

# ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ХАРАКТЕР НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНОЙ КОНСТРУКЦИИ НА РАЗЛИЧНЫХ ПОЛОСАХ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТА

## FACTORS DETERMINING THE NATURE OF STRESS-STRAIN STATE OF ROAD STRUCTURE ON DIFFERENT TRAFFIC LANES

**Е. М. Жуковский**,  
старший преподаватель  
кафедры «Автомобильные  
дороги» Белорусского  
национального технического  
университета, г. Минск,  
Республика Беларусь

**А. В. Ладышев**,  
научный сотрудник  
Центра научных  
исследований и испытаний  
дорожно-строительных  
и гидроизоляционных  
материалов Белорусского  
национального технического  
университета, г. Минск,  
Республика Беларусь

**А. В. Корончик**,  
инженер Центра научных  
исследований и испытаний  
дорожно-строительных  
и гидроизоляционных  
материалов Белорусского  
национального технического  
университета, г. Минск,  
Республика Беларусь

**С. Е. Кравченко**,  
кандидат технических наук,  
доцент, декан факультета  
транспортных коммуникаций  
Белорусского национального  
технического университета,  
г. Минск,  
Республика Беларусь

*В статье представлен анализ факторов, определяющих характер напряженно-деформированного состояния дорожной конструкции на различных полосах движения транспорта и, соответственно, их эксплуатационное состояние.*

*При оценке эксплуатационного состояния по ширине дороги учитывались данные по дефектности покрытия, изменение ровности во времени на основании сравнения пикового прироста неровности, интенсивность движения, распределение транспортного потока по полосам.*

*Систематизированы и обработаны результаты диагностических исследований дорожного покрытия многополосных автомобильных дорог в зависимости от полосы движения транспортных средств с более детальным рассмотрением первой полосы.*

*Получены данные по дефектности покрытия для каждой полосы. На их основании можно утверждать, что первая полоса находится в условиях более тяжелой работы, так как фактическое наличие дефектов на первых полосах превышает дефектность смежных полос.*

*Проведен сравнительный анализ нормативных документов Республики Беларусь, Украины, Республики Казахстан и Российской Федерации в области проектирования нежестких дорожных одежд, а именно нормативных и фактически полученных коэффициентов полнотности. Установлено, что в Республике Беларусь коэффициенты распределения транспортной нагрузки на первые полосы движения, в частности на дорогах с шестью полосами движения, существенно занижены.*

*Учет интенсивности и состава транспортного потока позволил определить, что по первым полосам движутся в основном транспортные средства со скоростью на 20-30 км/ч менее разрешенной (автопоезда, груженые тяжелые автомобили, самосвалы и др.), при этом интенсивность в физических единицах на вторых и третьих полосах, как правило, выше.*

*Путем компьютерного моделирования было изучено изменение коэффициента запаса прочности в зависимости от геометрических параметров проезжей части и напряженно-деформированного состояния конструктивных слоев дорожной одежды.*

Полученные результаты указывают на необходимость учета интенсивности, характеристик транспортного потока и геометрических параметров при проектировании нежестких дорожных одежд.

**Ключевые слова:** дорожное покрытие, нежесткая дорожная одежда, дефектность, интенсивность движения, ровность, коэффициент полноты, первая полоса.

*The article presents the analysis of the factors determining the nature of the stress and strain state of road structures on different transport lanes and their state of repair, respectively.*

*The assessment of the state of repair across the road width considered the data on the surface unsoundness, change of smoothness over time based on the comparison of the peak irregularities increase, transport load, distribution of the transport flow by lanes.*

*The results of the diagnostic studies of the road surface of the multilane auto roads depending on the lane with a more detailed consideration of the first lane were systematised and processed.*

*The data on the surface defectiveness for each lane was obtained. Based on these data, it can be affirmed that the first lane is under the heavier performance conditions as the actual presence of the defects on the first lanes exceeds the defectiveness of the adjoined lanes.*

*The comparative analysis of the regulatory documents of the Republic of Belarus, Ukraine, the Republic of Kazakhstan, and the Russian Federation on engineering of flexible pavements, namely normative and actual lane coefficients, was performed. It was determined that the distribution coefficients of transport load on the first lanes, in particular, on six-lane roads, are significantly decreased.*

*Consideration of the intensity and composition of the transport load allowed to determine that on the first lanes vehicles move mainly 20–30 km/h slower than the permissible speed limit (transporter trains, loaded heavy vehicles, dumping trucks etc.), herewith the transport load is generally higher on the second and third lanes in terms of physical units.*

*The change of the coefficient of resistance depending on the geometrical parameters of the travel way and stress and strain state of the construction layers of the pavement was studied through computerised modelling.*

*The obtained results stipulate the consideration of intensity, transport flow characteristics and geometric parameters during engineering of flexible pavement.*

**Key words:** road pavement, non-rigid road pavement, defectiveness, traffic intensity, evenness, lane coefficient, first lane.

