

**ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА**

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 1680-9165

№ 4 (2020)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**
выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ63VPY00028965

выдано
Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация результатов фундаментальных и прикладных научных исследований
по широкому спектру проблем в области металлургии, машиностроения, транспорта,
строительства и естественных наук

Подписной индекс – 76129

Импакт-фактор РИНЦ – 0,344

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Гумаров Гали Сагингалиевич – д.т.н., профессор (Уральск, Казахстан);
Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Украинец Виталий Николаевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Богомоллов Алексей Витальевич - к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Жажибаева Галия Тулеуевна - к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

Зарубежные члены редакционной коллегии:

Baigang Sun – профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Lapuerta – д.т.н., профессор (СьюДад Исаева КуралайСметкановна Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Бочкарев Петр Юрьевич – д.т.н., профессор (Саратов, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Чайкин Владимир Андреевич – д.т.н., профессор (Магнитогорск, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

Ю. В. Буртыль

Белорусский национальный технический университет,
Республика Беларусь, г. Минск

ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ РОВНОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

В статье рассматриваются вопросы прогнозирования формирования необратимых деформаций дорожных одежд, как с учетом известных теоретических моделей, так и на основании предложенной автором аппроксимированной модели изменения ровности покрытий дорог во времени.

Ключевые слова: автомобильные дороги, прочность, международный индекс неровности, покрытия, деформации.

ВВЕДЕНИЕ

Деформации в слоях дорожной одежды характеризуют общее снижение прочности конструкции, сопровождаемое дальнейшим разрушением и разуплотнением материалов. Неровности покрытия автомобильной дороги формируются по причинам возникновения необратимых деформаций в покрытии и слоях дорожной одежды, под действием транспортных нагрузок и погодноклиматических факторов. При эксплуатации автомобильной дороги прирост неровностей непосредственно связан с приростом деформаций. Рассматривая процесс накопления неровностей можно утверждать об интенсивности формирования деформаций, и в дальнейшем, прогнозировать снижение прочности дорожной конструкции.

Причинами возникновения неровностей могут быть различные факторы: увлажнение грунтов и несвязных слоев основания, разуплотнение слоев из минеральных материалов, процессы замораживания и оттаивания, высокие положительные температуры, изменение вязкости битумных составляющих, а также срок службы дорожной конструкции и прирост интенсивности движения автомобилей. Все эти факторы формируют неровности с различной периодичностью и интенсивностью, но учитывать их при прогнозировании необходимо в комплексе.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование процессов формирования деформаций и неровностей дорожных одежд.

Рассматривая процесс прогнозирования необратимых деформаций, мы одновременно рассматриваем процесс формирования неровностей. Можно утверждать, что эти два процесса взаимосвязаны и отражение деформации

материалов в дорожной одежде на покрытии зависит от общей жесткости дорожной конструкции (1)

$$\Delta l = \varepsilon_N \cdot R, \quad (1)$$

где Δl – неровности, отражаемые на покрытии, мм;

ε_N – суммарная необратимая деформация в слоях дорожной одежды, мм;

R – коэффициент отражения деформаций, учитывающий жесткость дорожной конструкции, $R < 1$.

Деформации и неровности влияют на безопасность движения транспорта и долговечность автомобильной дороги:

а) деформации, отражаемые на покрытии в виде неровностей, увеличивают динамическое воздействие на дорогу и амплитуду колебания колеса, что приводит к скорейшему разрушению как дорожного покрытия, так и подвески автомобиля;

б) при совпадении частоты колебаний автомобиля с собственными частотами колебаний дороги, при движении по неровностям, возникает резкое возрастание амплитуды, что может привести к опрокидыванию автомобиля, особенно при дальнейшем торможении для погашения резонанса;

в) при движении автомобиля по неровностям возможен отрыв колеса от покрытия, что может спровоцировать кратковременную потерю управления автомобилем при высоких скоростях, особенно на мокром покрытии;

г) снижение скорости движения транспортного потока, вследствие широкого разброса частот колебаний автомобиля, вызванных неровностями, приводит к снижению потребительских качеств дороги: пропускной способности, уровня загрузки движением, экологической безопасности.

д) нестабильное движение автомобиля по неровностям приводит к длительному повышенному вниманию и напряжению водителя, что в свою очередь ведет к общей утомляемости и снижению объективной оценки ситуации на дороге.

Структура дорожно-строительных материалов представляет собой систему упругих и вязкопластичных связей, и общая деформация определяется исходя из ее составляющих: обратимой (упругой) и необратимой (пластической).

