

УДК 624.159.14

*С. Д. Семенюк, Р. В. Кумашов*

## СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПОКРЫТИЙ СЕРИИ БЗ.503.1-1 ДЛЯ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

UDC 624.159.14

*S. D. Semeniuk, R. V. Kumashov*

## STATIC CALCULATION OF REINFORCED CONCRETE PAVING SLABS OF THE B3.503.1-1 SERIES FOR PERMANENT AND TEMPORARY MOTOR ROADS

### **Аннотация**

Железобетонные плиты покрытий рассчитываются как плоскостные конструкции на упругом основании под воздействием эксплуатационных нагрузок от колесных и гусеничных машин. При этом для плит временных дорог рассматривается 16 вариантов загрузки, для плит постоянных дорог – 12 вариантов. Приведены опалубочные чертежи и схемы армирования плит. Представлены расчетные схемы для наименее выгодных условий эксплуатации; даны эпюры и численные значения реактивных давлений, распределение осадок, изгибающих и крутящих моментов, поперечных сил.

### **Ключевые слова:**

плита покрытия, упругое основание, класс бетона, армирование, дорога, метод Б. Н. Жемочкина, расчетная схема, контакт, эпюра, каноническое уравнение.

### **Abstract**

Reinforced concrete paving slabs are calculated as two-dimensional structures on an elastic foundation under the action of working loads that come from wheeled and tracked vehicles. Sixteen options of loading are studied for slabs of temporary roads, and twelve options of loading are considered for slabs of permanent roads. Drawings of formwork and slabs reinforcement are given. Design diagrams for the worst operating conditions are presented; diagrams and numerical values of reaction pressures are given, as well as the distribution of soil settlements, bending and torsional moments and shear forces.

### **Key words:**

paving slab, elastic foundation, concrete class, reinforcement, motor road, B. N. Zhemochkin method, design model, contact, diagram, canonical equation.

### **Введение**

Железобетонные плиты покрытий серии БЗ.503.1-1 для автомобильных дорог предназначены для использования в едких и водонасыщенных грунтах со слабо- и среднеагрессивными водами. Они применяются при возведении временных дорог для объектов строительства, создания постоянных подъездных путей к предприятиям, подъезда к населенным пунктам в сельской местности, уда-

ленным от основных дорог на небольшое расстояние. Технология укладки железобетонных плит позволяет строить дороги абсолютно в любой местности и активно их использовать. К тому же по поверхности дорожных плит обычно укладывается асфальт, который защищает плиты и продлевает срок полезной эксплуатации дорожного полотна.

Неравномерные деформации основания и несимметричность приложе-

ния нагрузки приводят к возникновению в сечениях плит изгибающих и крутящих моментов, что отрицательно отражается на эксплуатационных характеристиках данных плит.

### Постановка задачи

Поиск рациональных решений, обеспечивающих повышение надежности и качества объектов строительства при минимальном использовании ресурсов на их устройство, является концептуальной стратегией современного строительства в Республике Беларусь, ближнем и дальнем зарубежье [1]. При расчете конструкций на упругом основании в проектных организациях Беларуси используется пакет прикладных программ «Ли́ра», где реализована модель упругого основания с двумя коэффициентами постели. Использование проектировщиками только одной модели упругого основания может повлиять на достоверность результатов, т. к. принятая в пакете прикладных программ «Ли́ра» модель основания далеко не полностью отражает свойства всех грунтов [2].

Реализация стратегии современного проектирования и возведения полот-

на дорог в полной мере зависит не только от правильного учета данных о конструктивных особенностях железобетонной плиты покрытия, но и от адекватного отражения особенностей поведения грунтового основания, воспринимающего нагрузку и работающего совместно с покрытием, что предопределяет актуальность исследования.

Цель работы: используя метод Б. Н. Жемочкина и метод В. Ритца, предложить практический способ расчета железобетонных плит дорожного покрытия на упругом основании.

