

УДК 625.855.3.033.3

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ УРОВНЕЙ ИХ ВИБРОНАГРУЖЕННОСТИ

Канд. техн. наук, доц. ОСИНОВСКАЯ В. А.¹⁾

¹⁾Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет – МАДИ
(Москва, Российская Федерация)

E-mail: onika44@mail.ru

Проблема низкой долговечности дорожных одежд с асфальтобетонными покрытиями является одной из важнейших в дорожной отрасли: фактические сроки службы асфальтобетонных покрытий в России не превышают 3–5 лет. Плохое состояние автомобильных дорог – тормоз для развития народного хозяйства, что приводит к значительным ежегодным экономическим потерям. В настоящее время эта задача не имеет однозначного решения. Даже при кажущемся хорошем состоянии дорог Европы и Америки проблема низкой долговечности стоит не менее остро и в этих странах. Данные вопросы с каждым годом становятся все более актуальными.

Проведенные автором научные исследования позволили выдвинуть гипотезу, что проектируемые дорожные конструкции не обладают необходимой прочностью еще на стадии проектирования, потому что в расчетах на прочность совершенно не учитывается вибрация дорожных конструкций. Особенно актуальным учет вибрационного нагружения становится в наши дни, поскольку значительно изменился характер нагружения дорожных конструкций. В результате прогибы дорожных конструкций уменьшаются, но возросшая вибрация ускоряет процессы разрушения и существенно снижает их долговечность.

Разработанная теория вибрационного разрушения позволяет регулировать вибрационный механизм, формировать виброзащищенные дорожные конструкции, а также прогнозировать их остаточный ресурс, что дает возможность более эффективно разрабатывать ремонтные мероприятия.

Ключевые слова: автомобильная дорога, жесткая дорожная одежда, проектирование, колебания, виброзащита, долговечность.

Ил. 2. Библиогр.: 15 назв.

FORECASTING OF DURABILITY OF ASPHALT-CONCRETE PAVEMENT ON THE BASIS OF THEIR VIBRATION LOADING RATE

OSINOVSKAYA V. A.¹⁾

¹⁾Moscow Automobile and Road Construction University – MADI (Moscow, Russian Federation)

The problem of low durability of road pavement with asphalt-concrete surfacing is considered as one of the most important issues in highway sector. So the actual service life of the asphalt-concrete pavement in Russia does not exceed 3–5 years. Poor condition of automobile roads is an obstacle for the development of national economy that leads to significant annual economic losses. At the present time this problem does not have a single solution. Even having semblant good conditions of roads in Europe and America the problem of low durability is still a challenge in these countries as well. And these problems becomes more and more actual with every passing year.

The executed researches investigations have made it possible to develop a hypothesis that designed road constructions do not have the required durability even at the designing stage because while making strength calculations vibration of road constructions is not taken into account. The vibration loading becomes rather important at the present day because character of road construction loading has been changed rather substantially. Due to this deflections of the road constructions are diminishing but their increased vibration accelerates destruction processes and significantly reduces durability of the constructions.

The developed theory of vibration destruction allows to control a vibration mechanism, to form vibration proof road constructions and predict their residual life of pavements that provides the possibility to organize efficient repair measures.

Keywords: automobile road, flexible pavement, designing, vibrations, vibration protection, durability.

Fig. 2. Ref.: 15 titles.

Введение. Наиболее уязвимым элементом дорожной конструкции является асфальтобетонное покрытие. Это связано с тем, что непосредственно на него оказывают воздействие движущийся автомобильный транспорт и окру-

жающая среда. Разрушение покрытий, имеющих выбоины, трещины и нарушения ровности, учитывается при проектировании и расчетах дорожных конструкций на прочность. При этом предусматривается, что предельно допустимый

уровень этих разрушений ожидается только в конце планового срока эксплуатации, что вызывает необходимость проведения капитального ремонта дорог.