В зарубежных исследованиях для прогнозирования деформаций разработаны модели, учитывающие такие параметры как напряжения, начальную деформацию в материалах, количество приложенных нагрузок, эмпирические параметры уравнений регрессии, полученные в результате испытаний. В таблице 1 приведены некоторые модели расчета необратимых деформаций (ε_N) зарубежных разработчиков.

Таблица 1 – Формулы для расчета необратимых деформаций при воздействии повторных нагрузок

Формула	Параметры формулы	Разработчик, источник
$\varepsilon_N = a + b \cdot \lg N$	N – количество приложенных расчетных нагрузок, единиц a, b – параметры модели	Barksdale R.D., University of Michigan (Англия) [1]
$\varepsilon_N = \varepsilon_1 + a \cdot \lg N + b \cdot (\lg N)^2$	ε_1 – остаточная начальная деформация, возникающая при первом приложении нагрузки, мм; N – количество приложенных расчетных нагрузок, единиц; a, b – параметры модели.	Leng J., North Carolina State university (США) [2]
$\varepsilon_N = A \cdot ((\sigma_1 - \sigma_3) / \sigma_s)^b \cdot (B + \lg N)$	A, b, B – параметры модели, являющиеся постоянными для различных материалов, σ_1 , σ_3 – нормальные напряжения по площадкам, МПа, σ_s – предельный девиатор напряжений, МПа.	Cheung L.W., the University of Nottingham (Великобритания) [3]
$\varepsilon_N = \varepsilon_6 \cdot (NE/10^6)^b \cdot [E_{(10^\circ\text{C})} / E_{(15^\circ\text{C})}]^{0.5} \cdot k_c \cdot k_r \cdot k_s$	ε_6 – деформация при прохождении 106 циклов нагрузки, мм; NE – количество приложений нагрузки, единиц; $E_{(10^\circ\text{C})}$ – модуль упругости при 10 °С; $E_{(15^\circ\text{C})}$ – модуль упругости при 15 °С; k_c – коэффициент для различных типов асфальтобетона (1-1,5); k_r – коэффициент вероятности; k_s – коэффициент неоднородности грунтов	Petit C., Diakhaté M., Université de Limoges (Франция) [4]
$\varepsilon_N = (A + m \cdot N) \cdot (1 - \exp[-B \cdot N])$	N – количество приложенных расчетных нагрузок, единиц; m, A, B – параметры уравнения регрессии.	Wolff H., Visser A. [5]

Представленные модели ориентированы в основном на силовые факторы: прочность дорожной конструкции и величину нагрузки (напряжения). Необратимые деформации наиболее интенсивно формируются при условии превышения фактического количества нагрузок над расчетным значением. Общая схема развития деформации при приложении нагрузки приведена на рисунке 1.

Для дорожной одежды прочность и надежность будут обеспечены при выполнении условия (2)

$$\sum_{i=1}^t \frac{\varepsilon_N}{\varepsilon_i} \geq 1 \quad (2)$$

где t – расчетный период приложения нагрузки, лет;
 ε_N – допустимый объем необратимых деформаций за год, мм;
 ε_i – фактический объем необратимых деформаций за год, мм.

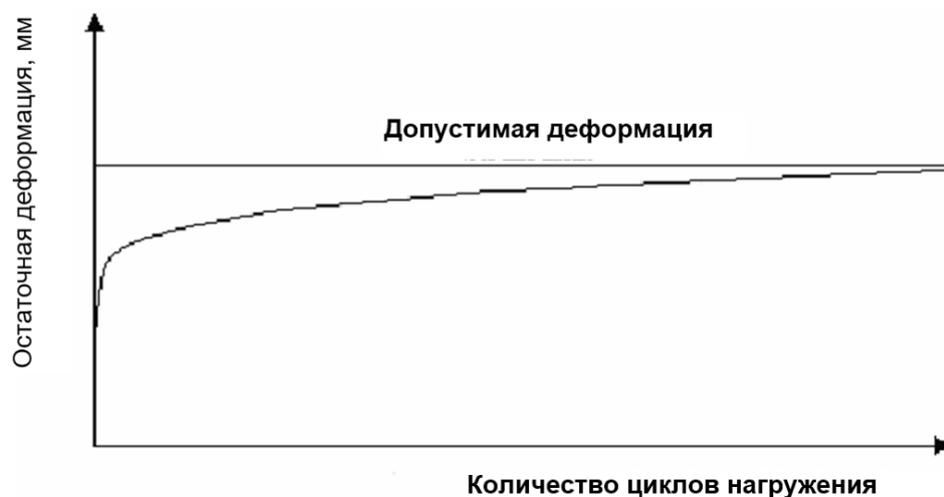


Рисунок 1 – Изменение необратимой деформации при повторных нагрузках

ВЫВОДЫ

В прогнозных моделях не учитывается ряд факторов, оказывающих существенное влияние на процессы формирования необратимой деформации в слоях материалов дорожных конструкций:

а) при воздействии транспортных нагрузок на дорожное покрытие не учитываются усталостные свойства материалов, характеризующиеся не только количеством проходов транспортных средств, но и периодичностью приложения нагрузки в интервалах 0,1–0,01 с.