### Характеристики плит покрытий и оснований

Плиты обозначены марками: 1ППЗ0.18-30 – плита покрытий с ненапрягаемой арматурой для постоянных дорог, прямоугольная, размером 3000×1750×170 мм, рассчитанная на нагрузку 300 кН; 2ППЗ0.18-30 – плита покрытий с ненапрягаемой арматурой для временных дорог, прямоугольная, размером 3000×1750×170 мм, рассчитанная на нагрузку 300 кН. Опалубочные чертежи и схемы армирования плит приведены на рис. 1.

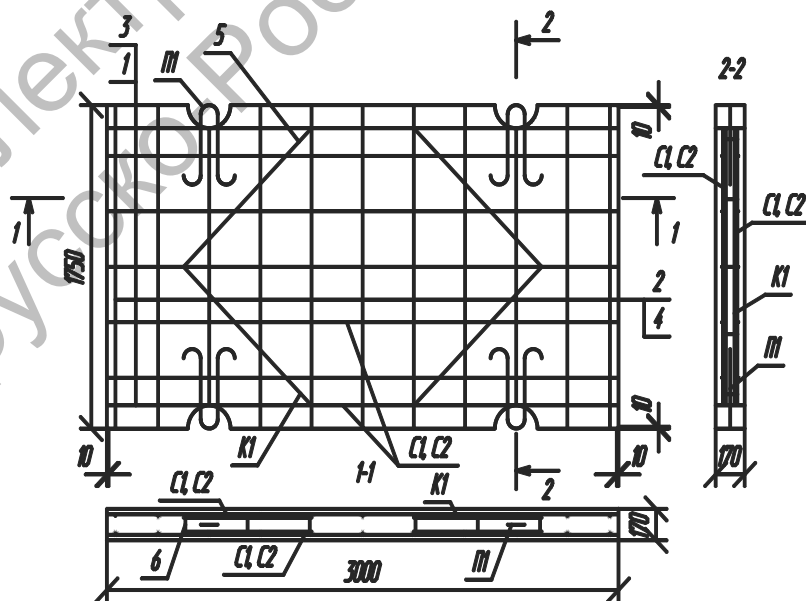


Рис. 1. Опалубочные чертежи и схемы армирования железобетонных плит для покрытий автомобильных дорог марок 1ППЗ0.18-30, 2ППЗ0.18-30

Для плит временных дорог используется бетон класса С18/22,5, для плит постоянных дорог – С25/30. Плиты армированы верхней и нижней сетками (С1, С2) из стали класса S400. Сетки соединены между собой при помощи двух Г-образных каркасов К1 из стали S500.

Сборочные единицы для плиты дорожной 1ПП30.18-30: сетка арматурная С1 – 2 шт., каркас плоский К1 – 2 шт., петля П1 – 4 шт. Сетка С1 армирована 7Ø12 S400 длиной 2980 мм в продольном направлении и 11Ø10 S400 длиной 1730 мм в поперечном направлении. Каркас К1 армирован 2Ø5 S500 длиной 2100 мм и 5Ø5 S500 длиной 95 мм в поперечном направлении с шагом 500 мм. При выполнении пространственного армирования и соединения сеток С1 каркас изгибают посередине

длины до угла 90°.

Сборочные единицы для плиты дорожной 2ПП30.18-30: сетка арматурная С2 – 2 шт., каркас плоский К1 – 2 шт., петля П1 – 4 шт. Сетка С2 армирована 7Ø10 S400 длиной 2980 мм в продольном направлении и 11Ø8 S400 длиной 1730 мм в поперечном направлении. Каркас К1 принимается таким же, как и для плиты 1ПП30.18-30.

Плиты рассчитаны как конструкции на упругом основании. Под плиты временных дорог основание принято естественным песчаным (рис. 2, а) с модулем деформации  $E_0 = 25$  МПа; коэффициент Пуассона  $\nu_0 = 0,3$ . Основание под плиты постоянных дорог выполнено из фракционированного щебня, песка, устроенного по грунту основания земляного полотна (рис. 2, б).

