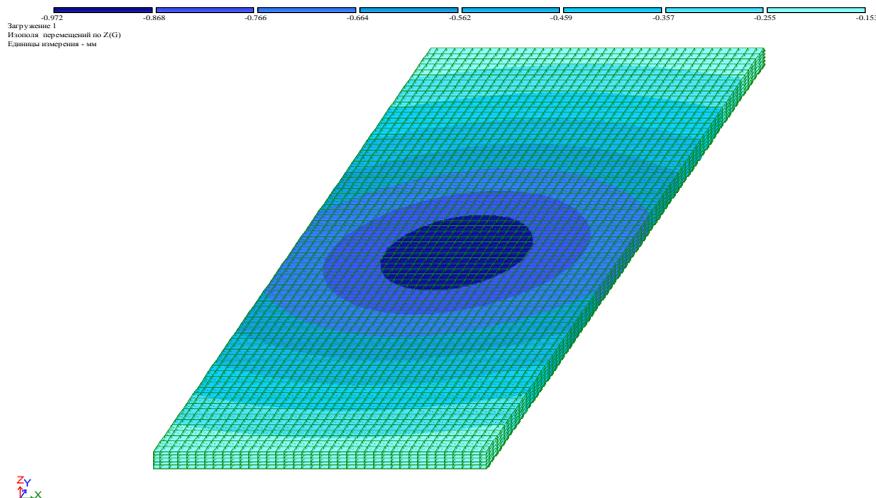
Таблица 1

Перепад высот поверхности различных типов плит под нагрузкой

Схема нагружения плиты	Форма поперечного сечения продольных ребер	Деформация плиты			
		Максимальное значение	Минимальное значение	Перепад высот	Увеличение жесткости плиты, %
1	без ребер	-0,972	-0,153	0,8119	0
	прямоугольн.	-0,827	-0,3	0,527	35
	овальная	-0,717	-0,225	0,492	39
	треугольная	-0,658	-0,212	0,446	45
2	без ребер	-4,41	-0,171	4,239	0
	прямоугольн.	-3,3	-0,0345	3,266	29
	овальная	-2,82	-0,0377	2,782	34
	треугольная	-2,6	-0,033	2,567	39
3	без ребер	-4,07	-0,059	4,011	0
	прямоугольн.	-2,93	-0,0807	2,849	29
	овальная	-2,43	-0,0875	2,343	42
	треугольная	-2,0	-0,00141	1,999	50
4	без ребер	-1,61	-0,0104	1,599	0
	прямоугольн.	-1,16	-0,31	0,85	47
	овальная	-0,955	-0,239	0,716	55
	треугольная	-0,793	-0,215	0,578	64

Из таблицы 1 видно, что наиболее оптимальной формой поперечного сечения продольных ребер с точки зрения увеличения жесткости плиты является треугольная форма. Перепады высот у такой плиты оказались наименьшими. По сравнению с плитой без продольных ребер жесткость увеличивается на 39 - 64 % в зависимости от схемы загрузки.

На рис. 2 приведены вертикальные перемещения плиты с продольными ребрами треугольного поперечного сечения и плиты не имеющей продольных ребер, например, при схеме загрузки 1.



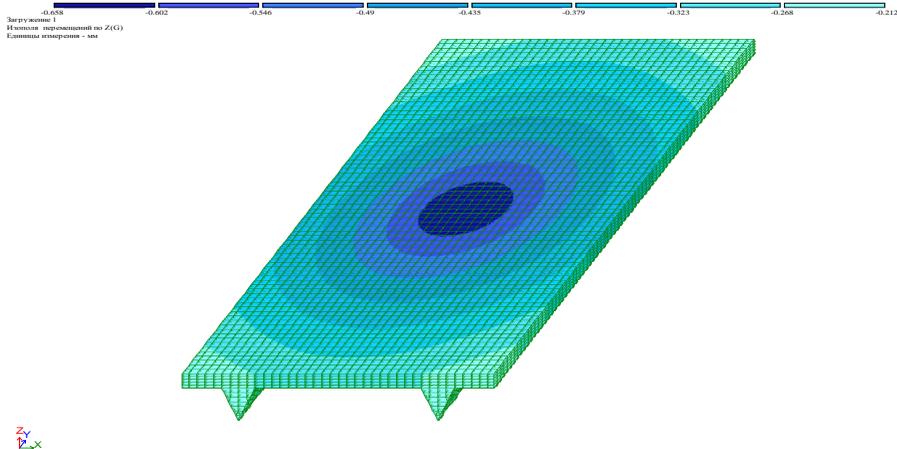


Рис. 2 – Вертикальные перемещения плиты

После определения оптимальной формы поперечного сечения продольного ребра, определена зависимость жесткости плиты от высоты продольных треугольных ребер. При постоянном объеме плиты и постоянном 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. Результаты представлены на графике рисунка 3.