Если конструирование нежестких дорожных одежд в странах СНГ производится на основе теоретического расчета, то за рубежом основное внимание уделяется экспериментальным исследованиям. Например, широко известен эксперимент AASHO [1], в результате которого были созданы альбомы типовых дорожных конструкций.

В странах СНГ методологическая база расчета и конструирования нежестких дорожных одежд базируется на многолетних научных трудах выдающихся ученых-дорожников, включая таких, как Н. Н. Иванов, А. К. Бируля, В. Ф. Бабков, А. М. Кривиский, М. Б. Корсунский и др. [2–4]. В их работах за показатель прочности дорожной конструкции принята некоторая комплексная характеристика – допускаемый упругий прогиб. Расчет на прочность нежесткой дорожной одежды предусмотрен для наиболее опасного весеннего периода года, когда происходит переувлажнение земляного полотна. В расчет закладываются значительные запасы прочности, учитываются закономерности работы дорожных конструкций под действием статических и динамических нагрузок. Однако при эксплуатации мы имеем преждевременное разрушение.

Все это время дорожная наука не стояла на месте. Разрабатывались новые материалы (например, ЩМА), вводились новые элементы (геосетки), совершенствовались технологии строительства и контроля качества. Однако значительных результатов в области повышения долговечности дорожных одежд в настоящее время нет.

Проблема преждевременного разрушения асфальтобетонных покрытий стоит достаточно остро во всем мире. Признание данного факта – это появление в последнее время научных концепций «вечных» дорожных одежд [5]. Суть таких концепций – дорожная конструкция должна иметь прочное основание, работоспособное в течение 50 лет эксплуатации, и «сменное» асфальтобетонное покрытие.

Для того чтобы избежать преждевременного разрушения асфальтобетонных покрытий, необходимо прежде всего выявить причины этого явления. Проведенные автором научные исследования позволили установить следующее [6–8]:

- дорожные конструкции, в том числе асфальтобетонные покрытия, не обладают в эксплуатации необходимой прочностью;
- недостаточная прочность покрытий закладывается при самом проектировании, так как при расчетах на прочность даже косвенно не учитывается дополнительное динамическое воздействие на дорожные слои в виде вибрационного нагружения;
- вибрационное нагружение по разрушительной способности не только сопоставимо с нагружениями от колес движущегося автомобильного транспорта, но, обладая спецификой знакопеременных деформаций, может превосходить все виды других нагружений;
- долговечность асфальтобетонных покрытий напрямую связана с уровнем вибрационных нагружений (большой уровень – малая долговечность);
- уровнем вибрационного нагружения можно управлять и формировать его и, следовательно, повышать долговечность асфальтобетонных покрытий.

Особенно актуальным учет вибрационного нагружения становится в наши дни, поскольку значительно изменились характер нагружения дорожных конструкций и сами конструкции. В транспортных потоках появилось большое количество большегрузных многоосных автомобилей, возросли нагрузки на ось, что привело к увеличению статической и динамической нагрузок на дорогу, а возросшие скорости движения сократили время контакта колеса с покрытием в отдельных точках поверхности. Увеличились толщины конструкций дорожных одежд и соответственно суммарная прочность. За рубежом толщина конструкций с асфальтобетонными покрытиями достигает 1,5 м. В результате прогибы дорожной конструкции уменьшаются, но возросшая вибрация ускорила процессы разрушения и существенно снизила их долговечность.

Вибрация слоев дорожной одежды. При воздействии колес движущихся автомобилей на дорожную конструкцию в ней возбуждаются свободные затухающие колебания, которые развиваются в каждом слое дорожной одежды и грунте земляного полотна. В связи с тем, что все эти элементы имеют между собой упругие и инерционные связи, их колебания совершаются как совместные и взаимосвязанные. Колебания дорожных конструкций можно зафиксировать с помощью вибродатчиков, установленных на поверхности покрытия, как это показано на рис. 1.

