

УДК 624.074

В.С. Шмуклер, Е.Г. Стоянов, О.М. Пустовойтова

Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова, Харьков

АДАПТАЦИЯ ТИПОВЫХ РЕШЕНИЙ ДОРОЖНЫХ ПЛИТ К СТАНДАРТАМ ЕВРОКОДА (EN) И НОРМАМ ДБН В.2.6-98:2009

В статье рассмотрены основные положения расчета и конструктивные особенности железобетонных предварительно напряженных дорожных плит запроектированных по стандартам Еврокод (EN) и нормам ДБН В.2.6-98:2009

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, предварительно напряженная арматура, верхнее и нижнее армирование

В настоящее время дорожные предварительно напряженные плиты ПДН выпускаются в соответствии с серией 3.503.1-91 по чертежам ТПР-503-0-42.

Плиты – гладкие, имеют размеры в плане 6000x2000 мм, высоту 140 мм (рис. 1, 2), армируются термически упрочненной арматурой классов A_T-V , A_T-IV . Допускается применять арматуру классов $A-V$, $A-IV$ в соответствии с ДСТУ 3760-98. Плиты предназначены для использования в качестве покрытий дорожных одежд автомобильных дорог классов I – V под нагрузки АК, НК80, НК100 согласно ДБН В.1.2-15:2009.

Плиты имеют максимальную несущую способность и трещиностойкость $M_u = M_{cr} = 36.0$ кНм

Технология изготовления плит предполагает электротермический метод натяжения арматуры.

Плиты проектируются как конструкции, не имеющие трещин в нормальных и наклонных сечениях при действии эксплуатационных нагрузок.

Проектная прочность бетона соответствует классу C20/25; марка бетона по морозостойкости F200.

Плиты имеют симметричное армирование снизу и сверху – по $5\phi 12A-V(A_T-V)$ или $5\phi 14A-IV(A_T-IV)$. Соответственно площадь поперечного сечения рабочей арматуры $A_p = 5.65$ см² или $A_p = 7.69$ см². Кроме напрягаемой арматуры устанавливается и ненапрягаемая арматура в виде нижней и верхней сеток, расположенных симметрично. Арматура сеток: продольная – $\phi 5B1$, поперечная – $\phi 8AIII$.

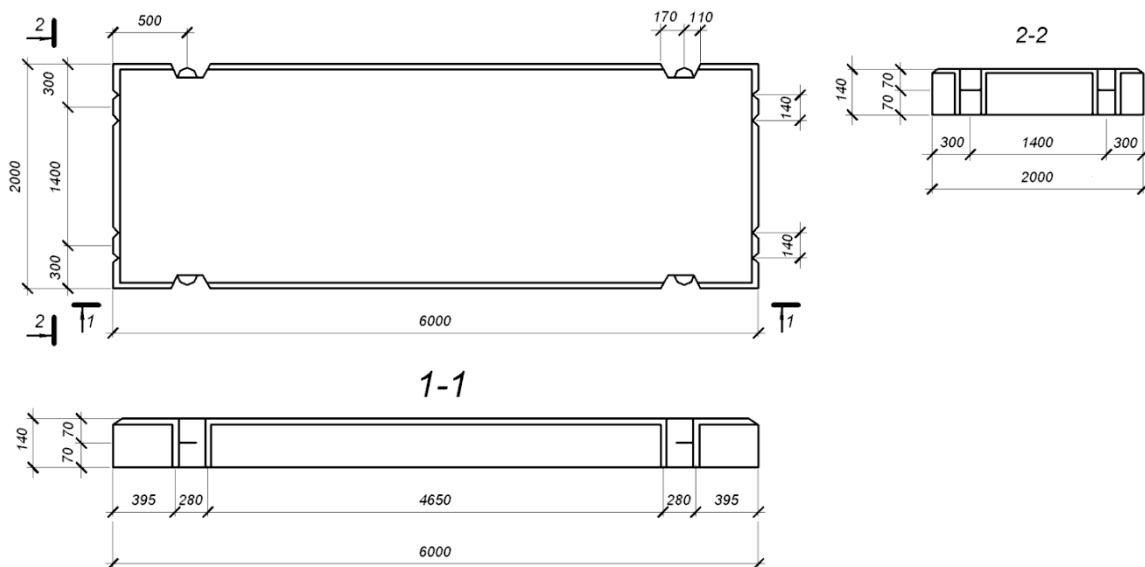


Рис. 1. Плита дорожная ПДН-14



Рис. 2. Плита дорожная ПДН-14



Рис. 3. Опалубка и армирование плиты ПДН-14

В связи с изменениями стандартов по применяемой арматуре и бетону [1] и изменениями стандартов по эксплуатационным требованиям (при применении плит под нагрузки LM1, LM2, LM3, LM4 согласно EN 1991-2:2003) авторами разработаны варианты рабочего армирования плит арматурными канатами K1500 (рис. 3), с применением бетона класса C25/30 (ПДН-14К) и высокопрочной стержневой арматурой класса A800 с бетоном класса C25/30 или C20/25 (ПДН-14А) [2...6]. Эти плиты имеют одинаковый уровень трещиностойкости с стандартными плитами и более вы-