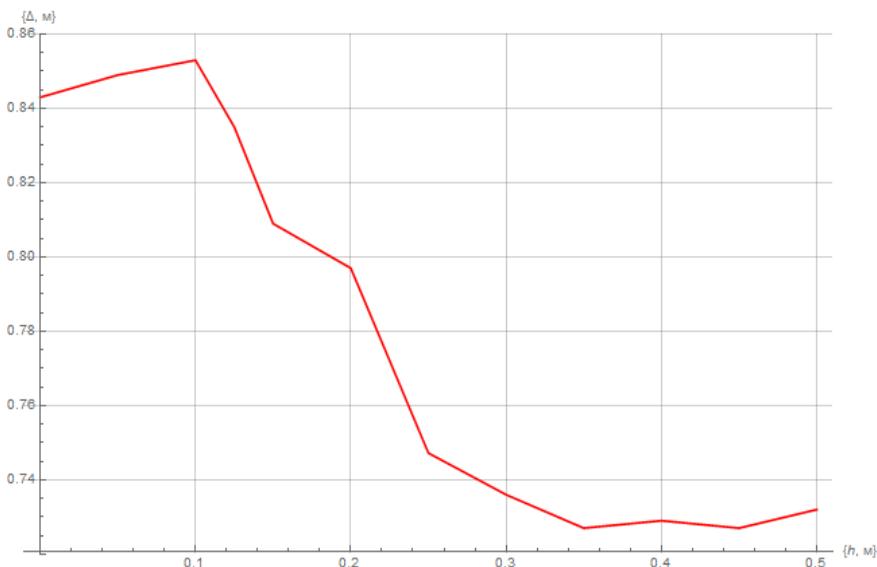


Рис. 3 – График зависимости перепада высот поверхности плиты Δ от высоты поперечного сечения продольного ребра h при схеме загрузки 1

Руководствуясь графиком рис.1, для данного объема и размера плиты оптимальной высотой поперечного сечения продольного ребра можно считать 25см. При других геометрических размерах плиты результаты могут быть иными.

Выводы

В результате проведенных исследований жесткости плит с продольными ребрами различного поперечного сечения и сравнение ее с жесткостью плиты не имеющей продольных ребер установлено, что наличие продольных ребер увеличивают жесткость плиты в среднем на 50 %. Наиболее оптимальной формой поперечного сечения продольных ребер является треугольная форма. Перепады высот у такой плиты наименьшие. По сравнению с плитой без продольных ребер жесткость увеличивается на 39 - 64 % в зависимости от схемы загрузки.

Для данного объема и размера плиты оптимальной высотой поперечного сечения продольного ребра можно считать 25см.

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.

Список использованной литературы

[1] Бабков В.Ф. Проектирование автомобильных дорог. – Часть 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 // Наука и техника. – 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 – Одесса: ОНМУ, 2007. – 110 с.

[6] Хатунцев А.А., Попов, А.Н., Макаров, Е.В., Бураков, А.В. Метод конечных элементов как аппарат для расчета многослойных аэродромных покрытий. Проблемы и технологии инженерно-аэродромного обеспечения войск: сборник научных статей по материалам докладов XXIII межвузовской НПК «Перспектива-2013». – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2013. – С. 119–124.

[7] Горбунов-Посадов М.И., Маликова, Т.А., Соломин, В.И. Расчет конструкций на упругом основании. – М.: Стройиздат, 1984. – 639 с.

[8] Жемочкин Б.Н., Сеницын, А.П. Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании. – М.: Стройиздат, 1962. – 239 с.

[9] Ржаницын А.Р. Строительная механика. – М.: Высшая школа, 1991. – 439 с.

[10] Босаков С.В. Статические расчеты плит на упругом основании. – Минск: БНТУ, 2002. – 128 с.