

УДК 624.159.14

**СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ДОРОГИ С ПОРОГОВЫМИ НЕРАВНОСТЯМИ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА РУПП «БЕЛОРУССКИЙ АВТОМОБИЛЬНЫЙ ЗАВОД»\***

**STATIC CALCULATION REINFORCED CONCRETE SLABS OF THE ROAD WITH THRESHOLD IRREGULARITIES OF THE TESTING GROUND RUPP «BELARUSIAN AUTOMOBILE PLANT»**

**Кумашов Р.В., аспирант** (Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Республика Беларусь).

**Kumashov R.V., postgraduate student** (Belarusian-Russian University, Mogilev, Republic of Belarus).

**В статье приведены методика и результаты статического расчета плит на упругом основании дороги с пороговыми неровностями испытательного полигона РУПП «Белорусский автомобильный завод», предназначенных для проведения испытаний большегрузных карьерных самосвалов грузоподъемностью 500 тонн.**

**The article presents the methodology and results of static calculation slabs on elastic foundation of the road with threshold irregularities of the testing ground RUPP «Belarusian automobile plant». These slabs are designed for testing heavy-duty dump trucks with carrying capacity 500 tons.**

**Ключевые слова:** статический расчет, железобетон, покрытие, плиты, исследования, упругое основание, прочность, несущая способность.  
Static calculation, reinforced concrete, coating, slabs, research, elastic foundation, strength, bearing capacity.

**Введение.** Неравномерные деформации основания и несимметричность приложения нагрузки приводят к возникновению в сечениях плит изгибающих и крутящих моментов, что пагубно сказывается на эксплуатационных характеристиках данных плит. В общем случае плиты работают на поперечный изгиб с кручением, в частности – на поперечный изгиб. Поэтому требуется учитывать влияние каждого из воздействий на несущую способность железобетонных плитных конструкций при их проектировании и изготовлении.

---

\* – работа выполнена под научным руководством д.т.н., проф. Семенюка С.Д.

**Постановка проблемы.** Рассматривается влияние эксплуатационных нагрузок на распределение изгибающих и крутящих моментов на примере плит дороги с пороговыми неровностями испытательного полигона РУПП «БелАЗ». Длина всех плит – 6000 мм, толщина – 450 мм. Поперечное сечение плит показаны на рис. 1. Плиты имеют маркировку ППН-1; ППН-2; ППН-3; ППН-4. Буквенный индекс обозначает – «Плита пороговых неровностей»; цифровой – тип плиты, характеризующий поперечное сечение.

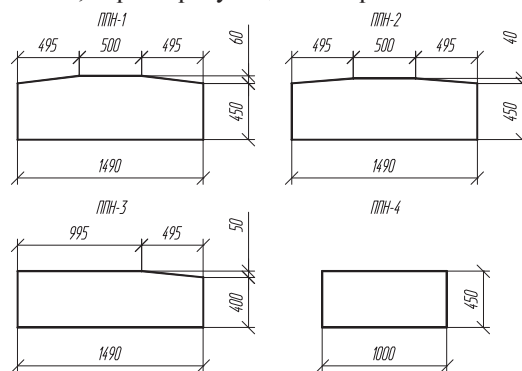


Рис. 1. Поперечное сечение плит

Плиты рассчитаны под нагрузку от карьерного самосвала грузоподъемностью 500 тонн. Нагрузка на полотно дороги в статике от одной оси самосвала 370 тонн, давление на поверхность дороги в статике 0.7 МПа. Плита рассчитана как конструкция на упругом основании. Основание под плиту выполнено из монолитного бетона класса С8/10 толщиной 300 мм, уложенного на уплотненный грунт песчано-гравийной смеси. Изготовление плит производилось из бетона класса С25/30; армирование – в виде сеток из стержней класса S400 диаметром 16...22 мм, связанных между собой при помощи П-образных хомутов с открьлками из стержней класса S240. Модуль деформации основания плит при расчете принят  $E_0 = 180 \text{ МПа}$ , коэффициент Пуассона основания  $\nu_0 = 0.3$ , начальный модуль упругости бетона естественного твердения  $E_p = 33.1 \text{ ГПа}$ . Коэффициент динамичности принят равным 2. Для плит рассматривалось 2 варианта загрузки: центральное и краевое.

