УДК 625.8

АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБУЕМОЙ ПРОЧНОСТИ НЕЖЁСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ПРИ ОБОСНОВАНИИ КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ ПО ИХ УСИЛЕНИЮ

Горячев Михаил Геннадьевич, д-р техн. наук, проф.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, kafedra_sed@mail.ru,
Лугов Сергей Владимирович канд. техн. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, kafedra_sed@mail.ru,
Калёнова Екатерина Валерьевна канд. техн. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, kafedra_sed@mail.ru,,

Аннотация. На стадии эксплуатации автомобильных дорог по различным причинам необходимо проводить капитальный ремонт дорожной одежды. Наиболее распространённым на практике способом восстановления прочности дорожных одежд является их усиление: укладка новых или замена существующих верхних слоёв, в большинстве случаев из асфальтобетона. Толщина слоёв усиления должна рассчитываться исходя из информации о фактическом и требуемом модулях упругости дорожной одежды. В статье обсуждается ряд параметров выражения для определения требуемой прочности нежёстких дорожных одежд согласно нормативной методике при обосновании конструктивных решений по их усилению. Выражение для определения требуемого модуля упругости не учитывает способ испытания дорожной одежды, а также содержит иные несоответствия общим представлениям о работе и проектировании нежёстких дорожных одежд. Высказано сомнение, что в настоящее время требуемый модуль упругости назначается корректно. Приведены доводы о необходимости увязки методов испытания дорожных одежд на прочность и назначения требуемой прочности на разных этапах жизненного цикла автомобильной дороги.

Ключевые слова: нежёсткие дорожные одежды, требуемая прочность дорожных одежд, усиление дорожных одежд.

ANALYSIS OF SOME DEPENDENCE PARAMETERS FOR DETERMINING THE REQUIRED STRENGTH OF FLEXIBLE PAVEMENTS WHEN JUSTIFYING THE CONSTRUCTIVE DECISION TO STRENGTHENING THEM

Goryachev Mikhail G., Dr. Sc., professor
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, kafedra_sed@madi.ru

Lugov SergeyV., associate professor
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, kafedra_sed@madi.ru
Kalenova Yekaterina V., associate professor
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia,kafedra_sed@madi.ru

Abstract. At the stage of operation of roads for various reasons, it is necessary to carry out major repairs of pavement. The most common way to restore the strength of pavements in practice is to strengthen them: laying new ones or replacing existing upper layers, in most cases from asphalt concrete. The thickness of the reinforcement layers is calculated based on information about the actual and required elastic moduli of the pavement. The article discusses a number of expression parameters for determining the required strength of flexible pavements according to the normative methodology in substantiating design decisions to strengthen them. The expression for determining the required modulus of elasticity does not take into account the way the pavement is tested, and also contains other inconsistencies with the general ideas about the work and calculation of flexible pavements. It is doubted that at present the required modulus of elasticity is assigned correctly. Arguments are given about the need to link the methods of testing pavement for strength and the appointment of the required strength at different stages of the life cycle of the road.

Keywords: flexible pavements, required strength of the pavements, pavements strengthening.

Актуальность темы

Определение требуемой прочности нежёстких дорожных одежд при обосновании конструктивных решений по их усилению на стадии эксплуатации производят с использованием полуэмпирической зависимости, предложенной некоторое время назад в ГипродорНИИ [7], а в последствие усовершенствованной в РосдорНИИ [3]:

$$E_{mp} = \left[A + B \left[lg \left(\gamma \cdot \omega^* \cdot N_1 \cdot \frac{q^{t_i} - 1}{q - 1} \right) - 1 \right] \right] \cdot K_{np} \cdot K_{рег} \cdot K_{cu} \cdot K_z \cdot \frac{1}{X_j}, \text{ МПа, (1)}$$

где A и B – эмпирические коэффициенты;

γ – параметр, учитывающий суммарное количество приложений расчётной нагрузки и зависящий от типа дорожной одежды;

ω^* – коэффициент, учитывающий продолжительность расчётного периода и агрессивность воздействия расчётных автомобилей в разных погодно-климатических условиях;

N_1 – среднесуточная интенсивность движения на полосу в год проведения капитального ремонта, приведённая к расчётной нагрузке, авт./сут.;

q – показатель роста интенсивности движения;

t_i – срок до проведения следующего капитального ремонта или реконструкции дороги, лет;

$K_{пр}$ – коэффициент относительной прочности дорожной одежды;

$K_{рег}$ – региональный коэффициент;

$K_{си}$ – коэффициент, учитывающий сопротивление конструктивных слоёв дорожных одежд сдвигу и изгибу;

K_z – расчётный коэффициент, зависящий от фактической интенсивности дорожного движения.