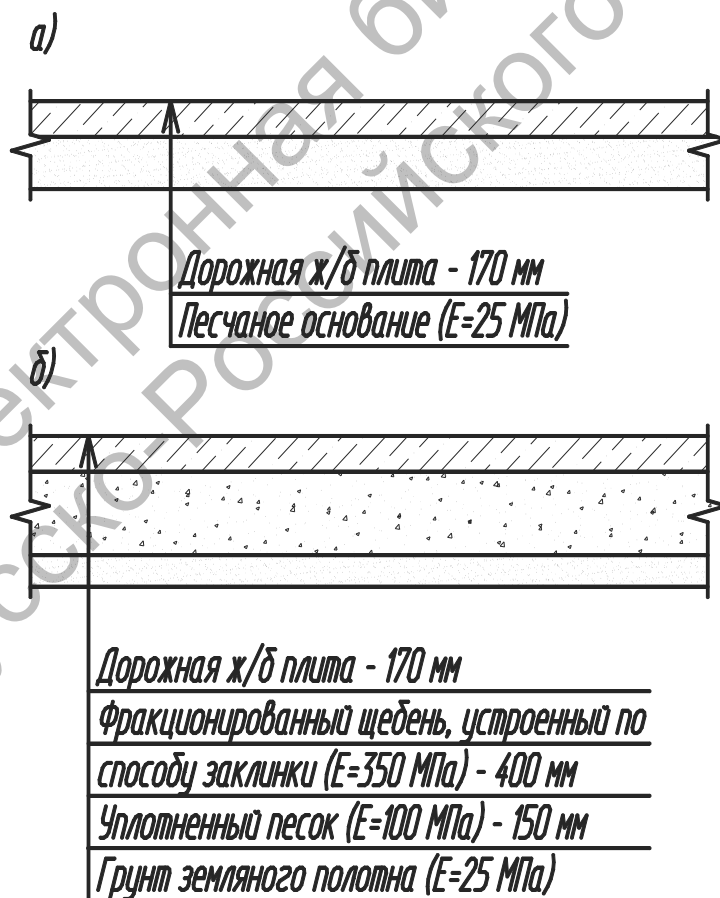


Рис. 2. Конструкция основания под плиты: а – временных дорог, б – постоянных дорог

Эквивалентный модуль деформации основания плит постоянных дорог

вычислен по формуле [3]

$$E_0^э = \frac{\left[ 1,05 - 0,1 \cdot \frac{h_i}{D} \cdot \left( 1 - \sqrt[3]{\frac{E_{общ}}{E_i}} \right) \right] \cdot E_i}{0,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{E_{общ}}{E_i}} \cdot \arctg\left(\frac{1,35 \cdot h_э}{D}\right) + \frac{E_i}{E_{общ}} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \arctg\left(\frac{D}{h_э}\right)};$$

$$\frac{h_э}{D} = \frac{2 \cdot h_i}{D} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_{общ}}{6 \cdot E_i}},$$

где  $i$  – номер рассматриваемого слоя;  $h_i$  – толщина  $i$ -го слоя;  $D$  – диаметр нагруженной площади;  $E_{общ}$  – общий модуль упругости полупространства, подстилающего  $i$ -й слой;  $E_i$  – модуль деформации  $i$ -го слоя.

Для плит временных дорог рассматривается 16 вариантов загрузки, для плит постоянных дорог – 12.

В качестве расчетного автомобиля принят самосвал МЗКТ 651510. Полная масса автомобиля составляет 46,4 т, грузоподъемность – 30 т. Статическая нагрузка на переднюю и заднюю оси составляет 8,2 и 15,0 т соответственно. В качестве расчетной гусеничной техники принята буровая установка фирмы «Сойлмек» (Soilmec) с шириной гусеницы 600 мм и давлением на основание 140 кПа.