## ВВЕДЕНИЕ

Опыт наблюдений за дорожными одедами улиц населенных пунктов и автомобильных дорог общего пользования показывает, что снижение транспортно-эксплуатационных характеристик конструкций дорожных одежд происходит неравномерно по ширине проезжей части. Первые полосы движения больше подвержены возникновению пластических деформаций, сетки трещин, выбоин и просадок. Данные дефекты значительно снижают уровень безопасности движения, потребительские качества покрытия. Часто они имеют критический характер, и тогда требуется немедленное принятие мер по их устранению. Фактические сроки службы покрытия первых полос проезжей части зачастую ниже, чем покрытия других полос.

К основным факторам, которые определяют различие в условиях работы конструкции дорожной одежды по ширине проезжей части можно отнести: воздействие транспортной нагрузки, влагонакопление в слоях земляного полотна, водоотведение из конструкций дорожной одежды, морозостойчивость, геометрические параметры трассы. Однако данные факторы не в полной мере учитываются при проектировании нежестких дорожных одежд, что и является причиной неравномерного разрушения различных полос движения.

## ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

При проведении диагностики автомобильных дорог на территории Республики Беларусь руководствуются ТКП 140 [1].

Оценка эксплуатационного состояния дорожного покрытия осуществляется с учетом дефектности покрытия; особенностей отдельных дефектов и их комплексного влияния на общий показатель эксплуатационного состояния; влияния дефектности на безопасность дорожного движения; установленного уровня требований к эксплуатационному состоянию.

К основным дефектам, влияющим на эксплуатационное состояние дорожного покрытия, следует отнести [2]:

- коррозионные дефекты (шелушение, выбоины, заплаты);
- пластические деформации (колея, сдвиги, просадки);
- усталостные разрушения (частые трещины, сетка трещин);
- температурные разрушения (отдельные и редкие трещины).

Для исследования были выбраны 5 участков автомобильных дорог:

- М-4 Минск – Могилев, км 17,2 – км 17,4;
- Р-1 Минск – Дзержинск, км 25,4 – км 25,6;
- Р-1 Минск – Дзержинск, км 33,3 – км 33,5;
- Р-23 Минск – Микашевичи, км 15,1 – км 15,3;

- Р-28 Минск – Молодечно – Нарочь, км 13,7 – км 13,9.

При выборе данных участков были соблюдены следующие требования:

- общая длина каждого расчетного участка составляла 200 м;
- участки имели примерно одинаковые габаритные параметры;
- участки не содержали переходно-скоростных полос;

- учитывали прямое и обратное направление движения.

Результаты диагностики представлены в таблице 1.

Анализ полученных результатов показал закономерность распределения основных видов дефектов по полосам движения транспортных средств. Полученные данные подтверждают более сложные условия работы первой полосы движения.

**Таблица 1 – Результаты диагностики участков автомобильных дорог по полосам**

Полоса	Общая площадь участка, м <sup>2</sup>	Общая площадь дефектов, м <sup>2</sup>			
		пластические деформации	температурные разрушения	усталостные разрушения	коррозионные дефекты
М-4 Минск – Могилев, км 17,2 – км 17,4 (прямое направление)					
1	750	404	38	49	58
2	750	266	24	35	46
3	750	215	16	8	44
М-4 Минск – Могилев, км 17,2 – км 17,4 (обратное направление)					
1	750	293	45	57	57
2	750	284	36	30	52
3	750	234	24	23	74
Р-1 Минск – Дзержинск, км 25,4 – км 25,6 (прямое направление)					
1	850	340	51	144	106
2	850	263	35	123	71
3	850	120	30	97	0
Р-1 Минск – Дзержинск, км 25,4 – км 25,6 (обратное направление)					
1	850	316	21	78	58
2	850	237	23	73	77
3	850	0	5	25	20
Р-1 Минск – Дзержинск, км 33,3 – км 33,5 (прямое направление)					
1	850	12	20	83	58
2	850	0	15	45	22
Р-1 Минск – Дзержинск, км 33,3 – км 33,5 (обратное направление)					
1	850	6	25	134	51
2	850	0	15	18	43
Р-23 Минск – Микашевичи, км 15,1 – км 15,3 (прямое направление)					
1	850	347	29	83	96
2	850	207	15	0	0
Р-23 Минск – Микашевичи, км 15,1 – км 15,3 (обратное направление)					
1	850	314	34	129	30
2	850	222	19	4	6
Р-28 Минск – Молодечно – Нарочь, км 13,7 – км 13,9 (прямое направление)					
1	850	314	8	186	74
2	850	218	0	139	60
Р-28 Минск – Молодечно – Нарочь, км 13,7 – км 13,9 (обратное направление)					
1	850	298	0	215	0
2	850	163	0	123	12