X_j – параметр, зависящий от допускаемой вероятности повреждения покрытий.

По своей структуре и смысловому содержанию выражение (1) родственно формуле для вычисления требуемого модуля упругости нежёстких дорожных одежд в методиках проектирования новых конструкций [4, 5, 6], которая имеет эмпирическое происхождение. Оба подхода базируются на взаимосвязи суммарного количества приложений расчётной нагрузки за срок службы с требуемой прочностью дорожной одежды. Однако вследствие имеющихся различий получение близкого результата по методике обоснования усиления и методике проектирования новых дорожных одежд не достижимо даже при идентичных исходных данных для расчёта. На практике самой распространённой проблемой становилось обеспечение равнопрочных конструктивных решений при

проектировании реконструкции автомобильной дороги на площади усиления существующей дорожной одежды и на примыкающем к ней участке уширения проезжей части.

Основная часть

Надо отметить, что в выражении (1) уже в 1980-х гг. была заложена и реализована первая попытка прогрессивной идеи по объединению трёх критериев прочности нежёстких дорожных одежд в один расчёт. Новые конструкции рассчитываются по трём не увязанным между собой проверкам: допускаемому упругому прогибу, сопротивлению сдвигу в малосвязных слоях и грунте, сопротивлению усталостному изгибу монолитных слоёв [4, 5, 6]. Такой подход имеет как положительные стороны, так и недостатки. Рациональная область применения поликритерийного подхода – анализ работы дорожной одежды и её элементов, оценка влияния на технико-экономические показатели различных конструктивных решений, разработка каталогов типовых дорожных одежд. Для широкой практики индивидуального проектирования удобнее ввести интегральный критерий прочности, что и было сделано в выражении (1). Потенциально это должно позволить заметно снизить проектные риски, исключить и упростить процедуру согласования проектных решений.

Однако при использовании выражения (1) возникают очевидные вопросы к некоторым параметрам, которые ставят под сомнение корректность назначения требуемого модуля упругости эксплуатируемых нежёстких дорожных одежд.

1. Методика оценки прочности нежёстких дорожных одежд, действующая в настоящее время, ориентирована на применение при обследовании дорожных одежд приборов статического принципа действия [3]. Не исключая применение приборов динамического принципа действия, в нормативном документе предусмотрен обязательный пересчёт

результатов, получаемых от установок кратковременного нагружения к упругим прогибам, измеренным статически. Более ранняя редакция выражения (1) [7] допускала выполнение определения требуемого модуля упругости в случае проведения испытаний дорожной одежды установками кратковременного нагружения при помощи дифференцированного назначения эмпирических коэффициентов A и B. В нынешней редакции норм эмпирические константы A и B даны исключительно для испытаний, проведённых приборами длительного нагружения. Но главная проблема заключается в правомерности определения фактического и требуемого модуля упругости для условий испытания дорожной одежды статическими приборами. Последующий расчёт усиления, как и расчёт новых дорожных одежд, проводится на основе динамических характеристик дорожно-строительных материалов. Статистические данные анализа упругих прогибов, установленных приборами различного принципа действия, вычисленных на их основе фактических модулей упругости и сопоставительные расчёты толщин слоёв усиления на основе этих данных, подтверждающих равнозначность результатов по обоим методам нагружения, к обоснованию выражения (1) не опубликованы. Отказ от варьирования значений A и B в зависимости от метода испытаний нежёстких дорожных одежд приводит к выводу о сложности достижения близких результатов при расчёте их усиления при альтернативных способах нагружения. Таким образом, есть все основания полагать, что в решении ориентировать в нормативном подходе расчётный аппарат на статические общие модули упругости (модули упругости на поверхности дорожного покрытия) не обеспечивается надлежащая корректность и, соответственно, достоверность конструктивных мероприятий по усилению дорожных одежд.