Динамическая нагрузка на плиты временных и постоянных дорог от расчетного автомобиля собрана в соответствии с [4, приложение Б] и составляет  $Q_{др} = 195$  кН на колесо задней оси и  $Q_{др} = 106,6$  кН на колесо передней оси. Диаметр отпечатка колеса  $D = 0,41$  м [4, приложение Б]. Статическая нагрузка от расчетной гусеничной техники на плиты временных дорог  $q_p = 140$  кПа. Ширина гусеницы принята  $t = 600$  мм.

### Алгоритм расчета

Расчет выполнялся с помощью метода Б. Н. Жемочкина. Плита разбивалась на  $m \times n = 15 \times 7$  прямоугольных участков Б. Н. Жемочкина (рис. 3).

В середине каждого участка прикладывали единичную сосредоточенную силу. Для определения коэффициентов канонических уравнений метода Б. Н. Жемочкина задавались функцией прогибов прямоугольной плиты с защемленной в начале координат нормалью в виде особого решения и совокупности частных решений Клебша [2]. После чего определяли свободные члены  $S$  и неизвестные коэффициенты  $A, B$  системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) 8-го порядка при учете двух групп частных решений Клебша. По заданной функции прогибов и с учетом коэффициентов  $A, B$  находили коэффициенты  $\delta$  канонических уравнений метода Б. Н. Жемочкина. В результате решения СЛАУ метода Б. Н. Жемочкина получили реактивные усилия, по которым определили реактивное давление под плитой и осадки основания. По известным осадкам основания найдены внутренние усилия, возникающие в плите (изгибающие и крутящие моменты, поперечные силы).

Как видно из табл. 1 и 2, наиболее опасным является краевое по  $OX$  и  $OY$  (рис. 4...6) нагружение плит колесной нагрузкой (задняя ось).

