

УДК 625.8

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ РАСЧЁТЫ ТОЛЩИНЫ СЛОЁВ УСИЛЕНИЯ НЕЖЁСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ДЛЯ ОЦЕНКИ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ ТРЕБУЕМОЙ ПРОЧНОСТИ НА СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

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 рассчитывается исходя из информации о фактическом и требуемом общих модулях упругости нежёстких дорожных одежд. В статье дан обзор моделей пересчёта упругих прогибов, полученных установками статического и динамического принципа нагружения. Приведены и сопоставлены результаты вычислительного эксперимента по определению толщин слоёв усиления согласно отраслевому нормативному документу исходя из информации о фактических динамических упругих прогибах. Высказано и обосновано суждение, что фактическую прочность нежёстких дорожных одежд некорректно оценивать установками статического принципа действия, поскольку при проектировании нежёстких дорожных одежд расчётной схемой является конструкция с динамическими характеристиками.

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

COMPARATIVE CALCULATIONS OF REINFORCEMENT LAYERS THICKNESS OF FLEXIBLE PAVEMENTS FOR THE EVALUATION OF THE METHOD OF DETERMINING THEIR REQUIRED STRENGTH AT THE MAINTENANCE STAGE

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

Lugov Sergey V., 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 maintenance 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 of asphalt concrete. The thickness of the reinforcement layers is calculated on the basis of information about the actual and required general elastic moduli of flexible pavements. The article gives an overview of the models for recalculating elastic deflections obtained by the installations of the static and dynamic loading principle. The results of a computational experiment to determine the thicknesses of the gain layers according to an industry normative document based on information on actual dynamic elastic deflections are presented and compared. A proposition has been made and substantiated that the actual durability of flexible pavements is incorrectly estimated by the settings of the static principle of operation, since when designing flexible pavements, the design scheme with dynamic characteristics is.

Key words: flexible pavements, required durability of the pavements, reinforcement of the pavements.

Введение

Назначение требуемого модуля упругости нежестких дорожных одежд в период эксплуатации рекомендуется выполнять по методике, построенной на использовании статических показателей прочности [3]. Если оценка прочности дорожных одежд производилась установками динамического принципа действия, то полученные показания следует приводить к значениям статических упругих прогибов. При этом для определения толщины слоёв усиления применяется расчётная схема с динамическими характеристиками [4]. В ранее опубликованной работе были подробно изложены недостатки выражения из ОДН 218.1.052-2002 для вычисления требуемого модуля упругости нежестких дорожных одежд [1]. Было высказано мнение о некорректности действующего нормативного подхода, как с математической, так и физико-механической составляющей. Однако дополнительной аргументацией к такому заключению будут являться примеры расчёта толщины слоёв усиления по заданным результатам испытаний дорожных одежд.

Основная часть

В рамках исследований, посвящённых разработке оборудования для оценки прочности нежёстких дорожных одежд, а также обследований автомобильных дорог, были получены соотношения между результатами испытаний приборами статического и динамического принципа действия. П.И. Теляев предложил выражение для перехода от динамических упругих прогибов ℓ_{∂} к статическим $\ell_{ст}$, в основе которого заложен учёт суммарной толщины материалов, содержащих органическое вяжущее h – материалов с наиболее заметно выраженными реологическими свойствами в составе дорожной одежды [2]

$$\ell_{ст} = (0,003 \cdot h + 1,1) \cdot \ell_{\partial}, \text{ мм.} \quad (1)$$

Зависимость (3) справедлива в диапазоне динамических прогибов $0,1 \leq \ell_{\partial} \leq 1,0$ мм. Полученные соотношения приведены на рис. 1.

