

Далее под действием постоянного давления, создаваемого прессующим органом, жгуты продавливаются вдоль отверстия и выталкиваются гранулы за пределы фильеры. Процесс повторяется в автоматическом режиме.

Изменяя частоту создаваемого давления в полости фильеры, можно регулировать длину гранул, приближая их форму к шаровидной.

Таким образом, размещение воздушной камеры внутри фильеры и разделение жгутов из гранулируемой массы на гранулы путем передавливания их при движении через трубки из эластичного материала позволяют получать в плоскости разделения сферическую поверхность, а следовательно, подбирая частоту пульсации давления воздуха в соответствии со скоростью давления гранулируемой массы в фильере, гранулы строго шаровидной формы. Одновременно процесс передавливания жгутов на гранулы эластичными трубками сопровож-

дается их частичным обжатием и уплотнением, особенно в плоскости разделения. Кроме того, движение гранулируемой массы через отверстия фильеры в момент ее передавливания приостанавливается, и постепенно создаваемое шнеком давление еще больше доуплотняет гранулируемую массу. В результате получаемый гранулят имеет повышенную плотность, а в целом и повышенную однородность.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Грануляторы: Обзор. – М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1970. – С. 33.
2. А. с. 1502318 (СССР). Гранулирующий шнековый пресс / Г. Т. Широкий и др. // Бюл. изобр. – 1989. – № 31.
3. А. с. 1664564 (СССР). Способ непрерывного формирования изделий и устройство для его осуществления / Г. Т. Широкий и др. // Бюл. изобр. – 1991. – № 27.
4. Широкий Г. Т. Новые подходы в гранулировании пастообразных материалов // Архитектура и строительство. – 1995. – № 1.

УДК 625.87

## ОЦЕНКА РОВНОСТИ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВАНИИ ПРОЕКТНОГО РЕШЕНИЯ

*Докт. техн. наук, проф. ЛЕОНОВИЧ И. И., асп. НЕСТЕРОВИЧ И. В.*

*Белорусский национальный технический университет*

Одним из важнейших показателей транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог является ровность покрытия [1]. В настоящее время ровность принято оценивать локальным отклонением поверхности качения колес автомобиля от геометрически идеальной поверхности для каждого геометрического элемента продольного профиля. Если отклонение имеет правильную форму синусоидального, параболического, кусочно-прерывного или иного характера, то их принято называть детерминированными [2]. Большинство же неровностей носит случайный характер, и поэтому их оценивают методами математической статистики, теорией вероятностей случайных процессов [3], вычисляя амплитуду и частоту колебания, дисперсию, спектральную плот-

ность распределения дисперсии амплитуд и уклонов продольного профиля, находя при этом амплитуды и частоты колебаний, среднеквадратичные величины вертикальных ускорений, законы распределения и т. п.

Прямое определение неровностей производится с помощью измерительных реек, нивелиров и профилографов различных конструкций [4]. Косвенное определение основано на записи относительных колебаний неподрессоренных и поддрессоренных масс транспортных машин или специальных испытательных прицепов (установок). Критерием ровности в этом случае является сумма амплитуд колебаний, отнесенная к единице длины. Чаще всего размерность этого критерия выражается в м/км.

В зарубежной практике, а также в Республике Беларусь стандартным критерием принято считать международный индекс ровности (International Roughness Index – IRI). Он имеет аналогичный физический смысл и размерность, т. е. м/км. Для определения IRI на практике используются измерительные приборы ровности, которые адаптированы для получения информации по международному индексу ровности.