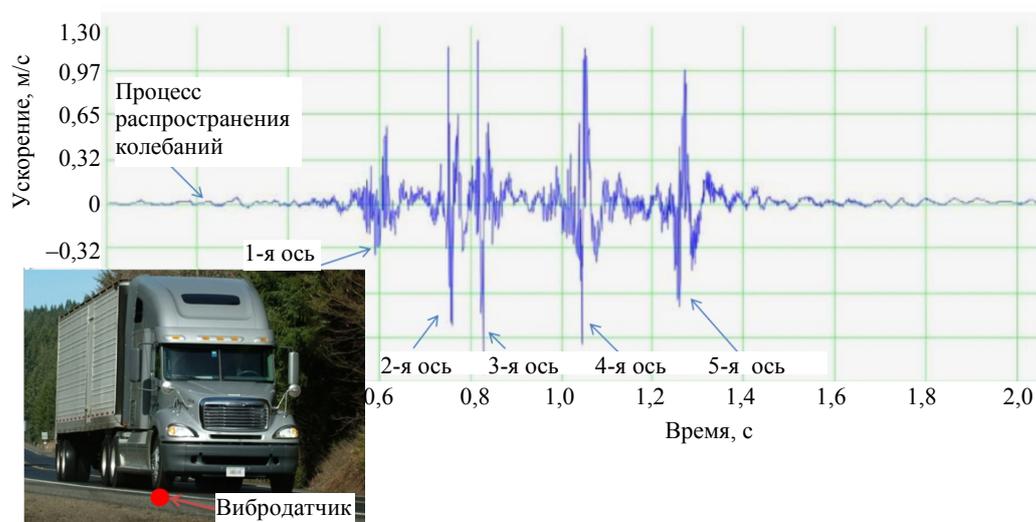


Рис. 1. Экспериментальная запись вибрации дорожной конструкции [9]

Представленная на рис. 1 экспериментальная запись вибрации используется в качестве амплитудно-временной характеристики отклика дорожной конструкции на внешнее воздействие колес. Экспериментальные записи колебательных процессов реальных дорожных конструкций позволяют выявить некоторую совокупность частот колебаний всей системы и оценить уровни этих колебаний по величинам виброускорений, виброскоростей и виброперемещений. К сожалению, все эти показатели мало информативны для оценки прочности или долговечности дорожных конструкций. Во-первых, определение общих частот свободных колебаний имеет значение главным образом при выявлении зон вынужденных колебаний (дorzонансных, резонансных и зарезонансных). Вынужденные колебания в конкретных точках поперечного сечения дорожной конструкции (места установки вибродатчиков) отсутствуют, так как источником возбуждения колебаний являются движущиеся автомобили.

Во-вторых, по величинам виброускорений на поверхности покрытия невозможно оценить возникающие при колебаниях деформации и напряжения в дорожных слоях и, следовательно, выявить связь с разрушительными процессами дорожных конструкций.

Вибрационное нагружение дорожной конструкции. Оценку разрушительной способности виброн нагружения можно проводить на основе теоретической модели колебаний дорожной конструкции, разработанной автором [10]. Модель позволяет установить вибрационные деформации дорожных слоев и выявить их

прочностные качества, в том числе и по отношению к вибрационному нагружению. Кроме того, с ее помощью можно рассчитать вибрационные прогибы как каждого слоя, так и всей дорожной конструкции. Эти прогибы, если они учтены при проектировании дорожных одежд, позволяют не только заложить необходимые прочностные показатели на стадии проектирования, но и спрогнозировать долговечность отдельных дорожных слоев, включая слои асфальтобетонного покрытия.

Возникающее при колебаниях вибрационное нагружение дорожной конструкции – это процесс силового взаимодействия слоев дорожной одежды и грунта земляного полотна, формирующий в конструкции деформации (прогибы) и напряжения.

В результате комплекса теоретических исследований автором созданы модели колебаний различных дорожных конструкций и определены их динамические показатели [11].