Однако по данным таблицы 1 трудно отследить динамику изменения состояния покрытия. Поэтому для дальнейшего анализа принят международный индекс ровности *IRI* как интегральный показатель состояния дорожного покрытия.

Для оценки динамики было проанализировано изменение ровности на рассматриваемых участках автомобильных дорог с 2009 по 2020 год с использованием данных, полученных РУП «Белдорцентр». В качестве примера на рисунке 1 представлено изменение ровности на 25 км автомобильной дороги Р-1 Минск – Дзержинск (прямое направление).

По причине проведения ремонтных мероприятий невозможно оценить абсолютное изменение ровности по полосам во времени, поэтому для оценки динамики изменения ровности можно использовать пиковый прирост неровности. Он определяется как отношение максимальных приращений неровности по полосам движения (таблица 2).

Анализ данных за 2009–2020 гг. показывает, что пиковый прирост неровности за год на первой полосе 6-полосных дорог в среднем в 2,88 раза больше, чем левых, а на 4-полосных – в 2,5 раза.

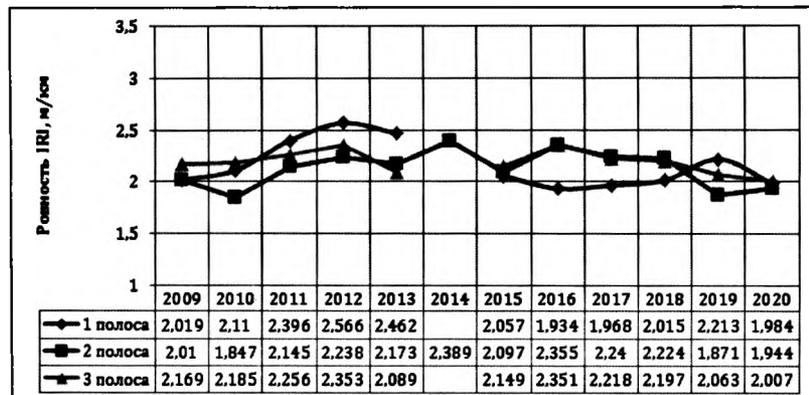


Рисунок 1 – Изменение ровности на 25 км автомобильной дороги Р-1 Минск – Дзержинск (прямое направление)

Установлено, что ровность на первой полосе движения ниже, чем на левых полосах. Это можно объяснить тем, что первые полосы загружены значительно больше расчетных показателей.

ется понятие расчетного автомобиля (группы расчетных нагрузок).

Расчетный автомобиль – грузовой грузовой автомобиль, параметры которого (нагрузка на оди-

### АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТРАНСПОРТНОЙ НАГРУЗКИ

Условия эксплуатации автомобильных дорог общего пользования подразумевают обращение различного по своему составу транспортного потока. Автомобили разных групп и типов имеют свои параметры и характеристики, поэтому по-разному влияют на работоспособность и ресурс дорожных одежд. Для упрощения проведения расчетов и конструирования дорожных одежд в ТКП 45-3.03-112 [3] использу-

Таблица 2 – Определение пикового прироста неровности

Дорога, км	Направление	Количество полос движения	Ровность, м/км				Пиковый прирост
			Первая полоса		Левые полосы		
			начальная	конечная	начальная	конечная	
М-4, 17	прямое	3	2,300	2,567	1,963	2,055	2,90
	обратное	3	2,487	2,666	2,152	2,230	2,29
Р-1, 25	прямое	3	2,110	2,396	2,016	2,200	1,55
	обратное	3	1,721	1,946	1,549	1,596	4,79
Р-1, 33	прямое	2	1,420	1,683	1,382	1,487	2,50
	обратное	2	1,627	2,101	1,647	1,777	3,65
Р-23, 15	прямое	2	1,164	1,516	1,211	1,333	2,89
	обратное	2	1,091	1,219	1,154	1,346	0,67
Р-28, 13	прямое	2	1,514	2,156	1,392	1,672	2,29
	обратное	2	1,486	2,018	1,406	1,572	3,20

ночную ось, удельное давление на покрытие, диаметр круга, равновеликого площади отпечатка колеса на покрытие) используются в расчетах дорожной одежды на прочность, а для перехода от реальных автомобилей к расчетному используют коэффициенты приведения [3].