**Алгоритм расчета.** Расчет выполнялся способом Б.Н. Жемочкина и методом Ритца [2]. Плиты разбивалась на  $m \times n = 20 \times 10$  (рис. 3) прямоугольных участков Б.Н. Жемочкина. В середине каждого участка прикладывали единичную сосредоточенную силу. Для определения коэффициентов канонических уравнений способа Б.Н. Жемочкина задавались

функцией прогибов прямоугольной плиты с защемленной в начале координат нормалью в виде особого решения и совокупности частных решений Клебша:

$$W(x, y) = W_0(x, y) + \sum_{n=1}^{\infty} A_n W_n(x, y)$$

$$W_0(x, y) = \frac{Pb^2}{16\pi D} \left\{ \left[ \left( \frac{x-t}{b} - \frac{t}{b} \right)^2 + \left( \frac{y-z}{b} - \frac{z}{b} \right)^2 \right] \ln \left[ \left( \frac{x-t}{b} - \frac{t}{b} \right)^2 + \left( \frac{y-z}{b} - \frac{z}{b} \right)^2 \right] + \right.$$

$$+ 2 \left( \frac{xt}{b^2} - \frac{yz}{b^2} \right) \times \left[ 1 + \ln \left( \frac{t^2}{b^2} + \frac{z^2}{b^2} \right) \right] - \left( \frac{t^2}{b^2} + \frac{z^2}{b^2} \right) \ln \left( \frac{t^2}{b^2} + \frac{z^2}{b^2} \right) -$$

$$\left. - \left( \frac{x^2}{b^2} + \frac{y^2}{b^2} \right) \ln \left( \frac{x^2}{b^2} + \frac{y^2}{b^2} \right) \right\}$$

$$W_1(x, y) = \frac{x^2}{b^2} - \frac{y^2}{b^2}, \quad W_2(x, y) = \frac{2xy}{b^2},$$

$$W_3(x, y) = \frac{x}{b} \left( \frac{x^2}{b^2} + \frac{y^2}{b^2} \right), \quad W_4(x, y) = \frac{y}{b} \left( \frac{x^2}{b^2} + \frac{y^2}{b^2} \right), \dots,$$

где  $W_0(x, y)$  – особое решение;

$W_n(x, y)$  – частное решение Клебша, априори удовлетворяющее уравнениями равновесия плиты с защемленной нормалью под действием сосредоточенной силы и кинематическим граничным условиям в защемлении;

$t, z$  – координаты точки приложения сосредоточенной силы;

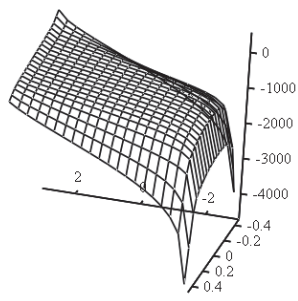
$A_n$  – неопределенные коэффициенты;

$b$  – некоторый линейный размер плиты.

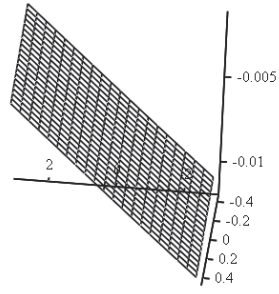
После чего определяли свободные члены  $S$  и неизвестные коэффициенты  $A, B$  СЛАУ 8-го порядка при учете двух групп частных решений Клебша. По заданной функции прогибов и с учетом коэффициентов  $A, B$  находили коэффициенты канонических уравнений способа Б.Н. Жемочкина  $\delta$ . В результате решения СЛАУ способа Б.Н. Жемочкина получили реактивные усилия, по которым определили реактивное давление под плитой и осадки основания. По известным осадкам основания находим внутренние усилия, возникающие в плите (изгибающие и крутящие моменты, поперечные силы). Результаты расчета сведены в таблицу 1. Общий вид эпюр при более невыгодном краевом нагружении (рис. 4) плит приведен на рис. 2.