В соответствии с РД 0219.1.21–2001 [5] установлены требования к ровности в зависимости от интенсивности движения и расчетной скорости автомобильных дорог. Так, для новых автомобильных дорог, вводимых в эксплуатацию, при допустимой скорости движения до 100 км/ч IRI должен быть 2,5 м/км (среднеквадратичное отклонение 0,5), а при 100 км/ч и более – 2,0 м/км (среднеквадратичное отклонение 0,3). На автомобильных дорогах с усовершенствованными типами покрытий предельно допустимые значения ровности на республиканских (с индексом «Р») и местных автомобильных дорогах равны:

Интенсивность движения, авт./сут.	IRI, м/км	Интенсивность движения, авт./сут.	IRI, м/км
до 50	9,64	3500	5,78
100	9,01	4000	5,66
500	7,55	4500	5,55
1000	6,92	5000	5,46
1500	6,55	5500	5,37
2000	6,29	6000	5,29
2500	6,09	6500	5,22
3000	5,92	7000	5,15

Для республиканских дорог с индексом «М» требования по ровности покрытий более высокие.

Существующие методы определения ровности дорожных покрытий учитывают только те отклонения, которые обусловлены наличием дефектов – волны, выбоины, просадки и др., но не учитывают геометрические параметры элементов продольного профиля. Наши исследования показали, что при переходе автомобиля даже на ровном покрытии с одного элемента продольного профиля на другой появляется возмущающая сила, которая приводит к возникновению колебаний поддресоренных и неподдресоренных масс. Причем влияние усиливается с увеличением алгебраической разности

между смежными уклонами профиля. При движении по вертикальным кривым колебательные процессы транспортных средств обусловлены возникновением центробежных сил и неодновременным их воздействием на переднюю и задние оси автомобиля.

Влияние структуры продольного профиля на колебания автомобиля позволило разработать метод оценки запроектированного продольного профиля с позиции его эксплуатационной ровности.

Суть метода заключается в том, что уже на стадии проектирования продольного профиля дороги может быть оценена его ровность с позиции IRI. При этом методе движение автомобиля на горизонтальном участке дороги, подъеме или спуске с постоянным проектным уклоном оценивается индексом ровности, равным нулю. Аналогичное положение имеет место при длительном движении по вертикальным кривым постоянного радиуса. При переходе с одного элемента профиля на другой: со спуска на подъем; с подъема на спуск; с более пологого на крутой подъем; с прямого участка на кривой и т. п. – возникают колебания автомобиля, по характеру аналогичные колебаниям, обусловленным неровностями на горизонтальном участке дороги. Отсюда можно сделать вывод, что при исследовании ровности автомобильных дорог необходимо учитывать не только дефекты ровности, но и геометрические характеристики продольного профиля. Более того, на стадии проектирования новых автомобильных дорог, а также при капитальном ремонте и реконструкции существующих можно прогнозировать ровность и при необходимости вводить коррективы в назначение проектных отметок и геометрической структуры продольного профиля в целом.

Для подтверждения сказанного нами произведены расчеты IRI для различных сочетаний элементов продольного профиля. Были выбраны участки с переломами проектной линии 5, 10 и 20 % с восходящими и нисходящими уклонами. Расчеты показали наличие скачка значений IRI после перелома продольного профиля. При этих переломах проектной линии IRI возрастает с нулевого значения до 1,85; 3,69 и 7,38 м/км. Причем, эти показатели не зависят от того, был ли перелом на восходящих или нисходящих уклонах. График изменения индекса ровности приведен на рис. 1.