Коэффициенты приведения показывают степень снижения ресурса и развития повреждаемости дорожной одежды от проезда реального автомобиля в сравнении с расчетным.

В зависимости от вида расчета дорожной одежды используют различные характеристики интенсивности воздействия на нее транспортной нагрузки:

$N$  – перспективную (на конец срока службы) общую среднесуточную интенсивность движения;

$N_p$  – приведенное к расчетной нагрузке среднесуточное (на конец срока службы) число проездов всех колес, расположенных по одному борту расчетного автомобиля, в пределах одной полосы проезжей части (приведенная интенсивность воздействия нагрузки);

$\Sigma N_p$  – число накопленных осей, приложенных к расчетной точке на поверхности конструкции за расчетный срок службы.

Для определения приведенной интенсивности воздействия нагрузки используют коэффици-

циент  $f_{пол}$ , учитывающий число полос движения и распределение движения по ним. В Республике Беларусь значение коэффициента  $f_{пол}$  определяют по таблице 6.7 ТКП 45-3.03-112 [3].

Значения коэффициента  $f_{пол}$  для четырех- и шестиполосных дорог в Республике Беларусь, а также в Украине, Казахстане и Российской Федерации представлены в таблице 3.

Анализ нормативных документов [3–6] показывает, что в Республике Беларусь коэффициенты распределения транспортной нагрузки на первые полосы движения, особенно для дорог с шестью полосами движения, занижены.

Для оценки реального распределения транспортного потока по полосам был проведен учет интенсивности движения на следующих участках автомобильных дорог: М-4 Минск – Могилев, км 17; Р-1 Минск – Дзержинск, км 25 и км 33; Р-23 Минск – Микашевичи, км 15; Р-28 Минск – Молодечно – Нарочь, км 13.

Интенсивность движения транспортных средств на разных полосах на 25 км автомобильной дороги Р-1 Минск – Дзержинск (прямое направление) показана на рисунке 2, на остальных участках – в таблице 4.

Таблица 3 – Значения коэффициента  $f_{пол}$

Страна	Нормативный документ	Число полос движения	Значение коэффициента $f_{пол}$ для полосы		
			1	2	3
Беларусь	ТКП 45-3.03-112 [3]	4	0,35	0,20	-
		6	0,20	0,20	0,15
Украина	ГБН В.2.3-37641918-559 [4]	4	0,35	0,20	-
		6	0,30	0,20	0,05
Казахстан	СП РК 3.03-104 [5]	4	0,35	0,20	-
		6	0,30	0,20	0,05
Российская Федерация	ПНСТ 542 [6]	4	0,45	-	-
		6	0,35	-	-

Таблица 4 – Интенсивность движения транспортных средств на разных полосах по результатам учета

Место учета			Среднегодовая суточная интенсивность, авт./сут			
Дорога	Км	Направление	1-я полоса	2-я полоса	3-я полоса	Общ.
М-4	17	прямое	4847	12 777	5287	22 911
		обратное	4266	9736	5251	19 253
Р-1	25	прямое	2423	6389	2644	11 455
		обратное	2133	4868	2625	9626
	33	прямое	4076	2809	-	6884
		обратное	4076	2423	-	6499
Р-23	15	прямое	6410	4121	-	10 531
		обратное	7123	4274	-	11 396
Р-28	13	прямое	7879	10130	-	18 008
		обратное	6391	6753	-	13 144

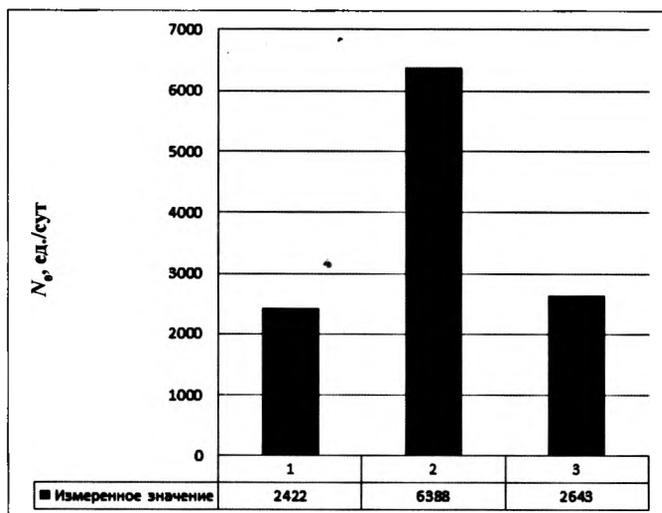


Рисунок 2 – Интенсивность движения транспортных средств на разных полосах движения на 25 км автомобильной дороги Р-1 Минск – Дзержинск (прямое направление)

