

**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.

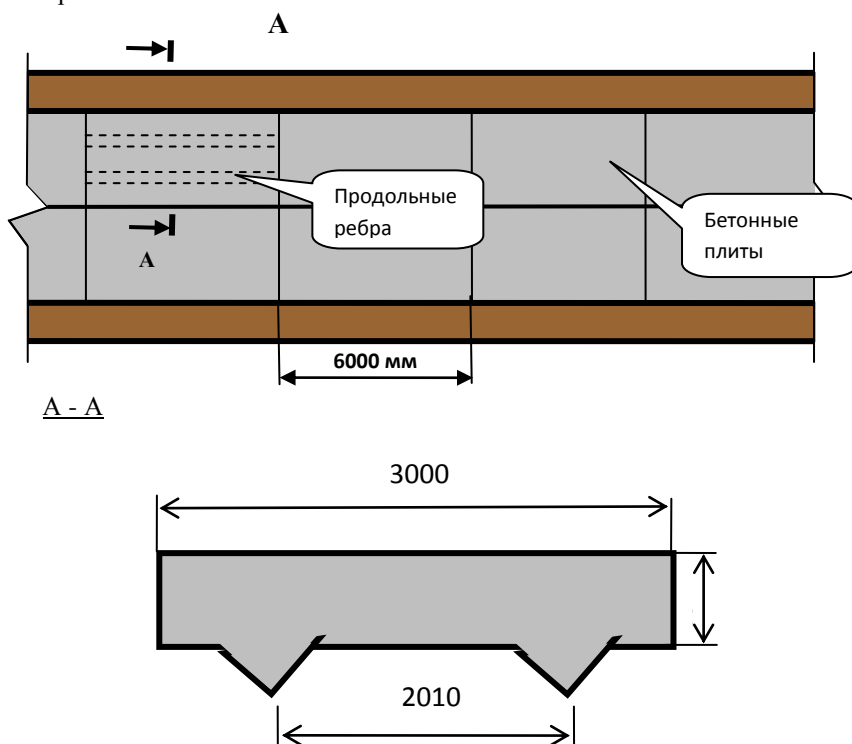
В настоящее время, на взгляд автора, сборные бетонные покрытия в Республике Беларусь приобретают особую актуальность, поскольку руководством страны поставлена задача за 3-4 года повысить качество сети местных дорог, протяженность которых составляет более 71 тысяч километров. В значительной степени такие 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  $E_0, \nu_0$  – 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];

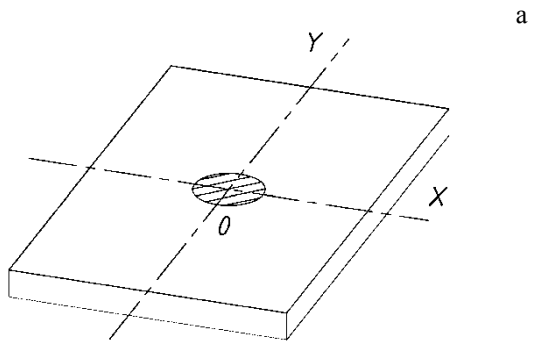
$F$  – площадь нижней поверхности плиты.

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.

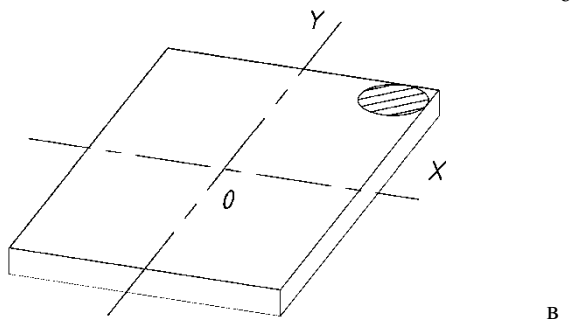
Для определения оптимальной формы поперечного сечения продольного ребра, исследовались следующие его формы: прямоугольная, овальная (полукруг) и треугольная (рисунок 1). Площадь поперечного сечения ребра во всех случаях была одинаковой.

Рассматривались четыре схемы загрузки плиты:

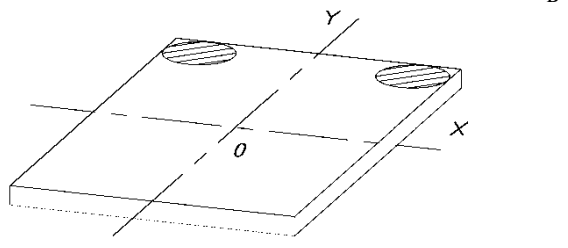
- 1) штамп приложен посередине плиты (рис. 2а);
- 2) штамп приложен на углу плиты (рис. 2б);
- 3) два штампа приложены одновременно на линии перпендикулярной продольной оси плиты и находящейся в начале (или конце) плиты (рис. 2в);
- 4) два штампа приложены одновременно на линии перпендикулярной продольной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