2. Величины коэффициента относительной прочности дорожных одежд $K_{пр}$ соответствуют коэффициенту прочности из утратившего силу

документа [2]. В действующих требованиях на проектирование дорожных одежд коэффициенты прочности назначают в довольно широком интервале коэффициентов надёжности, а их значения в большинстве случаев значительно больше, рекомендуемых для выражения (1). Подобное разночтение нарушает гармонизацию имеющих силу нормативных документов, которая в части назначения коэффициентов прочности нежёстких дорожных одежд имелась прежде.

3. Коэффициент, учитывающий сопротивление конструктивных слоёв дорожных одежд сдвигу и изгибу K_{cu}, является главным звеном по обобщению всех критериев прочности при обосновании требуемого модуля упругости нежёстких дорожных одежд. Данный коэффициент может быть получен строго аналитически. Согласно нормируемому расчётному аппарату на проектирование нежёстких дорожных одежд в подавляющем большинстве случаев определяющим критерием становится либо выполнение условия на сопротивление малосвязных материалов и грунта земляного полотна сдвигу (при относительно малых приведённых интенсивностях движения), либо выполнение условия на сопротивление усталостному разрушению монолитных слоёв от растяжения при изгибе (для более капитальных конструкций). Проверке на допустимый упругий прогиб чаще всего отводится роль направляющей при проектировании, задание «конструктивного вектора» будущей дорожной одежды. Функционально коэффициент K_{cu} представляет собой отношение наибольшего из двух общих модулей упругости (которые можно называть требуемыми), один из которых удовлетворяет условию обеспечения прочности на сдвиг в малосвязных слоях и грунте E^{c}_{mp}, а второй – на сопротивление разрушению от растяжения при изгибе E^{u}_{mp}, к требуемому модулю упругости, назначенному при расчёте по допустимому упругому прогибу

$$K_{cu} = \frac{E_{mp}^{c(u)}}{E_{mp}^{y}}. \qquad (2)$$

Следовательно, величина коэффициента K_{cu} всегда будет не менее 1,0. Данное обстоятельство нашло своё отражение в нормативном документе, где коэффициент варьируется в диапазоне $1{,}04 \le K_{cu} \le 1{,}92$. Также правильно указание, что для укреплённых вяжущим оснований коэффициент K_{cu} будет принимать меньшие значения, чем для оснований, устроенных из неукреплённых каменных материалов при прочих равных условиях, т.к. в этом случае значительно улучшаются условия работы монолитных слоёв при изгибе.

Несмотря на вышеизложенные положительные выводы, к коэффициенту K_{cu} имеется ряд замечаний:

- При малых интенсивностях движения значения коэффициента уменьшаются с ростом суммарной расчётной нагрузки. Данное замечание довольно важно, поскольку в нормативной методике проектирования нежёстких дорожных одежд с ростом суммарного движения снижаются значения расчётных характеристик, используемых в проверке на сдвигоустойчивость: угол внутреннего трения φ и удельное сцепление C. Более низкие значения φ и C приводят к необходимости повышать общую прочность проектируемой дорожной одежды, т.е. следует увеличивать коэффициент K_{cu}.
- При высоких интенсивностях движения (от 1000 приведённых ед./сут) отмечается «проседание» величины K_{cu} в интервале приведённой интенсивности 3000…5000 ед./сут (рис.).