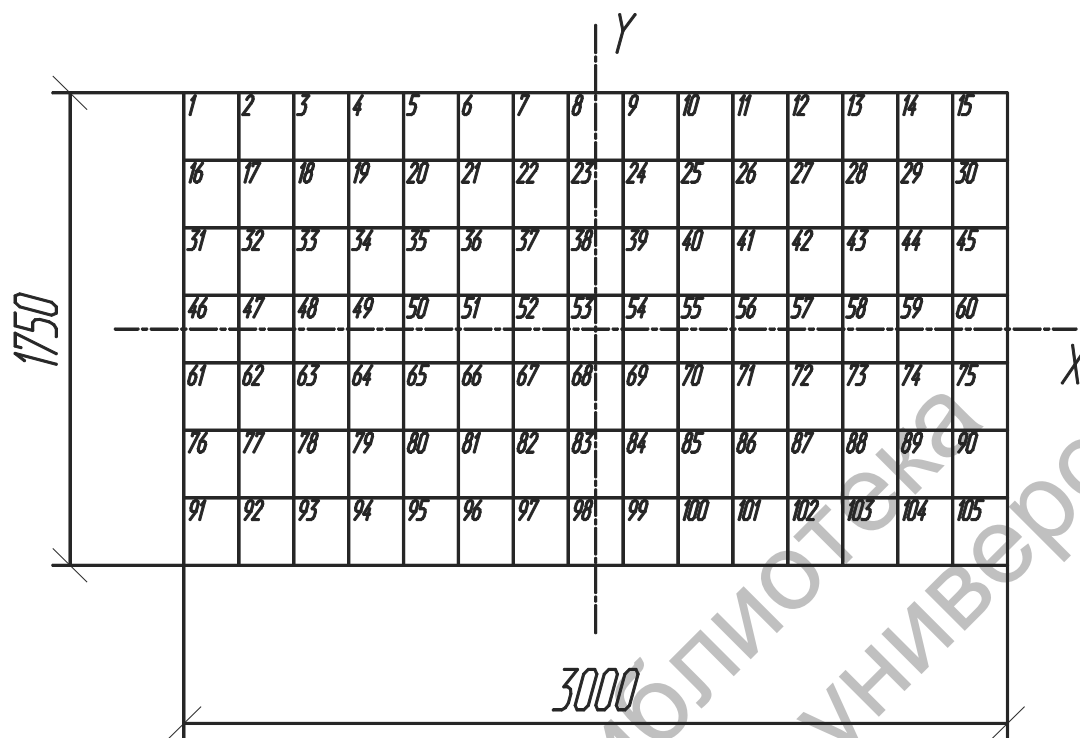


Рис. 3. Нумерация участков на прямоугольной плите

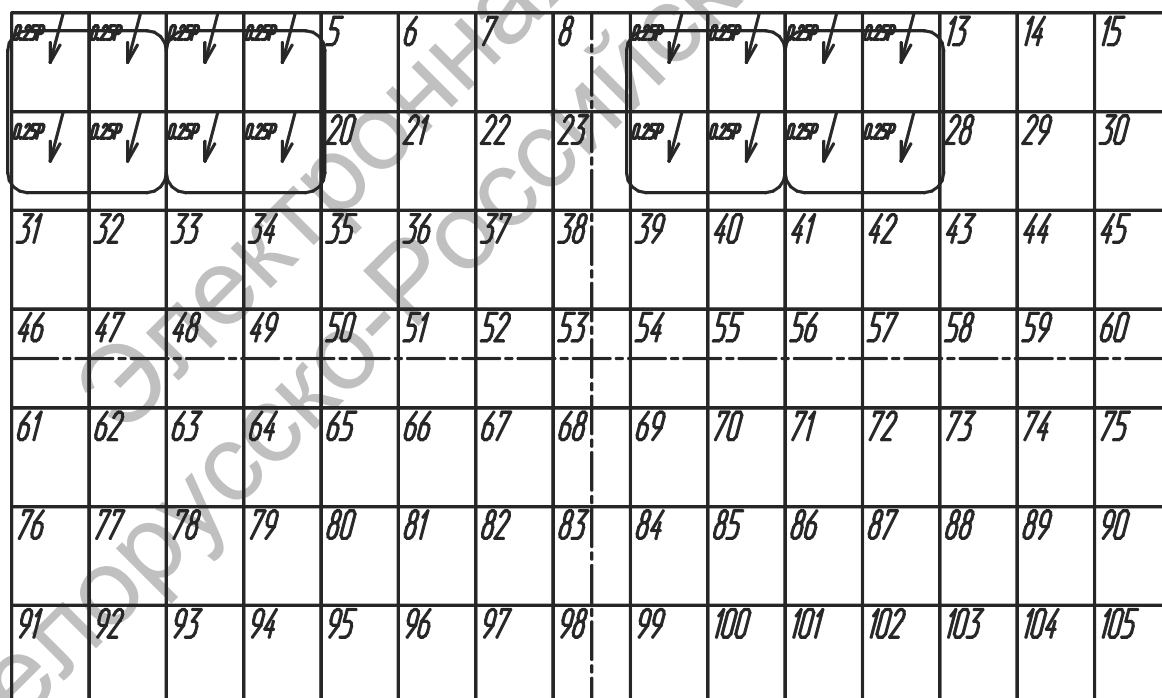


Рис. 4. Расчетная схема при краевом по ОХ и ОУ загрузении колесной нагрузкой (задняя ось) плит временных и постоянных дорог

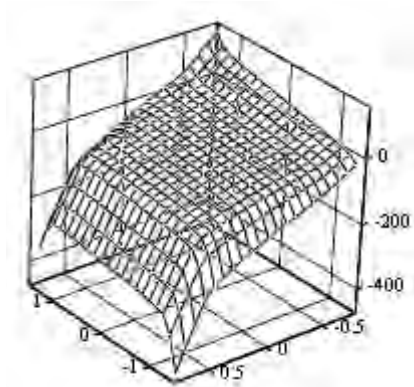
Табл. 1. Сводная таблица результатов расчета плит временных дорог (2ППЗ0.18-30)