Эти модели позволяют имитировать колебания дорожных слоев при формировании общего колебательного процесса конструкций. Они обладают обязательным критерием подобия для колебательных систем, а именно совпадением совокупности частот свободных колебаний дорожной конструкции и модели. На основе моделей можно определить, например, изгибные деформации или прогибы слоев асфальтобетонного покрытия, реализуемые при колебательных процессах. Особенности моделей состоят также в том, что в число их динамических показателей входят расчетные характеристики, используемые в нормах на

проектирование, а именно, расчетные модули упругости и плотности.

При расчете асфальтобетонных покрытий на сопротивление усталостному разрушению при изгибе с учетом вибрационного нагружения вибрационные прогибы с использованием специально разработанной технологии переводятся в дополнительное воздействие от условных движущихся расчетных автомобилей. Это позволяет выразить вибрационное нагружение через некоторое количество дополнительных приложений расчетной нагрузки за плановый срок службы. Эффект от этого равносителен реализации сверхплановой интенсивности движения [12].

Прогнозирование долговечности асфальтобетонных покрытий. Для прогнозирования долговечности асфальтобетонных покрытий на основе их усталостной прочности разработан и предложен графоаналитический метод. Алгоритм реализации метода заключается в следующем:

- рассчитывается теоретическая кривая усталости асфальтобетонного покрытия по уравнению [13]

$$\sum N_{p15} = \left(\alpha K_2 (1 - v_R t) \frac{R_0}{R_N} \right)^m, \quad (1)$$

где R_0 – нормативное значение предельного сопротивления растяжению при изгибе; R_N – предельное растягивающее напряжение; K_2 – коэффициент, учитывающий влияние погодноклиматических факторов ($K_2 = 0,8$); v_R – коэффициент вариации прочности на растяжение ($v_R = 0,1$); t – коэффициент нормативного отклонения ($t = 1,71$); α – коэффициент уточнения; m – показатель, зависящий от свойств материала;

- рассчитываются кривые нагружения конкретных спроектированных дорожных конструкций

$$\sum N_p = 0,7 N_p \frac{K_c}{q^{T-1}} T_{p.d.g} K_n, \quad (2)$$

где N_p – интенсивность движения на конец срока службы, авт./сут.; $\sum N_p$ – сумма нагружений за весь период работы, авт.; K_c – коэффициент суммирования,

$$K_c = \frac{q^T - 1}{q - 1}; \quad (3)$$

q – показатель приращения интенсивности по годам; $T_{p.d.g}$ – число расчетных климатических

дней в году, дн.; K_n – коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого;

- строится номограмма определения сроков усталостного разрушения дорожного покрытия. Вид номограммы показан на рис. 2.

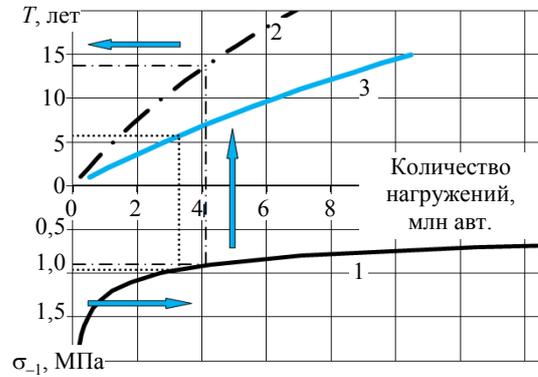


Рис. 2. Диаграмма определения прогнозируемых сроков усталостного разрушения дорожного покрытия с учетом вибрации: 1 – кривая усталости; 2 – то же виброн нагружения виброзащищенного конструктивного варианта; 3 – то же традиционной конструкции

Как видно из номограммы, по ней можно спрогнозировать долговечность асфальтобетонного покрытия, а также дать сравнительную оценку прочностных качеств покрытий для различных дорожных конструкций. На рис. 2 представлена кривая нагружения для конструкции с пониженным уровнем виброн нагружения. Для создания конструкции с пониженным уровнем виброн нагружения разработан специальный, предназначенный для дорожных конструкций метод виброзащиты [14]. Данная конструкция защищена патентом на изобретение [15]. Из номограммы также следует, что долговечность асфальтобетонных покрытий можно значительно повысить, осуществляя мероприятия по виброзащите дорожных слоев.