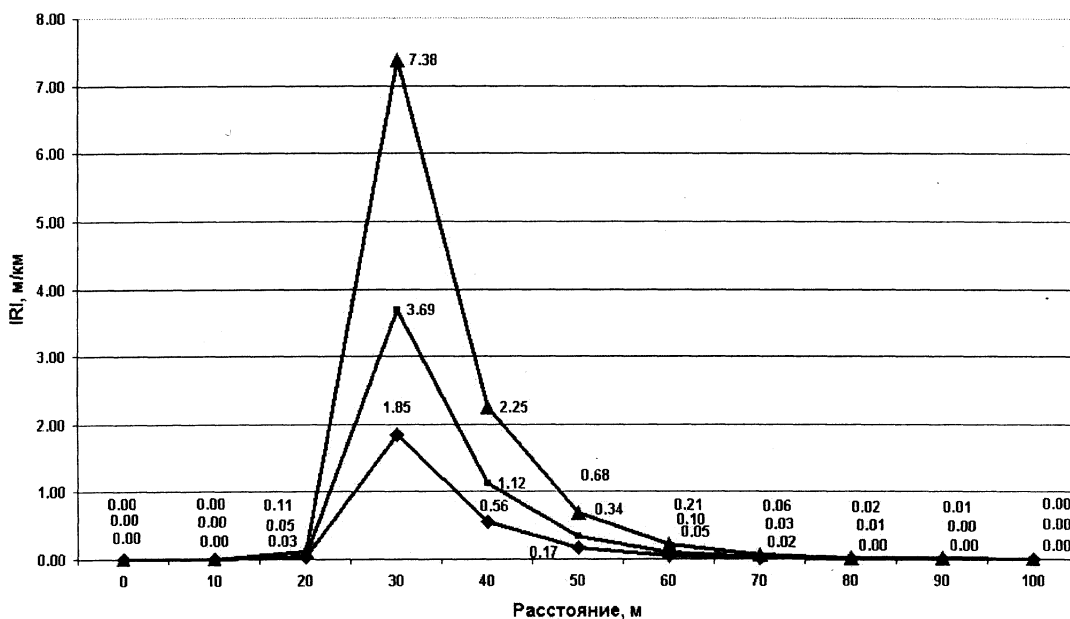


Рис. 1. График изменения IRI при преодолении перелома уклонов продольного профиля:  
 —◆— перелом 5; —■— перелом 10; —▲— перелом 20

Как видно из рисунка, определяющую роль играют значения переломов уклонов продольного профиля. Максимальное воздействие оказывают переломы в начальный период заезда автомобиля на новый участок с другим уклоном. В дальнейшем идет затухание колебаний. Чем больше неровность, тем более длительный процесс затухания. В случае попеременного изменения уклона на коротких участках только усугубляется ситуация по ровности покрытия. Ряд нормативов по проектированию автомобильных дорог не учитывает эти положения. Не следует допускать переломы проектной линии более 5 ‰, а длину элемента профиля с постоянным уклоном – не менее 50 м.

Вертикальные кривые, «безупречные» по ровности в теоретическом плане, перестают быть таковыми после выноса отметок продольного профиля на дорогу. В этом случае мы получаем некий многоугольник, вписанный в вертикальную кривую со стороны, равной отрезку выноса высотных отметок (рис. 2).

Значения угла между двумя смежными хордами (отрезками ломаной) определяются по формуле

$$\alpha = 2\arcsin(l/2R). \tag{1}$$

Причем, зависимость между углом в градусах и алгебраической разностью сопрягаемых уклонов следующая:

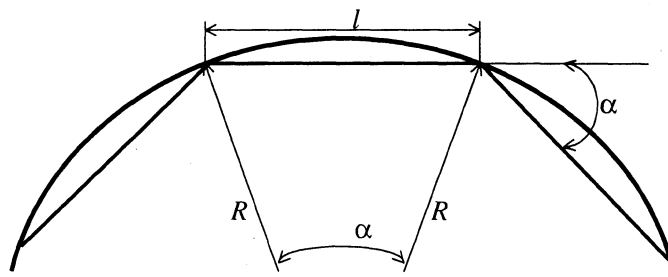


Рис. 2. Представление кривой отрезками прямых

30°	соответствует	8,7 ‰;
1°	–	17,5 ‰;
2°	–	34,9 ‰;
3°	–	52,3 ‰;
4°	–	69,8 ‰;
5°	–	87,2 ‰.

В зависимости от принятых технологий строительства дороги в целом и строительства дорожной одежды, в частности, высотные отметки устанавливаются с некоторым интервалом 5...20 м. Эти интервалы и могут рассматриваться как элементы продольного профиля на выпуклых и вогнутых кривых.