Анализ полученных данных (таблица 4) показывает, что в абсолютных значениях вторые полосы шестиполосных дорог загружены больше. Однако по ним движутся в основном легковые автомобили. Приведенная к расчетному автомобилю интенсивность движения на 25 км автомобильной дороги Р-1 Минск – Дзержинск (прямое направление) показана на рисунке 3. Значения приведенной к расчетному автомобилю интенсивности на рассматриваемых участках дорог приведены в таблице 5. Фактические коэффициенты  $f_{пол}$ , полученные по результатам учета интенсивности, представлены в таблице 6.

Таблица 5 – Приведенная к расчетному автомобилю интенсивность движения

Место учета			Приведенная к расчетному автомобилю интенсивность движения $N_p$ , ед./сут					
			фактическая			расчетная		
Дорога	Км	Направление	1-я полоса	2-я полоса	3-я полоса	1-я полоса	2-я полоса	3-я полоса
М-4	17	прямое	3398	1776	8	2073	2073	1555
		обратное	3398	1776	8	2073	2073	1555
Р-1	25	прямое	1697	887	4	1035	1035	776
		обратное	1406	688	4	839	839	630
	33	прямое	1146	236	-	967	553	-
		обратное	2374	9	-	1668	953	-
Р-23	15	прямое	1482	8	-	1043	596	-
		обратное	1455	217	-	1170	669	-
Р-28	13	прямое	692	32	-	506	289	-
		обратное	648	22	-	469	268	-

Таблица 6 – Фактические значения коэффициентов  $f_{пол}$

Место учета			Число полос движения	Значение коэффициента $f_{пол}$ для полосы		
				1	2	3
Дорога	Км	Направление				
М-4	17	прямое	6	0,35	0,17	0,01
		обратное	6	0,32	0,15	0,01
Р-1	25	прямое	6	0,33	0,17	0,01
		обратное	6	0,34	0,16	0,01
	33	прямое	4	0,41	0,09	-
		обратное	4	0,50	0,01	-
Р-23	15	прямое	4	0,50	0,00	-
		обратное	4	0,44	0,06	-
Р-28	13	прямое	4	0,48	0,02	-
		обратное	4	0,48	0,02	-
Среднее значение			4	0,47	0,03	-
			6	0,34	0,16	0,01

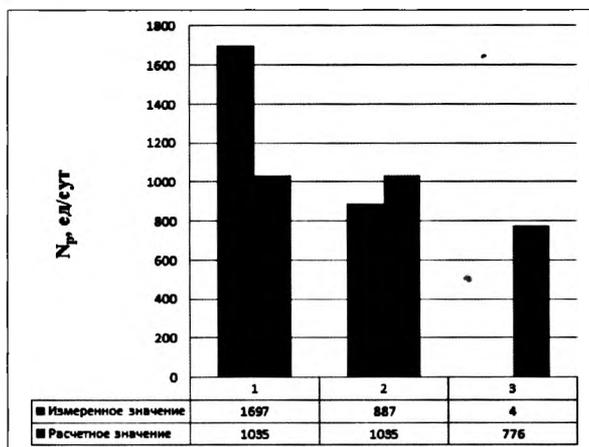


Рисунок 3 – Приведенная к расчетному автомобилю интенсивность движения  $N_p$  на 25 км автомобильной дороги Р-1 Минск – Дзержинск (прямое направление)

Анализ данных показывает, что фактические значения коэффициента  $f_{пол}$ , учитывающие число полос движения и распределение движения по ним, для первых полос превышают установленные в ТКП 45-3.03-112 [3] расчетные значения.

#### АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

Исследование напряженно-деформированного состояния конструктивных слоев дорожной одежды на различных полосах движения проезжей части в зависимости от геометрических параметров конструкции проводилось путем компьютерного моделирования [7].

В качестве экспериментального объекта был выбран участок автомобильной дороги Р-1 Минск – Дзержинск, км 33,200, для которого был произведен сбор необходимых данных. На данном участке были измерены упругие прогибы, определены состав и интенсивность транспортного потока.