ВЫВОДЫ

1. В результате проведенного цикла исследований установлено, что одной из основных причин низкой долговечности в эксплуатации нежестких дорожных одежд является высокий уровень их вибрационного нагружения. Отсутствие учета этого вида нагружения приводит к тому, что недостаточные прочностные показатели дорожных одежд закладываются еще на стадии проектирования.

2. Разработанный метод виброзащиты позволил сформировать в дорожной конструкции

колебательные процессы с противофазным действием динамических сил и за счет этого достичь пониженных вибрационных нагрузений.

3. Выполненные оценки прогнозной долговечности различных дорожных конструкций, находящихся в эксплуатации, показали почти полное совпадение прогнозных и эксплуатационных долговечностей, если учитывать собственную вибрацию дорожных конструкций с асфальтобетонными покрытиями в общем числе воздействий на конструкцию. Эти прогнозы могут быть использованы при планировании ремонтных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. The AASHO Road Test. Report 5-Pavement Research. – USA: Washington, 1962. – 300 p.
2. Иванов, Н. Н. Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд / Н. Н. Иванов. – М.: Транспорт, 1973. – 328 с.
3. Бабков, В. Ф. Проектирование автомобильных дорог: в 2 ч. / В. Ф. Бабков, О. В. Андреев. – М.: Транспорт, 1987. – Ч. 2. – 367 с.
4. Радовский, Б. С. Теоретические основы конструирования и расчета нежестких дорожных одежд на воздействие подвижных нагрузок: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.03 / Б. С. Радовский. – Киев, 1982. – 436 с.
5. Золотарев, В. А. Концепция вечных дорожных одежд / В. А. Золотарев // Автомобильные дороги. – 2013. – № 2. – С. 60–63.
6. Осиновская, В. А. Вертикальная динамика автомобильной дороги при ударном воздействии автомобиля / В. А. Осиновская // Колебания и волны в дорожных конструкциях / А. В. Смирнов. – Омск: СибАДИ, 2006. – С. 82–106.
7. Осиновская, В. А. Вибрационное разрушение нежестких дорожных одежд / В. А. Осиновская. – М.: Техполиграфцентр, 2008. – 203 с.
8. Осиновская, В. А. Методика проектирования нежестких дорожных одежд при учете вибрационного нагружения / В. А. Осиновская // Интернет-журнал «Наукоеведение». – 2012. – № 4 (13) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/4vn412.pdf>.
9. Илиополов, С. К. Долговечность асфальтобетонных покрытий в условиях роста динамических воздействий транспортных средств / С. К. Илиополов, Е. В. Углова // Автомобильные дороги и мосты. – 2007. – Вып. 4. – 84 с.
10. Осиновская, В. А. Моделирование частотного спектра колебаний дорожной конструкции автомобильной дороги / В. А. Осиновская // Вестник МАДИ. – 2013. – Вып. 4 (35). – С. 72–77.
11. Осиновская, В. А. Вопросы моделирования колебаний нежестких дорожных одежд / В. А. Осиновская // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2012. – № 4. – С. 26–28.
12. Осиновская, В. А. Вибрационное нагружение нежестких дорожных одежд / В. А. Осиновская // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2014. – Вып. 1 (33). – С. 34–44.
13. Осиновская, В. А. Влияние вибрации нежестких дорожных одежд на их прочность / В. А. Осиновская // Интернет-журнал «Наукоеведение». – 2014. – № 5 (24) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/23KO514.pdf>.
14. Осиновская, В. А. Пути повышения долговечности нежестких дорожных одежд / В. А. Осиновская // Вестник МАДИ. – 2011. – № 4 (27). – С. 77–80.
15. Конструкция дорожной одежды: пат. 2399715 С1 Рос. Федерации: МПК⁷ E01C / В. А. Осиновская; дата публ. 20.09.2010.