Результаты расчетов показывают, что значения IRI возрастают с увеличением отрезков прямой между точками выноса отметок и

уменьшением радиуса вертикальной кривой (табл. 1, 2). При этом для отрезков длиной 5 и 10 м значения IRI остаются постоянными независимо от величины принятого модульного участка оценки ровности. Для отрезков длиной 20 м значения IRI носят периодический характер, что обусловлено соотношением длин элементов продольного профиля и длинами модульных участков измерения IRI:

$$IRI = F(\Delta, R, l) \rightarrow 0 \text{ при } \Delta \text{ и } l \rightarrow 0, R \rightarrow \infty, \quad (2)$$

где  $\Delta$  – величина алгебраической разности сопрягаемых уклонов;  $l$  – длина отрезков прямой между точками выноса отметок;  $R$  – радиус выпуклой или вогнутой кривой.

Таблица 1

Модульный участок, м	IRI, м/км														
	R – 30000 м			R – 15000 м			R – 10000 м			R – 5000 м			R – 2500 м		
	l, м			l, м			l, м			l, м			l, м		
	5	10	20	5	10	20	5	10	20	5	10	20	5	10	20
10	0,04	0,09	0,27	0,09	0,19	0,17	0,13	0,28	0,81	0,27	0,56	0,51	0,54	1,13	2,02
20	0,04	0,09	0,09	0,09	0,19	0,54	0,13	0,28	0,26	0,27	0,56	1,62	0,54	1,13	2,20
30	0,04	0,09	0,27	0,09	0,19	0,17	0,13	0,28	0,81	0,27	0,56	0,51	0,54	1,13	2,02
40	0,04	0,09	0,09	0,09	0,19	0,54	0,13	0,28	0,26	0,27	0,56	1,62	0,54	1,13	2,20
50	0,04	0,09	0,27	0,09	0,19	0,17	0,13	0,28	0,81	0,27	0,56	0,51	0,54	1,13	2,02
60	0,04	0,09	0,09	0,09	0,19	0,54	0,13	0,28	0,26	0,27	0,56	1,62	0,54	1,13	2,20
70	0,04	0,09	0,27	0,09	0,19	0,17	0,13	0,28	0,81	0,27	0,56	0,51	0,54	1,13	2,02
80	0,04	0,09	0,09	0,09	0,19	0,54	0,13	0,28	0,26	0,27	0,56	1,62	0,54	1,13	2,20
90	0,04	0,09	0,27	0,09	0,19	0,17	0,13	0,28	0,81	0,27	0,56	0,51	0,54	1,13	2,02
100	0,04	0,09	0,09	0,09	0,19	0,54	0,13	0,28	0,26	0,27	0,56	1,62	0,54	1,13	2,20

Таблица 2

Модульный участок, м	IRI, м/км														
	R – 8000 м			R – 5000 м			R – 3000 м			R – 2000 м			R – 1500 м		
	l, м			l, м			l, м			l, м			l, м		
	5	10	20	5	10	20	5	10	20	5	10	20	5	10	20
10	0,17	0,35	0,32	0,27	0,56	0,51	0,46	0,93	2,69	0,67	1,39	4,04	0,89	1,88	3,37
20	0,17	0,35	1,01	0,27	0,56	1,62	0,46	0,93	0,86	0,67	1,39	1,28	0,89	1,88	3,66
30	0,17	0,35	0,32	0,27	0,56	0,51	0,46	0,93	2,69	0,67	1,39	4,04	0,89	1,88	3,37
40	0,17	0,35	1,01	0,27	0,56	1,62	0,46	0,93	0,86	0,67	1,39	1,28	0,89	1,88	3,66
50	0,17	0,35	0,32	0,27	0,56	0,51	0,46	0,93	2,69	0,67	1,39	4,04	0,89	1,88	3,37
60	0,17	0,35	1,01	0,27	0,56	1,62	0,46	0,93	0,86	0,67	1,39	1,28	0,89	1,88	3,66
70	0,17	0,35	0,32	0,27	0,56	0,51	0,46	0,93	2,69	0,67	1,39	4,04	0,89	1,88	3,37
80	0,17	0,35	1,01	0,27	0,56	1,62	0,46	0,93	0,86	0,67	1,39	1,28	0,89	1,88	3,66
90	0,17	0,35	0,32	0,27	0,56	0,51	0,46	0,93	2,69	0,67	1,39	4,04	0,89	1,88	3,37
100	0,17	0,35	1,01	0,27	0,56	1,62	0,46	0,93	0,86	0,67	1,39	1,28	0,89	1,88	3,66