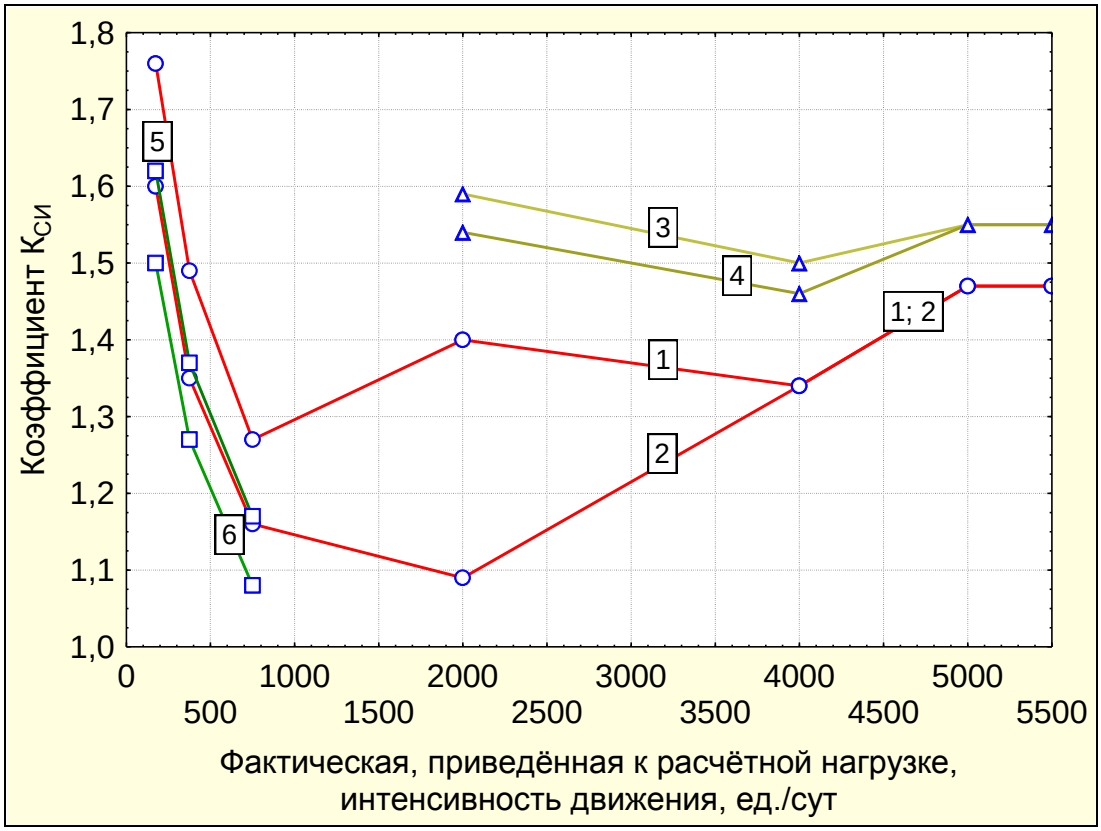

Рисунок. График для назначения коэффициента $K_{си}$ *(фрагмент массива данных):*

1, 2 – для II дорожно-климатической зоны при толщине асфальтобетонных слоёв от 10 до 15 см на основании из щебня для кода грунта земляного полотна А и В соответственно (см. табл.);

3, 4 – для III дорожно-климатической зоны при толщине асфальтобетонных слоёв от 15 см на основании из щебня для кода грунта земляного полотна А и В соответственно (см. табл.);

5, 6 – для III дорожно-климатической зоны при покрытии из чёрного щебня для кода грунта земляного полотна А и В соответственно (см. табл.)

- При высоких интенсивностях движения коэффициент $K_{си}$ справедливо не зависит или мало зависит от типа грунта рабочего слоя земляного полотна. Однако в случаях, когда коэффициент $K_{си}$ изменяется в зависимости от типа грунта при прочих одинаковых условиях эксплуатации, его величина в нормативном документе предлагается меньшей для менее благоприятных грунтов с точки зрения работы дорожной одежды в

расчётный период года (см. рис.). Кроме того, типы грунтов, перечисленные в [3], не соответствуют стандартизированной классификации грунтов [1] (табл.).

- Коэффициент K_{cu} установлен для II, III и IV дорожно-климатических зон. Для I и V дорожно-климатических зон его значения не приведены. Это затрудняет нормативное выполнение расчётов по выражению (1).
- Не во всех случаях прослеживаются закономерные изменения коэффициента K_{cu} как внутри конкретной дорожно-климатической зоны, так и между дорожно-климатическими зонами. Наиболее показательным примером такого несоответствия является увеличение коэффициента K_{cu} при малых интенсивностях движения для более сухих территорий (меньших расчётных влажностях). В сухих районах обеспечить выполнение условия на сопротивление сдвигу в грунте рабочего слоя земляного полотна в расчётный момент времени можно при меньшей общей прочности дорожной одежды. Улучшает условия работы дорожных одежд в южных территориях по критерию сдвигоустойчивости в песке и меньшие толщины песчаного слоя. Научного обоснования нарушения условия сдвигоустойчивости в летний период в относительно не толстых песчаных слоях дорожных одежд пока нет. Научные дискуссии по этому вопросу находятся на ранней стадии и не отражены в нормативном подходе к проектированию дорожных одежд.
- Не принято во внимание, что с увеличением толщины дополнительного песчаного слоя основания ухудшаются условия работы дорожных одежд по критерию сдвигоустойчивости с малосвязными материалами, несмотря на то, что в предыдущей версии указаний по оценке прочности нежёстких дорожных одежд в формуле требуемого модуля упругости, представляющей более ранний вариант выражения (1), присутствовал коэффициент учитывающий толщину песчаного слоя K_n.