Загружение	Максимальное значение									
	R, кН	P, кПа	S, мм	M <sub>к</sub> , кН	M <sub>ср</sub> , кН	M <sub>сп</sub> , кН	Q <sub>к</sub> , кН/м	Q <sub>с</sub> , кН/м	Q <sub>з</sub> , кН/м	
<i>Заднее колесо</i>										
Центральное	4,51657233	90,33144655	2,86190504	2,64594278	-2,93690813	2,65067549 · 10 <sup>-11</sup>	3,38497477	3,38497477	3,91452601	
Краевое по ОУ	10,67965339	213,59306789	4,57554264	4,84614903	-5,10659303	8,43441385	-113,9753044	-113,9753044	10,53238652	
Краевое по ОХ	10,44791327	208,95826539	4,9538471	15,84129948	-23,20573181	9,89320542	147,88476203	147,88476203	-28,46458692	
Краевое по ОХ и ОУ	14,85328364	297,06567288	6,21636565	18,25529821	-25,45458885	46,19523763	632,44037192	632,44037192	-35,65380845	
<i>Задняя ось</i>										
Краевое по ОХ	12,02074174	240,41483479	6,53017849	13,21616451	-19,87754378	4,4538033	78,03529467	78,03529467	25,69111724	
Краевое по ОХ и ОУ	22,97231588	459,44631756	9,89966949	19,91216876	-25,3202331	47,47284989	-637,656533	-637,656533	27,84032637475	
<i>Переднее колесо</i>										
Центральное	2,47673189	49,53463785	1,5597075	1,3264646	-1,45797172	1,42086603 · 10 <sup>-11</sup>	1,71839088	1,71839088	-1,91847674	
Краевое по ОУ	5,84863469	116,97269374	2,49585598	2,65764164	-2,65880387	4,38473857	-59,25029795	-59,25029795	5,66540365	
Краевое по ОХ	6,26204281	125,24085626	2,91805811	10,89233269	-14,64262727	6,10551108	92,23546367	92,23546367	17,88176826	
Краевое по ОХ и ОУ	8,47727949	169,54558981	3,56512888	12,78641568	-16,54087097	30,63676812	422,41373849	422,41373849	-22,18055735	
<i>Передняя ось</i>										
Краевое по ОХ	6,44927503	128,98550051	3,58955694	8,47464292	-11,95591149	2,08781109	40,18659788	40,18659788	15,58252327	
Краевое по ОХ и ОУ	12,34322037	246,86440739	5,45818931	12,90227247	-15,67557218	31,27972273	-420,8633229	-420,8633229	16,53362774	
<i>Гусеничная нагрузка</i>										
Центральное вдоль ОУ	3,45937824	69,18756487	2,1201103	1,18345174	-1,06337011	1,86156552 · 10 <sup>-11</sup>	1,53200155	1,53200155	1,13781915	
Краевое по ОХ	8,27736194	165,5472388	3,93101209	12,78706839	-19,05100583	8,98291056	131,09952454	131,09952454	23,01524477	
Центральное вдоль ОХ	5,51432985	110,28659694	3,85935407	7,00911289	-7,93140026	3,40690359 · 10 <sup>-10</sup>	-8,7407097	-8,7407097	-10,83339731	
Краевое по ОУ	11,77865833	235,57316654	5,66846764	8,414916	-10,42442319	16,11717019	-217,83166626	-217,83166626	13,5459704	

Табл. 2. Сводная таблица результатов расчета плит постоянных дорог (ППЗ0.18-30)