a

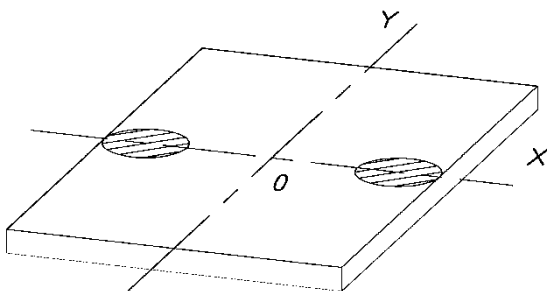


б



в

г



**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.

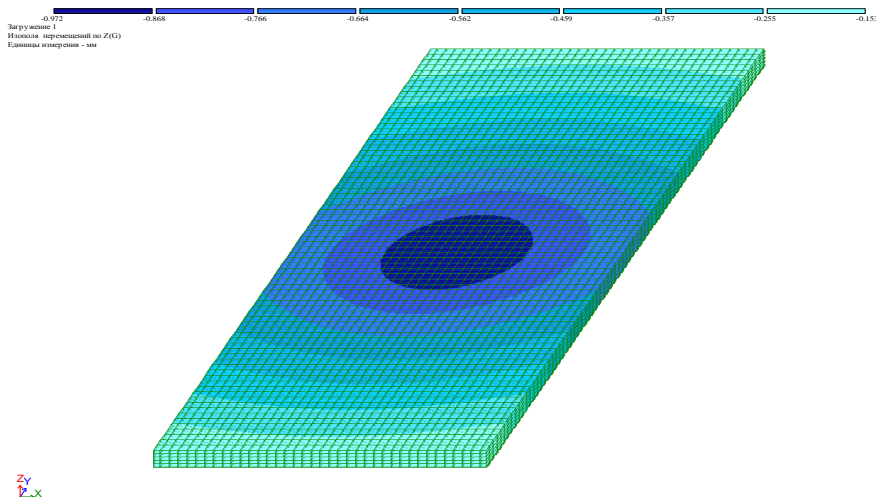
*Таблица 1*

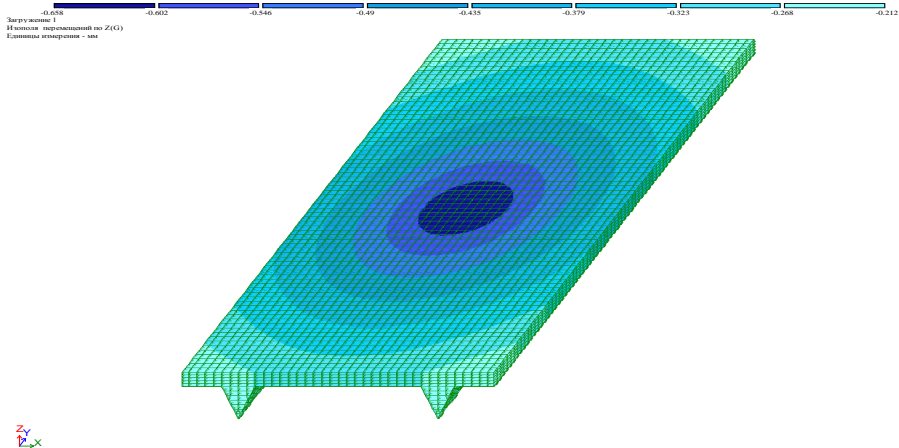
**Перепад высот поверхности различных типов плит под нагрузкой**

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.



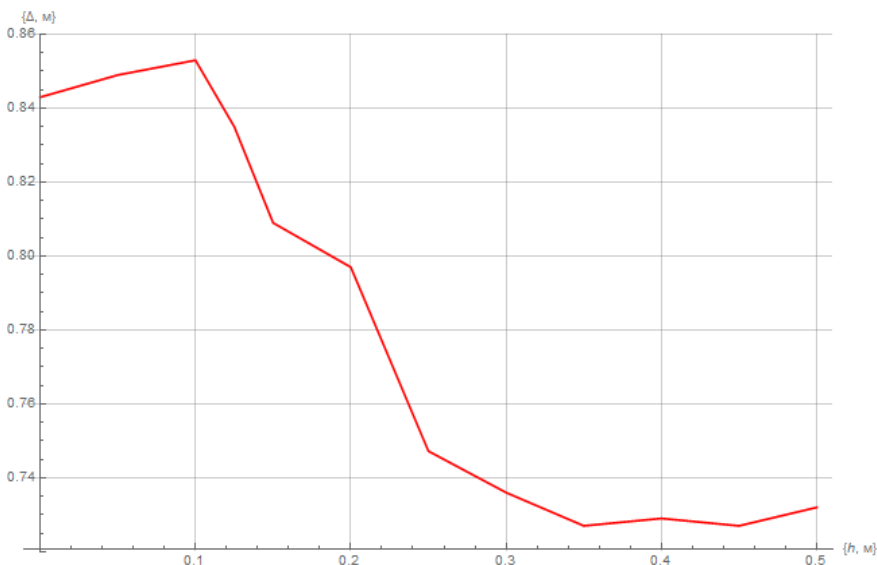


***Рис. 2 – Вертикальные перемещения плиты***

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  $\Delta$  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.