Поступила 07.07.2015

REFERENCES

1. Highway Research Board (HRB). (1962) The AASHO Road Test. Report 5-Pavement Research. Washington, National Academy of Sciences – National Research Council. 300 p.
2. Ivanov, N. N. (1973) *Designing and Calculation of Flexible Pavement*. Moscow, Transport. 328 p. (in Russian).
3. Babkov, V. F., & Andreyev, O. V. (1987) *Design of Highways. Parts 2*. Moscow, Transport. 367 p. (in Russian).
4. Radovsky, B. S. (1982) *Teoreticheskie Osnovy Konstruirovaniia i Rascheta Nezhestkikh Dorozhnykh Odezhd na Vozdeistvie Podvizhnykh Nagruzok. Dis. d-ra tekhn. nauk* [Theoretical Principles on Designing and Calculation of Flexible Pavements in Respect of Mobile Loading. Abstract of Ph.D. Thesis in Engineering Science]. Kiev. 436 p. (in Russian).
5. Zolotarev, V. A. (2013) Concept of Eternal Pavement. *Avtomobilnye Dorogi* [Automobile Roads], 2, 60–63 (in Russian).
6. Osinovskaya, V. A., & Smirnov, A. V. (2006) Vertical Dynamics of the Highway in Case of Vehicle Impact Effect. *Fluctuations and Waves in Road Structures*. Omsk: Siberian Automobile and Highway Institute, 82–106 (in Russian).
7. Osinovskaya, V. A. (2008) *Vibration Destruction of Flexible Pavements*. Moscow, Publishing House “Tekhpolygraphtsentr”. 203 p. (in Russian).
8. Osinovskaya, V. A. (2012) Methodology for Designing Flexible Pavements while Taking into Account Vibration Loading. *Naukovedenie* [Science Studies], 4 (13). Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/4vn412.pdf> (in Russian).
9. Iliopolov, S. K., & Uglova, E. V. (2007) Durability of Asphalt-Concrete Pavements in Case of Increase of Dynamic Actions Caused by Transport Facilities. *Avtomobilnye Dorogi i Mosty* [Automobile Roads and Bridges], 4, 84 p. (in Russian).
10. Osinovskaya, V. A. (2013) Modeling of Frequency Fluctuation Range for Road Structure of Highway. *Vestnik Moskovskogo Avtomobilno-Dorozhnogo Instituta (Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta)* [Moscow Automobile and Road Construction University – MADI], 4 (35), 72–77 (in Russian).
11. Osinovskaya, V. A. (2012) Problems on Modeling of Flexible Pavement Fluctuations. *Nauka i Tekhnika v Dorozhnoy Otrastli* [Science and Technique in Road Sector], 4, 26–28 (in Russian).
12. Osinovskaya, V. A. (2014) Vibration Loading of Flexible Pavements. *Nauchnyi Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo Arkhitekturno-Stroitel'nogo Universiteta. Stroitelstvo i Arkhitektura* [Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture], 1 (33), 34–44 (in Russian).
13. Osinovskaya, V. A. (2014) Influence of Flexible Pavements Vibration on their Durability. *Naukovedenie* [Science Studies]. Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/23KO514.pdf> (in Russian).
14. Osinovskaya, V. A. (2011). Options for Increase of Flexible Pavements Durability. *Vestnik Moskovskogo Avtomobilno-Dorozhnogo Instituta (Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta)* [Moscow Automobile and Road Construction University – MADI], 4 (27), 77–80 (in Russian).
15. Osinovskaya, V. A. (2010) Design of Pavement. Patent Russian Federation No 2399715 C1. (in Russian).

Received 07.07.2015