Таблица 1

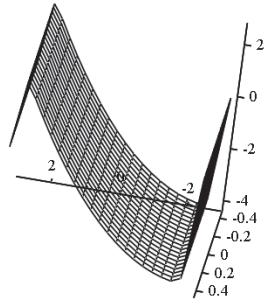
Вид загрузки	Максимальные значения									
	R кН	P кПа	S мм	M <sub>x</sub> кНм/м	M <sub>y</sub> кНм/м	M <sub>xy</sub> кНм/м	Q <sub>x</sub> кН/м	Q <sub>y</sub> кН/м		
ППН-1										
Центральное	63.30378907	1406.75087	5.68642313	2.84592427	-3.36476891	2.9481679x10 <sup>-9</sup>	1.85563237	-6.55774066		
Краевое	126.88717786	2819.71506	9.39277709	6.43686097	-7.53791732	0.38052007	-6.03608319	14.6087058		
ППН-2										
Центральное	63.20872606	1404.63836	5.69080345	3.20665166	-3.79141589	2.11394803x10 <sup>-9</sup>	2.09055587	-7.38929496		
Краевое	126.71215633	2815.8257	9.38533352	7.2555121	-8.4955603	0.42900214	-6.80472559	16.46460597		
ППН-3										
Центральное	62.91256481	1398.057	5.70445209	4.13128397	-4.88532138	-8.59782182 x10 <sup>-9</sup>	2.69224784	9.52134721		
Краевое	126.16649127	2803.69981	9.36213015	9.35876135	-10.95409083	0.55371199	-8.78115576	21.22932934		
ППН-4										
Центральное	72.59487353	2419.82912	7.01484944	1.80383281	-2.20176969	-0.07325519	1.2433119	6.16260513		
Краевое	137.28004952	4576.00165	11.6396	4.20408497	-4.55058827	-0.23309778	3.65881544	13.07154685		



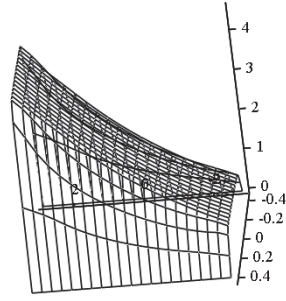
Эпюра реактивных давлений



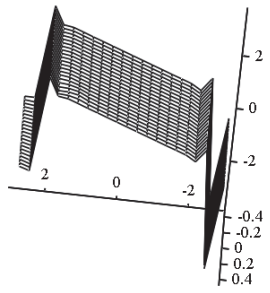
Распределение осадок



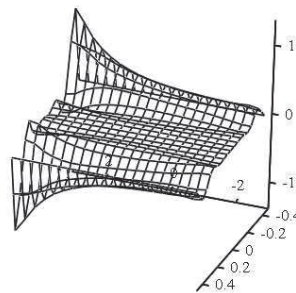
Эпюра изгибающих моментов  $M_x$



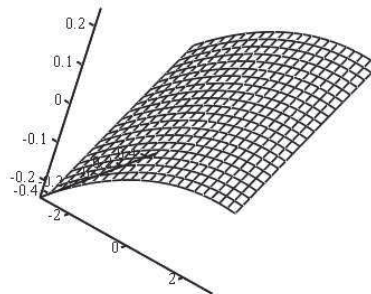
Эпюра изгибающих моментов  $M_y$



Эпюра поперечных сил  $Q_x$



Эпюра поперечных сил  $Q_y$



Эпюра крутящих моментов  $M_{xy}$

Рис. 2. Общий вид эпюр при краевом нагружении плит

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140
141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180
181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200

Рис. 3. Разбивка плиты на участки Б.Н. Жемочкина

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140
141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180
181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200

Рис. 4. Краевое нагружение плиты

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

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. Семенюк С.Д. Несущая способность железобетонных плит покрытия испытательного полигона РУПП «Белорусский автомобильный завод» / С.Д. Семенюк, Р.З. Шутов, Н.В. Белый. // Геотехника Беларуси: наука и практика. Сборник статей международной научно-технической конференции / Минск: БНТУ, 2008. – с. 218-237.
4. ВСН 46-83. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. – Москва, 1985.
5. ТКП 45-3.03-244-2011 (02250). Автомобильные дороги. Дорожные одежды жесткого типа. Строительные нормы проектирования. – Минск, 2012. – 60с.