б) при возникновении переменных напряжений на элементарную площадку асфальтобетонного покрытия: на стадии подъезда транспортного средства к площадке, непосредственного воздействия и воздействия после снятия нагрузки присутствует эффекта Баушингера, при котором пластические деформации формируются при изменении знака напряжений не зависимо от величины нагрузки [6–11].

в) изменение структуры дорожной одежды при перемешивании материалов и свойств битума в асфальтобетоне, влияние водной среды, дефекты на покрытии не позволяют рассматривать объект воздействия – дорожную конструкцию как стабильную систему, имеющую фиксированные прочностные характеристики в течении длительного времени.

г) при высоких температурах асфальтобетонное покрытие работает не только в упругой стадии, но и в пластичной (закон вязкого течения) и в этом случае модель прогнозирования деформаций не будет соответствовать математической модели строго для упругой деформации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Barksdale, R. D.** Laboratory Evaluation of Rutting in Base course materials / R.D. Barksdale // Proceedings of the 3 rd International conference on asphalt pavements, London, September 11–15, 1972 / University of Michigan. – London, 1972. – P. 161–174.

2 **Leng, J.** Characteristics and behavior of geogrid-reinforced aggregate under cyclic load : dissertation submitted Doctor of philosophy : 2002 / J. Leng; North Carolina State university. – North Carolina, USA, 2002. – 152 p.

3 **Cheung, L. W.** Laboratory assessment of pavement foundation materials : dissertation submitted Doctor of philosophy : 1994 / L.W. Cheung ; the University of Nottingham. – Nottingham, United Kingdom, 1994. – 224 p.

4 **Petit, C.** Fatigue performance of interfaces and longitudinal top-down cracking in multilayered pavements / Petit C., Malick D., Millien A., Phelipot-Mardelé A., Pouteau B // Road Materials and Pavement Design. – 2009. – № 10(3). – P. 609–624.

5 **Wolff, H.** Incorporating elasto-plasticity in granular layer pavement design institution of civil engineers transport / Wolff H., Visser A. // Proceedings of Institution of Civil Engineers Transport. – London, 1994. – P. 259–272.

6 **Буртыль, Ю. В.** Критерии эксплуатационной надежности автомобильных дорог с жесткими дорожными одедами / Ю. В. Буртыль // Автомобильные дороги и мосты – 2012. – № 2. – С. 21–31.

7 Дороги автомобильные общего пользования. Диагностика. Определение продольного микропрофиля дорожной поверхности и международного показателя ровности IRI. Общие требования и порядок проведения : СТО МАДИ 02066517.1-2006. – Введ. 14.08.2006. – М., 2006. – 42 с.

8 Дороги автомобильные и аэродромы. Методы измерений неровностей оснований и покрытий : СТ РК 1219-2003. – Введ. 16.07.2003. – Алматы, 2003. – 59 с.

9 Технический регламент Таможенного союза. Безопасность автомобильных дорог : ТР ТС 014/2011. – Введ. 18.11.11. – СПб., 2011. – 30 с.

10 **Бахрах, Г. С.** Сопоставительная модель оценки срока службы дорожных одежд жесткого типа по критерию усталостного растрескивания при их конструировании / Г.С. Бахрах // тр. ГП Росдорнии, Вып. 9. – М., 1998. – С. 51–59.

11 Автомобильные дороги. Нормы проектирования : ТКП 45-3.03-19-2006. – Введ. 26.01.06. – Минск : Минстройархитектуры, 2006. – 42 с.

REFERENCES

1 **Barksdale, R. D.** Laboratory Evaluation of Rutting in Base course materials / R.D. Barksdale // Proceedings of the 3 rd International conference on asphalt pavements, London, September 11-15, 1972 / University of Michigan. – London, 1972. – P. 161–174.

2 **Leng, J.** Characteristics and behavior of geogrid-reinforced aggregate under cyclic load : dissertation submitted Doctor of philosophy : 2002 / J. Leng; North Carolina State university. – North Carolina, USA, 2002. – 152 p.