Загружение	Максимальное значение							
	R, кН	P, кПа	S, мм	M <sub>s</sub> , кН	M <sub>y</sub> , кН	M <sub>xy</sub> , кН	Q <sub>s</sub> , кН/м	Q <sub>y</sub> , кН/м
<i>Заднее колесо</i>								
Центральное	4,25269421	85,05388426	0,244726429	1,19054459	-1,28579184	-3,16279197 · 10 <sup>-12</sup>	1,57629929	1,65215842
Краевое по ОУ	9,1547714	183,09542791	0,359284813	3,94921258	-3,95798416	6,51219097	-87,98872891	9,21875001
Краевое по ОХ	8,69462523	173,89250456	0,422374515	13,87370997	-16,62284149	8,43243226	123,13636786	19,86331978
Краевое по ОХ и ОУ	17,5402947	350,80589395	0,496446954	16,74530518	-20,39170821	30,4873365	415,2715738	-24,45700219
<i>Задняя ось</i>								
Краевое по ОХ	13,04664656	260,93293126	0,623260276	8,63839535	-12,11467601	3,86817	62,35380919	-15,18857863
Краевое по ОХ и ОУ	21,88417646	437,68352912	0,879910146	16,90511748	-19,06459929	35,12692975	-471,23592308	23,87112280842
<i>Переднее колесо</i>								
Центральное	2,24621195	44,92423896	0,131672829	0,58679207	-0,62066086	1,78114253 · 10 <sup>-12</sup>	0,79643003	0,77428546
Краевое по ОУ	5,06912429	101,38248582	0,193820229	2,17673504	-2,1005848	3,3833515	-45,71262932	4,90874482
Краевое по ОХ	5,4927217	109,85443398	0,255397858	9,50012426	-10,43309819	5,23293622	77,04422075	-12,3800026
Краевое по ОХ и ОУ	10,12218961	202,44379213	0,297535904	11,6037985	-13,16118117	21,37372581	-284,25189555	-15,01147379
<i>Передняя ось</i>								
Краевое по ОХ	8,06073351	161,21467018	0,3664142	5,32467961	-7,01196956	1,85414811	-23,65860597	-8,85940268
Краевое по ОХ и ОУ	13,29645384	265,92907683	0,516927918	10,77378299	-11,48115039	23,68887002	-318,44779901	14,06786228

а)



б)

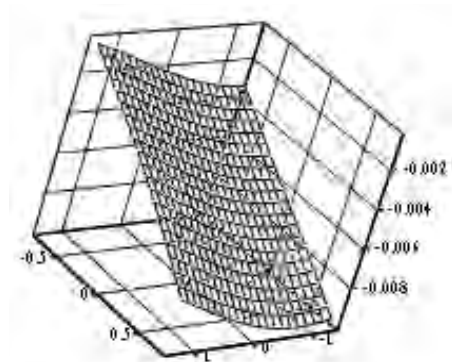
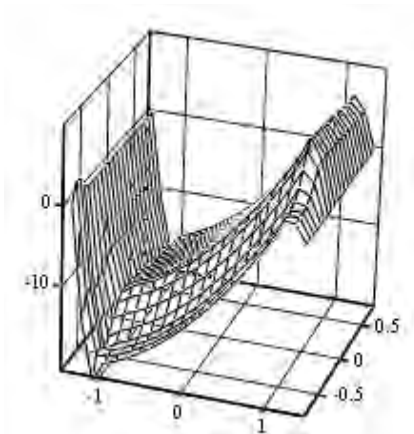
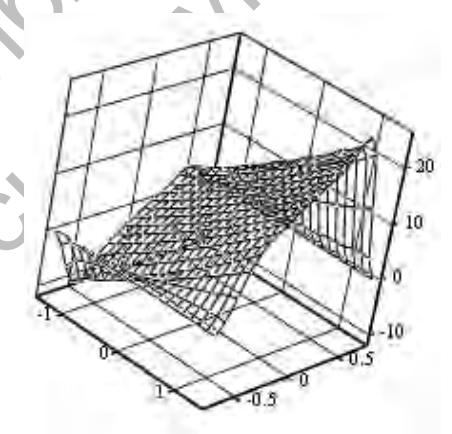


Рис. 5. Эпюры реактивных давлений (а) и распределение осадок (б), возникающих под плитами временных и постоянных дорог при краевом по ОХ и ОУ нагружении колесной нагрузкой (задняя ось)