Таблица

Наименования грунтов земляного полотна по коду	
A	*B*
Супесь лёгкая, песок	Суглинок лёгкий пылеватый, суглинок лёгкий и тяжёлый, супесь пылеватая, супесь тяжёлая пылеватая, глина

Заключение

Выражение для определения требуемого модуля упругости нежёстких дорожных одежд из ОДН 218.1.052-2002 проработано недостаточно полно, а численные значения отдельных параметров требуют пересмотра. Сравнительно по отдельным параметрам требуемая прочность нежёстких дорожных одежд назначается некорректно, а конструктивные решения по их усилению по этой причине в ряде случаев могут приводить к необоснованному расходу бюджетных средств на капитальный ремонт.

Список литературы

1. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. – URL: http://docs.cntd.ru/document/gost-25100-2011.

2. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежёсткого типа. ВСН 46-83. Минтрансстрой СССР. – М.: Транспорт, 1985. – URL: http://docs.cntd.ru/document/1200006774.

3. Оценка прочности нежёстких дорожных одежд (взамен ВСН 52-89). ОДН 218.1.052-2002 / Министерство транспорта Российской Федерации. Государственная служба дорожного хозяйства. – М., 2003. – URL: https://mashinport.ru/gost.php?id=42045.

4. ПНСТ 265-2018. Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование нежёстких дорожных одежд. / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М.: Стандартинформ, 2018. – URL: http://docs.cntd.ru/document/1200158922.

5. Проектирование нежёстких дорожных одежд. МОДН 2-2001 / Межправительственный совет дорожников. – М., 2002. – URL: http://docs.cntd.ru/document/1200034062.

6. Проектирование нежёстких дорожных одежд. ОДН 218.046-01 / Министерство транспорта Российской Федерации. Государственная служба дорожного хозяйства. – М., 2001. – URL: http://docs.cntd.ru/document/1200015514.

7. Указания по оценке прочности и расчёту усиления нежёстких дорожных одежд (ВСН 52-89) / Министерство автомобильных дорог РСФСР. – М.: ЦБНТИ Минавтодора РСФСР, 1989. – URL: http://docs.cntd.ru/document/1200006887.

References

1. Grunty. Klassifikaciya, GOST 25100-2011. (Soils. Classification, State Standart 25100-2011). - URL: http://docs.cntd.ru/document/gost-25100-2011.

2. Instrukciya po proektirovaniyu dorozhnyh odezhd nezhyostkogo tipa. VSN 46-83. Mintransstroj SSSR (Instructions for the design of pavements of a flexible pavements. BCH 46-83. Ministry of Transport of the USSR), Moscow, Transport, 1985. - URL: http://docs.cntd.ru/document/1200006774.

3. Ocenka prochnosti nezhyostkih dorozhnyh odezhd (vzamen VSN 52-89). ODN 218.1.052-2002 (Strength assessment of flexible pavements (instead of VSN 52-89). ODN 218.1.052-2002), Moscow, 2003. - URL: https://mashinport.ru/gost.php?id=42045.

4. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Proektirovanie nezhyostkih dorozhnyh odezhd. PNST 265-2018 (General automobile roads. Flexible pavements design, PNST 265-2018), Moscow, Standartinform, 2018. - URL: http://docs.cntd.ru/document/1200158922.

5. Proektirovanie nezhyostkih dorozhnyh odezhd. MODN 2-2001 (Designing flexible pavements. MODN 2-2001), Moscow, 2002. - URL: http://docs.cntd.ru/document/1200034062.

6. Proektirovanie nezhyostkih dorozhnyh odezhd. ODN 218.046-01 (Designing flexible pavements. ODN 218.046-01), Moscow, 2001. - URL: http://docs.cntd.ru/document/1200015514.

7. Ukazaniya po ocenke prochnosti i raschyotu usileniya nezhyostkih dorozhnyh odezhd (VSN 52-89) (Guidelines for assessing the strength and calculation of the strengthening of flexible pavements (BCH 52-89)), Moscow, TSBNTI Minavtodor RSFSR, 1989. - URL: http://docs.cntd.ru/document/1200006887.

Рецензент: Ю.Э. Васильев, д-р. техн. наук, проф., МАДИ