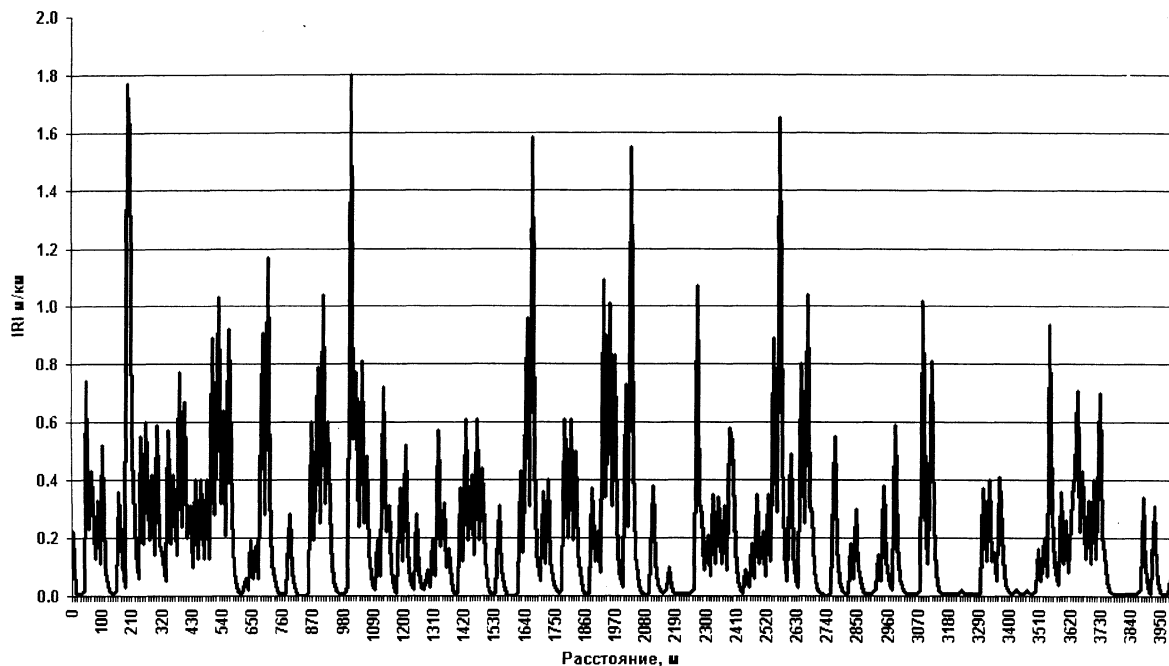


Рис. 3. График значений IRI проекта автомобильной дороги: — — проект

Таким образом, проектирование продольного профиля следует проводить неотъемлемой от технологий устройства дорожной одежды, которую проектировщик должен рекомендовать для последующей реализации в процессе строительства. Необходимо выполнять оценку проектного решения продольного профиля по IRI, чтобы получить уверенность в обеспечении плавности запроектированного продольного профиля. Особенно важно это выполнять, когда проектирование продольного профиля выполняется сплайнами (кривыми с переменным радиусом), способными изменять вогнутость и выпуклость кривых на относительно коротком участке.

Оценка фактического профиля автомобильной дороги М1/Е30 Брест – Минск – гр. Российской Федерации, запроектированного по допустимым требованиям СНиПа 2.05.02–85, свидетельствует (рис. 3), что изменение IRI существенно и зависит именно от характера продольного профиля. На основании этого графика можно было при проектировании дороги внести соответствующие коррективы и тем самым создать условия для повышения плавности хода транспортных потоков.