Модель дорожной одежды для произведения расчетов была создана в системе аналитического проектирования MSC.PATRAN. Задача статики в нелинейной постановке была решена посредством пакета конечно-элементного анализа MSC.MARC. Геометрическая модель дорожной одежды насчитывает шесть слоев и полупространство, моделирующее работу рабочей зоны земляного полотна. Выбранная геометрическая модель в большой степени отражает работу реальной дорожной одежды экспериментального участка. Расчет напряженно-деформированного состояния выполнялся от действия равномерно распределенной транспортной нагрузки  $P$ , соответствующей нагрузке на ось расчетного автомобиля 11,5 т (расчетная нагрузка  $A_2$ ). Нагруз-

ка была приложена только в вертикальной и горизонтальной плоскости в зависимости от значений продольного уклона.

Расчетные параметры конструкции дорожной одежды экспериментального участка представлены в таблице 7 и на рисунке 4.

Таблица 7 – Параметры конструкции дорожной одежды

Но-мер слоя	Материал	$h$ , м	$E_0$ , МПа	$E_{50}$ , МПа
1	Асфальтобетон щебеночно-мастичный марки I	0,04	5600	530
2	Асфальтобетон крупнозернистый пористый марки I	0,06	2800	360
3	Асфальтобетон крупнозернистый пористый марки II	0,06	2200	350
4	Щебень гранитный фр. 25–60 мм по способу расклинки	0,25	320	320
5	Асфальтогранулят	0,15	220	220
6	Песок среднезернистый	0,45	120	120
7	Песок пылеватый	-	60	60

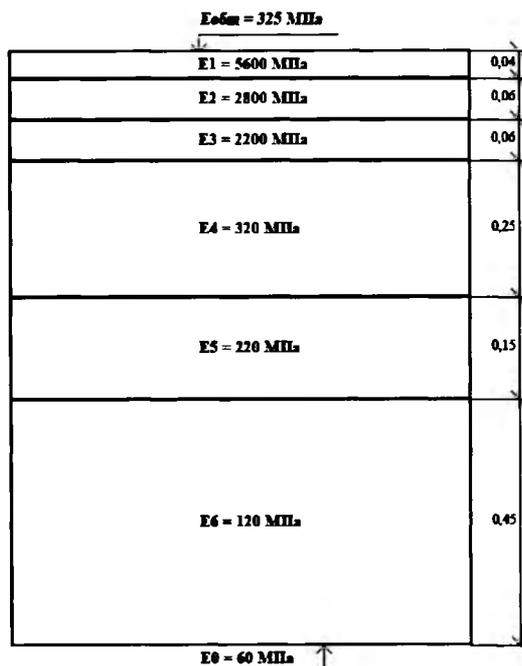


Рисунок 4 – Схема конструкции дорожной одежды экспериментального участка

Оценка надежности конструкции по критерию сдвигоустойчивости производилась по рассчитанным коэффициентам запаса прочности. Данные параметры были определены для условий проезда одиночных автомобилей ( $K_3$ ), а также для условий воздействия транспортной нагрузки на первую ( $K_3^1$ ) и вторую полосу ( $K_3^2$ ). Для расчетов были приняты фактические параметры транспортного потока, измеренные на экспериментальном участке.

При определении работоспособности по критерию сдвигоустойчивости рассматривалась устойчивость к пластическим деформациям асфальтобетонного покрытия существующей дорожной одежды исследуемого объекта от проезда транспортных средств. При выполнении расчета было принято, что сдвигоустойчивость конструктивного слоя будет обеспечена, если в результате воздействия транспортной нагрузки при расчетных значениях температуры не будет происходить деформирование структуры материала от действия касательных напряжений. То есть касательные напряжения не будут вызывать изменение формы конструктивного слоя и появление пластических деформаций. Определение параметров напряженно-деформированного состояния велось от расчетной нагрузки  $A_2$  (нагрузка на ось 11,5 т), которая приложена к поверхности проезжей части с уклоном от 0 до 30 %.