сокую прочность. Принятый способ натяжения арматуры K1500 – механический, арматуры A800 – механический или электротермический. Величина начального контролируемого напряжения для канатов принята 1180 МПа, для арматуры A800 – 630 МПа. Передаточная прочность бетона 15 МПа. Необходимая прочность плиты обеспечивается $7\text{Ø}9\text{K}1500$ ($A_p = 3.57 \text{ см}^2$) или $6\text{Ø}12\text{A}800$ ($A_p = 6.79 \text{ см}^2$). Характеристики бетона, арматуры [2] и параметры сечения плиты приведены в таблице 1.

Таблица 1

Приведенные геометрические параметры плиты		
A_{red}	2831 см ²	
I_{red}	46498 см ⁴	
W_{red}	6643 см ³	
Объем бетона	1,68 м ³	
Масса плиты	42,0 кН	
Расчетные характеристики арматуры:		
	K1500	A800
характеристическое значение условного предела текучести $f_{p0,1k}$	1430 МПа	765 МПа
расчетное сопротивление f_{pd}	1192 МПа	637 МПа
модуль упругости E_p	$18 \cdot 10^4$ МПа	$19 \cdot 10^4$ МПа
Расчетные характеристики бетона класса C25/30:		
расчетное сопротивление на сжатие f_{cd}	17,0 МПа	
среднее сопротивление на растяжение f_{ctm}	2,6 МПа	
расчетное сопротивление на растяжение f_{ctd}	1,2 МПа	
средний модуль деформаций E_{cm}	27000 МПа	
предельный коэффициент ползучести при влажности 75%, $\varphi(\infty, t_0)$	1,8	

Потери предварительного напряжения рассчитаны для плит с расчетным поперечным сечением арматуры, определенным из расчета на прочность.

Мгновенные потери определены:

- от релаксации напряжений в арматуре $\Delta\sigma_r$;
- от перепада температур $\Delta\sigma_\theta$;
- от деформации анкерных устройств $\Delta\sigma_{st}$;
- потери как следствие мгновенной деформации бетона $\Delta\sigma_{el}$.

Потери, зависящие от времени $\Delta\sigma_{c+s+r}$ определены от влияния усадки, ползучести и релаксации, связанной с ползучестью бетона, для нормальных температурно-влажностных условий и могут корректироваться при реальных условиях эксплуатации.

Величина предварительного напряжения и потери приведены в табл. 2.

Несущая способность плит в наклонных сечениях при отсутствии поперечной арматуры составляет:

$$V_{Rd,c} = \frac{I_{red} b}{S} \sqrt{f_{ctd}^2 + \sigma_{cp} f_{ctd}}$$

где S – статический момент площади сечения, расположенной над центральной осью, относительно этой оси;

$$\sigma_{cp} = \sigma_p \cdot A_p / A_c$$

Трещиностойкость плит обеспечивается при напряжениях в бетоне, не превышающих $f_{ctm} = 2,6$ МПа:

$$M_{crc} = f_{ctm} \cdot W_{pl} + Pr$$

где P – усилие обжатия бетона ($P = \sigma_p A_p$);
 r – расстояние от центральной оси до ядровой точки:

$$r = W_{red} / A_{red};$$

$$W_{pl} = 1,75 \cdot W_{red}$$

Результаты расчета плиты, армированной канатами K1500 и A800 представлены в табл. 3.