3 **Cheung, L. W.** Laboratory assessment of pavement foundation materials : dissertation submitted Doctor of philosophy : 1994 / L.W. Cheung ; the University of Nottingham. – Nottingham, United Kingdom, 1994. – 224 p.

4 **Petit, C.** Fatigue performance of interfaces and longitudinal top-down cracking in multilayered pavements / Petit C., Malick D., Millien A., Phelipot-Mardelé A., Pouteau B // Road Materials and Pavement Design. – 2009. – № 10(3). – P. 609–624.

5 **Wolff, H.** Incorporating elasto-plasticity in granular layer pavement design institution of civil engineers transport / Wolff H., Visser A. // Proceedings of Institution of Civil Engineers Transport. – London, 1994. – P. 259–272.

6 **Burtyl', Yu. V.** Kriterii e'kspluatsacionnoj nadezhnosti avtomobil'ny'x dorog s nezhestkimi dorozhny'mi odezhdami [Burtyl', Yu. V. Criteria for operational reliability of highways with non-rigid road clothing / Yu. V. Burtyl'] // Highways and bridges-2012. – No. 2. – P. 21-31.

7 Dorogi avtomobil'ny'e obshhego pol'zovaniya. Diagnostika. Opreделение prodol'nogo mikroprofilya dorozhnoj poverxnosti i mezhdunarodnogo pokazatelya rovnosti IRI. Obshhie trebovaniya i poryadok provedeniya [Roads of General use. Diagnostics. Determination of the longitudinal profile of the road surface and the international indicator of evenness IRI. General requirements and procedure]: STO MAD1 02066517.1-2006. – Introduction. 14.08.2006. – M., 2006. – 42 p.

8 Dorogi avtomobil'ny'e i ae'rodromy'. Metody' izmerenij nerovnostej osnovanij i pokry'tij [Automobile roads and airfields. Methods of measurement of unevenness of bases and coatings]: ST RK 1219-2003. – Introduction. 16.07.2003. – Almaty, 2003. – 59 p.

9 Texnicheskij reglament Tamozhennogo soyuza. Bezopasnost' avtomobil'ny'x dorog [Technical regulations of the Customs Union. Road safety] : TR CU 014/2011. – Introduction. 18.11.11. – SPb., 2011. – 30 с.

10 **Bakhrakh, G. S.** Sopostavitel'naya model' ocenki sroka sluzhby' dorozhny'x odezhd nezhestkogo tipa po kriteriyu ustalostnogo rastreskivaniya pri ix konstruirovanii [Bakhrakh, G. S. Comparative assessment model for service life road pavement of non-rigid type according to the criterion of fatigue cracking at the design / Bakhrakh G. S.] // proc. GP Rosdornii, Vol. 9. – M., 1998. – S. 51–59.

11 Avtomobil'ny'e dorogi. Normy` proektirovaniya [Road. Design standards]: ТКР 45-3. 03-19-2006. – Introduction. 26.01.06. – Minsk : Minstroyarkhitektury, 2006. – 42 p.

Материал поступил в редакцию 21.12.20.

Ю. В. Буртыль

Белорусь ұлттық техникалық университеті,
Белорусь Республикасы, Минск қ.
Материал 21.12.20 баспаға түсті.

ЖОЛ ТӨСЕМДЕРІ ТЕГІСТІГІНІҢ ӨЗГЕРУІН ЗЕРТТЕУ

Мақалада белгілі теориялық модельдерді ескере отырып, жол жамылғысының қайтымсыз деформацияларының пайда болуын болжау мәселелері қарастырылады, сонымен қатар автор ұсынған уақыт өте келе жол жамылғысының тегістігін өзгерту моделінің негізінде.

Кілтті сөздер: автомобиль жолдары, беріктігі, халықаралық кедір-индексі, жабын, деформация.

Y. V. Burtyl

Belarusian National Technical University,
Republic of Belarus, Minsk.
Material received on 21.12.20.

SCIENTIFIC AND PRACTICAL RESEARCH EVENNESS HIGHWAYS

The article examines the formation of irreversible deformation prediction pavements, as based on the known theoretical models, and on the basis proposed by the author of the approximated model changes evenness of roads over time.

Keywords: highways, strength, international roughness index, coating, deformation.

Теруге 29.12.20. ж. жіберілді. Басуға 10.01.21. ж. қол қойылды.
Форматы 297*420/2. Кітап-журнал қағазы.
Шартты баспа табағы 6,04. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.
Компьютерде беттеген З. С. Исакова
Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3721

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған
Торайғыров университеті
140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы
Торайғыров университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.
67-36-69

e-mail: kereku@psu.kz
www.vestnik.psu.kz
www.nitk.psu.kz