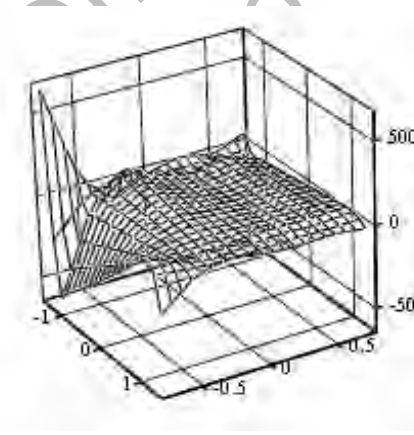
а)



б)



в)



г)

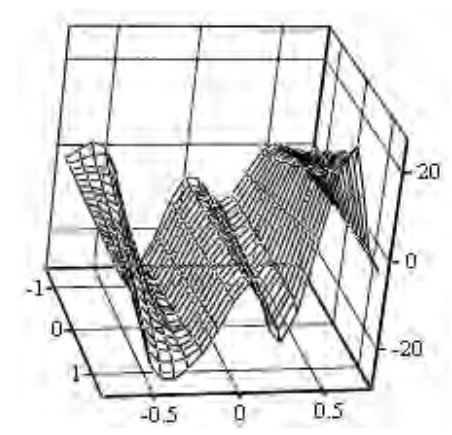
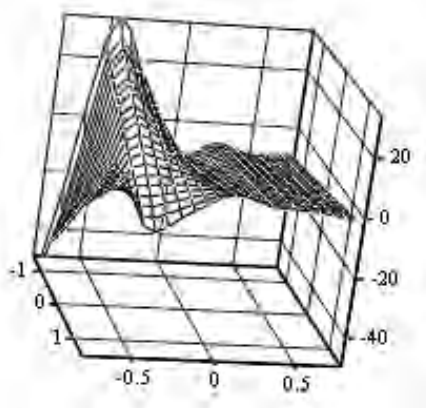


Рис. 6. Эпюры внутренних усилий, возникающие в плитах временных и постоянных дорог при краевом по ОХ и ОУ нагружении колесной нагрузкой (задняя ось): а – эпюра изгибающих моментов  $M_x$ ; б – эпюра изгибающих моментов  $M_y$ ; в – эпюра поперечных сил  $Q_x$ ; г – эпюра поперечных сил  $Q_y$ ; д – эпюра крутящих моментов  $M_{xy}$



д)



Окончание рис. 6

### Выводы

Проведенные исследования показывают, что при эксплуатации железобетонные плиты временных и постоянных дорог испытывают не только изгибающие моменты и поперечные силы в двух ортогональных направлениях, но и крутящие моменты. При этом избежать совместного воздействия крутящего и изгибающего моментов невозможно, т. к. переданные нагрузки на

плиту от колес автомобиля будут вне оси симметрии конструкции и не исключается вероятность образования выбоин, воронок и других дефектов под основанием плиты. В связи с этим несущую способность плит по заданному армированию и классу бетона необходимо проверять на прочность нормальных и наклонных сечений, а также на совместное воздействие крутящего и изгибающего моментов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенюк, С. Д. Железобетонные пространственные фундаменты жилых и гражданских зданий на неравномерно деформированном основании : монография / С. Д. Семенюк. – Могилев : Беларус.-Рос. ун-т, 2003. – 269 с.
2. Босаков, С. В. Статические расчеты плит на упругом основании / С. В. Босаков. – Минск : БНТУ, 2002. – 128 с.
3. ВСН 46-83. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. – М. : Транспорт, 1985. – 157 с.
4. ТКП 45-3.03-244-2011 (02250). Автомобильные дороги. Дорожные одежды жесткого типа. Строительные нормы проектирования. – Минск : Минстройархитектуры РБ, 2012. – 60 с.

Статья сдана в редакцию 18 сентября 2015 года

**Славик Денисович Семенюк**, д-р техн. наук, Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-297-43-38-72.

**Роман Владимирович Кумашов**, аспирант, Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-293-06-21-18.

**Slavik Denisovich Semeniuk**, DSc (Engineering), Belarusian-Russian University. Phone: +375-297-43-38-72.

**Roman Vladimirovich Kumashov**, PhD student, Belarusian-Russian University. Phone: +375-293-06-21-18.