Таблица 2

Марка плиты	Начальн. напряж. σ_0 , кН/см ²	Мгнов. потери $\Delta\sigma_1$, кН/см ²	Остат. напряж. перед бетониров. кН/см ²	Потери, завис. от вр. кН/см ²	Сумма потерь		Остат. напр. σ_p , кН/см ²
					$\Delta\sigma$, кН/см ²	%	
ПДН-14К	118,0	22,61	95,41	16,25	38,94	32,7	79,16
ПДН-14А	63,0	15,79	47,21	10,52	26,31	41,8	36,69

Таблица 3

Марка плиты	Рабоч. арматура	Площ. сеч. A_p , см ²	Несущ. спос. в норм. сеч. M_{ib} , кНм	Трещиностойк. M_{crc} , кНм	Несущ. спос. на попер. силу V , кН	Экономия арм., %	
						по отн. к А _{T-V}	по отн. к А-IV
ПДН-14К	7Ø9 K1500	3,57	38,58	52,21	331,9	36,8	53,6
ПДН-14А	6Ø12 A800	6,79	40,0	39,2	332,0	-	11,7

Зачастую производитель выдвигает требование о не изменении оснастки для предварительного натяжения арматуры и принятии только пяти рабочих стержней 5Ø12A800 или 5Ø9K1500. Такая плита не может быть равнопрочной со стандартной, но может обеспечить равную трещиностойкость. Эти плиты могут применяться как основание перед заливкой асфальтом.

При указанном армировании получаем результаты, представленные в таблице 4.

Испытания рассматриваемых плит следует производить в соответствии с требованиями ДСТУ Б В.2-6-7-95 [7] и EN 1168:2005+A2:2009 (Е), Приложение J [5] по аналогии с испытаниями плит ПАГ для аэродромных покрытий в соответствии с ГОСТ 25912.0-91.

Контроль трещиностойкости плит выполняется по двум схемам с расстановкой грузов [8-10], соответствующей наиболее опасному

расположению колес автотранспортных средств при нагрузке LM1 на плите (рис. 4)

Нагрузки прикладываются через жесткую раму, обеспечивающую однородное распределение нагрузки по ширине плиты.

Испытания плит по трещиностойкости нижней зоны проводятся по схеме А. Испытания плит по трещиностойкости верхней зоны проводятся по схеме Б или по схеме А после испытания нижней зоны и кантовки плиты [10].

При определении контрольных нагрузок учитывается величина погонной нагрузки от собственного веса плиты, равная 7 кН/м.

Расчетные значения контрольных нагрузок при испытании трещиностойкости плит, армированных 5Ø9K1500 и 5Ø12A800, для проектной и отпускной прочности бетона представлены в таблице 5. Максимальные значения величины поперечных сил при испытаниях плит представлены в таблице 6.

Таблица 4

Марка плиты	Раб. армат.	Площ. сеч. см ²	Несущ. спос. $M_{из}$, кНм	Трещиностойк. $M_{крс}$, кНм		Экономия арм., %	
				при проект. прочн.	при отпуск. прочн.	По отн. к АV	По отн. к АIV
ПДН-14К	5Ø9K1500	2,55	28,98	39,27	32,22	54,8	66,8
ПДН-14А	5Ø12A800	5,65	33,78	30,17	25,01	-	26,5

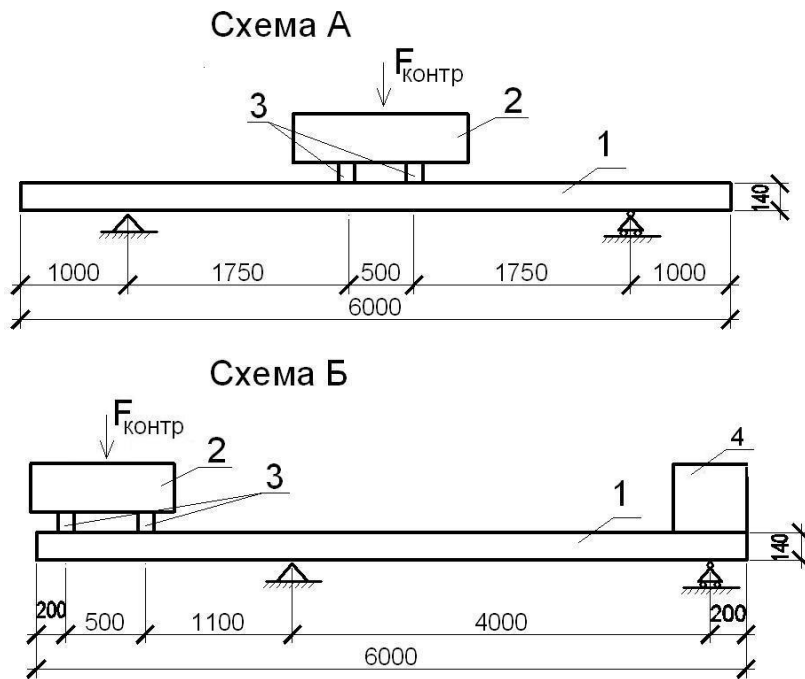


Рис. 4. Схема испытаний: 1 – испытуемая плита; 2 – нагрузка на всю ширину плиты; 3 – деревянные брусья 100x100 мм или двутавры 12; 4 – пригрузочный балласт (≈200кг)