Коэффициент запаса прочности определялся по формуле

$$K_3 \leq \frac{|\sigma| \cdot \operatorname{tg} \varphi + C}{\tau_{\max}}, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – нормальные напряжения, МПа;

$\varphi$  – угол внутреннего трения материала слоя существующей конструкции, град;

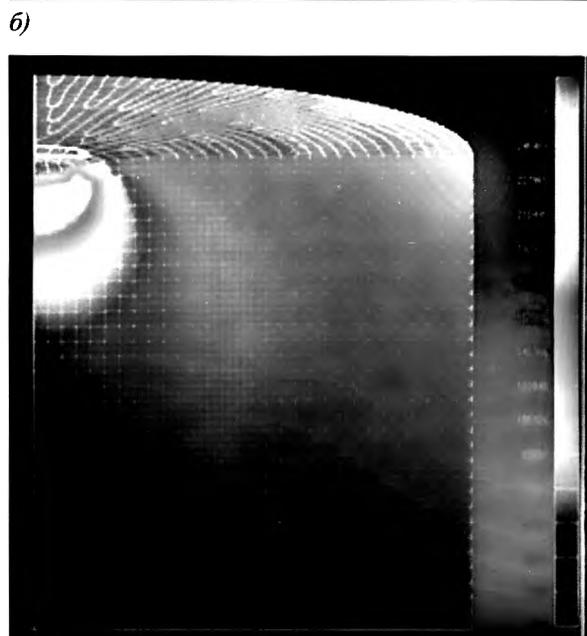
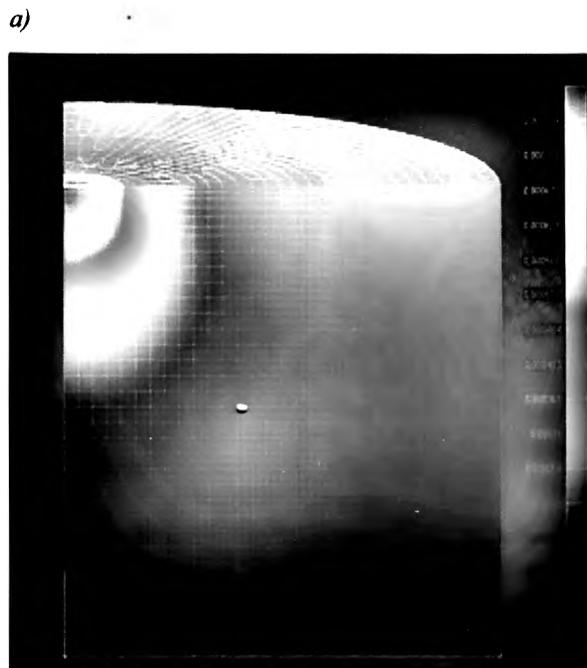
$C$  – сила внутреннего сцепления материала слоя существующей конструкции, МПа

$\tau_{\max}$  – максимальные касательные напряжения, МПа.

Значения параметров  $C$  и  $\varphi$  принимались согласно приложению Б ТКП 45-3.03-112 [3].

Для выполнения расчетов был применен метод конечных элементов (МКЭ), который позволил учесть все геометрические и прочностные параметры конструкции дорожной одежды.

Максимальные касательные напряжения и соответствующие им нормальные напряжения определялись в соответствии с теорией напряженно-деформированного состояния твердых тел исходя из определенных методом конечных элементов значений главных напряжений. Примеры распределения деформаций и касательных напряжений по толщине конструкции дорожной одежды приведены на рисунке 5.



**Рисунок 5 – Распределение деформаций (а) и касательных напряжений (б) по толщине конструкции дорожной одежды**

Зависимость коэффициентов запаса прочности от продольного уклона проезжей части представлена на рисунке 6. Выявлено существенное влияние интенсивности движения на снижение коэффициентов. Из графиков видно, что продольные уклоны до 30 % (не учитываемые в расчетах согласно действующим ТНПА) значительно влияют на сдвигоустойчивость конструктивных слоев дорожных одежд (до 26 %). Особенно это выражено на первых полосах (с учетом повторности действия транспортной нагрузки). На исследуемом участке при

уклонах более 20 % коэффициент запаса прочности на первой полосе снижался до значений меньше 1,0.

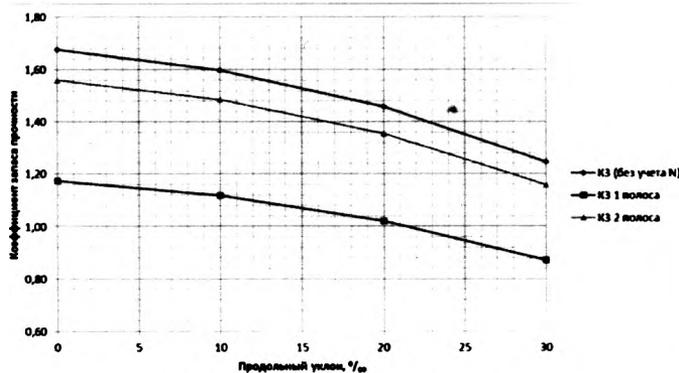


Рисунок 6 – Зависимость коэффициентов запаса прочности от продольного уклона проезжей части

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье проведен теоретический анализ факторов, определяющих характер напряженно-деформированного состояния дорожной конструкции на различных полосах движения транспорта: воздействия транспортного потока, влияния геометрических параметров трассы, надежности дорожных одежд.