Причем следует иметь в виду, что все расчеты велись без учета отклонений на строитель-

ные допуски и возможные отклонения струн следящих систем строительной техники от прямолинейности ввиду их провисания, которые могут внести случайные погрешности выноса отметок продольного профиля и вызвать увеличение значений IRI.

## ВЫВОДЫ

1. Проекты автомобильных дорог должны подвергаться экспертизе обеспеченности плавности хода транспортных потоков путем использования методики Документа № 45 Всемирного Банка.

2. Действующие нормы на проектирование, капитальный ремонт и реконструкцию необходимо пересмотреть в направлении усиления требований к длине элементов продольного профиля с постоянным уклоном и снижения величины алгебраической разности сопрягаемых уклонов.

3. В нормативных документах по строительству дорог необходимо установить допуски, соблюдая знаковую системность.

4. При диагностике ровности автомобильных дорог необходимо учитывать отклонения ровности дифференцировано обусловленных

дефектами проектирования, строительства, содержания и ремонта. С учетом этой дифференциации целесообразно принимать соответствующие организационно-управленческие решения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев А. П., Сиденко В. М. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения. – М.: Транспорт, 1990. – 304 с.
2. Диагностика автомобильных дорог: Учеб. пособие / И. И. Леонович, С. В. Богданович, В. В. Голубев и др.; Под ред. И. И. Леоновича. – Мн.: БНТУ, 2002. – 357 с.

3. Sayers M. Characteristic Power Spectral Density Functions for Vertical and Roll Components of Road Roughness: Symposium on Simulation and Control of Ground Vehicles and Transportation Systems. Proceedings / L. Segel, J. Y. Wong, E. H. Law, D. Hrovat. – American Society of Mechanical Engineers, New York, 1986. – P. 113–139.

4. The International Road Roughness Experiment: Establishing Correlation and a Calibration Standard for Measurements: World Bank Technical Paper Number 45.

5. Диагностика автомобильных дорог общего пользования: РД 0219.1.21–2001: Утв. Комитетом по автомобильным дорогам при Министерстве транспорта и коммуникаций Республики Беларусь 07.12.2001. – Мн., 2001. – 84 с.

УДК 625.855.3

## ВЫСОКОПРОЧНЫЕ АСФАЛЬТОБЕТОНЫ С ЗАЩИТНЫМ СЛОЕМ

*Докт. техн. наук, проф. ВЕРЕНЬКО В. А.*

*Белорусский национальный технический университет*

От степени надежности материала покрытия зависят срок службы дорожной одежды, уровень комфортности и безопасности движения. По состоянию дорожного покрытия судят о степени развития производительных сил страны, состоянии ее экономики. Снижение уровня надежности материала покрытия и дорожной одежды в целом ведет к повышенным затратам дорожной (затраты на ремонт) и транспортной отраслей (снижение скорости, повышенный расход горючего, износ транспортных средств).

Конструкционные материалы дорожных одежд функционируют в сложных условиях. В летний период дорожное покрытие нагревается до 50...60 °С. От действия транспортной нагрузки могут появляться пластические деформации в виде волн, колеи, гребенки и т. д. При охлаждении покрытия зимой до минус 20...30 °С возникают растягивающие температурные напряжения, способные превысить предел прочности и вызвать разрушения в виде продольных и поперечных трещин. Циклическое

воздействие транспортной нагрузки, попеременное замораживание–оттаивание вызывают дополнительное развитие повреждаемости в структуре материала и ускоряют его разрушение.

Решение проблемы надежности материалов дорожных покрытий необходимо вести двумя путями:

- совершенствованием методики оценки надежности и долговечности материала покрытия;

- решением ряда организационных, материаловедческих, технологических и конструктивных задач, обеспечивающих требуемый уровень надежности на практике.

Первая задача может быть решена вычислением коэффициентов запаса, отражающих устойчивость материала к основным факторам внешнего воздействия (критерии сдвига и трещиностойкости, морозостойкости, усталости):

$$K_i = \frac{P_i^{\Phi}}{P_i^{\text{TP}}}, \quad (1)$$