Таблица 5

Марка плиты	Класс бетона	Контрольная нагрузка F (кН) с прочностью бетона, соответствующей			
		отпускной прочности при испытании по схеме		классу бетона при испытании по схеме	
		А	Б	А	Б
ПДН-14 (5Ø9 K1500(K7))	C25/30	32,27	20,1	42,74	26,90
ПДН-14 (5Ø12 A800)	C20/25	29,22	18,12	36,40	22,80

Таблиця 6

Марка плити	Класс бетона	Максимальное значение поперечной силы V_{Ed} (кН), соответствующее			
		отпускной прочности при испытаниях по схеме		классу бетона при испытаниях по схеме	
		А	Б	А	Б
ПДН-14 (5Ø9 K1500(K7))	C25/30	26,44	25,0	30,44	26,76
ПДН-14 (5Ø12 A800)	C20/25	24,48	25,24	28,0	25,7

Из анализа результатов проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- при проектировании дорожных плит ПДН наиболее эффективна замена напрягаемой арматуры AV или AIV на канаты K1500.

- для обеспечения равнопрочности предлагаемой плиты со стандартной, без изменения технологической оснастки, можно рекомендовать армирование $3\text{Ø}12\text{K}1500+2\text{Ø}9\text{K}1500$ с $A_p = 3,738 \text{ см}^2$. Экономия рабочей арматуры составит 33,8% по отношению к AV и 51,4% по отношению к AIV. При этом, следует обеспечить равное начальное натяжение во всех канатах.

- при натяжении канатов общей траверсой, диаметры всех пяти канатов следует принимать равными 12 мм ($5\text{Ø}12\text{K}1500$, $A_p = 4,53 \text{ см}^2$). В этом случае прочность и трещиностойкость плиты будут выше требуемой, а экономия рабочей арматуры составит 19,2% по отношению к AV и 41,2% по отношению к AIV.

Литература

1. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування: ДСТУ Б В.2.6-156:2010. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011.
2. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-98:2009. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009.
3. EN 1992-1-1:2004+AC:2008, IDT. Еврокод-2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий.
4. EN 1168:2005+A2:2009(E). Приложение J.
5. ТКП 45-3.02-6-2005 (02250) Благоустройство территорий. Дорожные одежды с покрытием из плит тротуарных. Правила проектирования.

6. ТКП EN1991-2-2009 (Еврокод 1).

7. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи. ДБН В.1.2-15:2009 – К.: Мінрегіонбуд України, 2009.

8. Руководство пользователя «ЛПА-WINDOWS». Программный комплекс. – Киев, 1996. – Том V.

9. Городецкий А. С. Информационные технологии расчета и проектирования строительных конструкций / А. С. Городецкий, В. С. Шмуклер, А.В. Бондарев. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – 889 с.

10. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытания нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости: ДСТУ Б В.2-6-7-95. – К.: Госкомградостроительства Украины, 1997.

Автор: ШМУКЛЕР Валерій Самуїлович
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри
E-mail – budkonstr205@mail.ru.

Автор: СТОЯНОВ Євген Геннадійович
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, кандидат технічних наук, доцент
E-mail – budkonstr205@mail.ru.

Автор: ПУСТОВОЙТОВА Оксана Михайлівна
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, кандидат технічних наук, доцент
E-mail – budkonstr205@mail.ru.

ADAPTATION OF STANDARD SOLUTIONS ROAD PLATES TO STANDARDS EUROCODES (EN) AND NORMS DBN V.2.6-98: 2009

VS Schumkler, EG Stoyanov, OM Pustovoytova

The article describes the main provisions of calculation and design features of concrete prestressed slabs projected road Eurocode standards (EN) and norms DBN V.2.6-98: 2009.

Keywords: stress-strain state, prestressed reinforcement, upper and lower reinforcement.

АДАПТАЦІЯ ТИПОВИХ РІШЕНЬ ДОРОЖНІХ ПЛИТ ДО СТАНДАРТАМ ЄВРОКОДІВ (EN) І НОРМ ДБН В.2.6-98: 2009

В.С. Шмуклер, Є.Г. Стоянов, О.М. Пустовойтова

У статті розглянуті основні положення розрахунку і конструктивні особливості залізобетонних попередньо напружених дорожніх плит запроєктованих за стандартами Єврокод (EN) і нормам ДБН В.2.6-98: 2009

Ключові слова: напружено-деформований стан, попередньо напружена арматура, верхнє і нижнє армування