Установлено, что преждевременное снижение транспортно-эксплуатационных характеристик покрытия первой полосы движения ниже допустимого уровня, а также различие в условиях работы конструкции дорожной одежды по ширине проезжей части во многом определяется тем, что фактическое распределение параметров транспортной нагрузки не в полной мере объективно может учитываться коэффициентом полосности.

Проведено комплексное экспериментальное исследование закономерностей изменения транспортно-эксплуатационных характеристик дорож-

ных конструкций на различных полосах движения транспорта. На основании параметров, которые согласно действующим ТНПА определяют эксплуатационное состояние автомобильной дороги: продольной ровности дорожного покрытия; дефектности дорожного покрытия – выявлены закономерности ухудшения ровности, развития дефектности и изменения прочности различных полос проезжей части.

Исследование характеристик транспортных потоков показало, что фактическая приведенная интенсивность на первых полосах движения значительно превышает расчетные значения, установленные в ТКП 45-3.03-112 [3], а левые полосы при этом недогружены.

Проведено исследование напряженно-деформированного состояния конструктивных слоев дорожной одежды на различных полосах движения в зависимости от параметров продольного профиля автомобильной дороги.

Установлено, что продольные уклоны до 30 % (не учитываемые в расчете согласно действующим ТНПА) существенно влияют на сдвигоустойчивость конструктивных слоев дорожных одежд. Это особенно выражено на первых полосах (с учетом повторности действия транспортной нагрузки). Таким образом, подтверждена необходимость их учета при проектировании конструкций дорожных одежд.

Оценка эксплуатационного состояния покрытий многополосных автомобильных дорог показывает, что первые полосы находятся в значительно худших условиях работы и требуют более ответственного подхода при их проектировании. Это можно объяснить тем, что нагрузка на первые полосы значительно больше нормативной.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автомобильные дороги. Порядок выполнения диагностики : ТКП 140-2015 (33200). – Минск, 2015. – 68 с.
2. Веренько, В. А. Деформации и разрушения дорожных покрытий. Причины и пути устранения / В. А. Веренько. – Минск, 2008. – 303 с.
3. Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования : ТКП 45-3.03-112-2008 (02250). – Минск, 2008. – 114 с.
4. Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування : ГБН В.2.3-37641918-559:2019. – Київ, 2019. – 59 с.
5. Проектирование дорожных одежд нежесткого типа : СП РК 3.03-104-2014. – Астана, 2014. – 83 с.
6. Дороги автомобильные общего пользования. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования : ПНСТ 542-2021. – М., 2021. – 146 с.
7. Шимкович, Д. Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows / Д. Г. Шимкович. – М., 2001. – 446 с.

## SPISOK ISPOL'ZOVANNOJ LITERATURY

1. Avtomobil'ny'e dorogi. Poryadok vy'polneniya diagnostiki : TKP 140-2015 (33200). – Minsk, 2015. – 68 s.
2. Veren'ko, V. A. Deformacii i razrusheniya dorozhny'x pokrytij. Prichiny' i puti ustraneniya / V. A. Veren'ko. – Minsk, 2008. – 303 s.
3. Avtomobil'ny'e dorogi. Nezhestkie dorozhny'e odezhdy'. Pravila proektirovaniya : TKP 45-3.03-112-2008 (02250). – Minsk, 2008. – 114 s.
4. Avtomobil'ni dorogy'. Dorozhnij odyag nezhorstky'j. Proektuvannya : GBN V.2.3-37641918-559:2019. – Ky'yiv, 2019. – 59 s.
5. Proektirovanie dorozhny'x odezhd nezhestkogo tipa : SP RK 3.03-104-2014. – Astana, 2014. – 83 s.
6. Dorogi avtomobil'ny'e obshhego pol'zovaniya. Nezhestkie dorozhny'e odezhdy'. Pravila proektirovaniya : PNST 542-2021. – M., 2021. – 146 s.
7. Shimkovich, D. G. Raschet konstrukcij v MSC/NASTRAN for Windows / D. G. Shimkovich. – M., 2001. – 446 s.

*Статья поступила в редакцию 06.12.2021.*