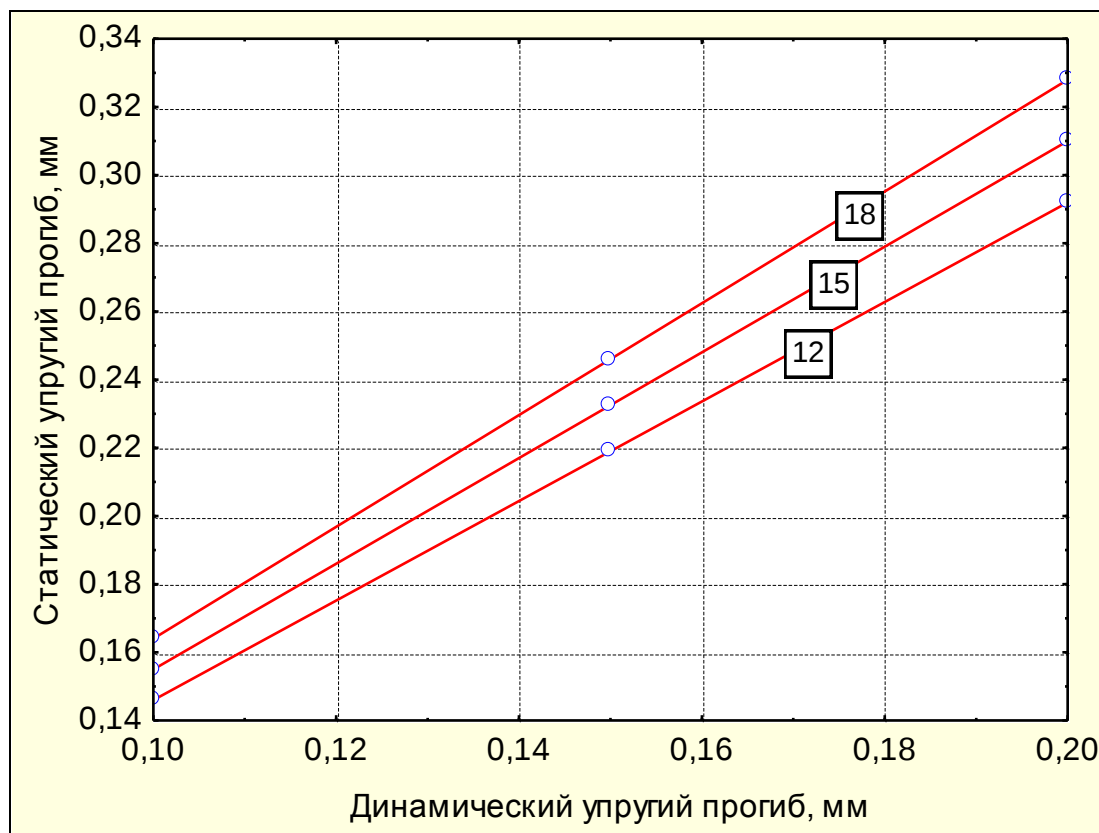


Рис. 1. Взаимосвязь динамических и статических упругих прогибов по формуле П.И. Теляева: цифры на линиях – суммарная толщина материалов, содержащих органическое вяжущее, см

Учёт при оценке сравнительных испытаний дорожных одежд слоёв из материалов, обработанных органическим вяжущим, является отличительной стороной формулы (1). Наличие в асфальтобетонах битума, а также их расположение в верхних, наиболее подверженных высоким напряжениям от внешних механических усилий, сечениях дорожной одежды приводит к заметному изменению упруго-вязко-пластических свойств асфальтобетонов, зависящих от режима нагружения и температуры. Это в свою очередь влияет на величину модуля упругости как самого материала, так и дорожной одежды в целом. Рост статических упругих прогибов при одинаковых динамических упругих прогибах для более толстых пакетов из органосодержащих слоёв связан как раз с проявлением реологических свойств этих материалов (см. рис. 1).

Эмпирическая зависимость П.И. Теляева получена для дорожных одежд характерных 70-м гг. XX столетия. Однако диапазон динамических прогибов, для которых она рекомендована, сопоставим с результатами испытаний, выполненных на современных конструкциях. Поэтому формулу (1) вполне можно признать работоспособной и использовать для оценки нормативного подхода при обосновании мероприятий по усилению дорожных одежд [3].

Регрессионная модель пересчёта статических и динамических упругих прогибов, предложенная РосдорНИИ, в отличие от формулы (1) не учитывает какие-либо конструктивные параметры дорожных одежд и основана на «голой» статистике [3, 5]

$$\ell_{cm} = a \cdot \ell_{\partial} + b, \text{ мм}, \quad (2)$$

где a и b – эмпирические коэффициенты (табл. 1).

Таблица 1

Эмпирические коэффициенты a и b

Источник информации	Условия назначения коэффициентов	a	b , мм
ОДН 218.1.052	Для расчётного периода	0,26	1,12
	Для нерасчётного периода	0,085	1,6
Справочная энциклопедия дорожника	Не указаны	1,1...1,25	0,15...0,2

Подстановка в линейную зависимость (2) эмпирических коэффициентов a и b из нормативного документа показывает, что статические упругие прогибы могут превышать динамические упругие прогибы в 20 раз. Примерно такое же, но обратно пропорциональное, соотношение соблюдается между общими модулями упругости, полученными при динамическом и статическом нагружении. Принимая во внимание многочисленные полевые исследования, выполненные специалистами в разное время, приходится констатировать присутствие в ОДН 218.1.052-2002 опечатки. Поэтому в последующем при сравнении результатов, получаемых по зависимостям (1) и (2), значения эмпирических коэффициентов a и b следует поменять местами (рис. 2).

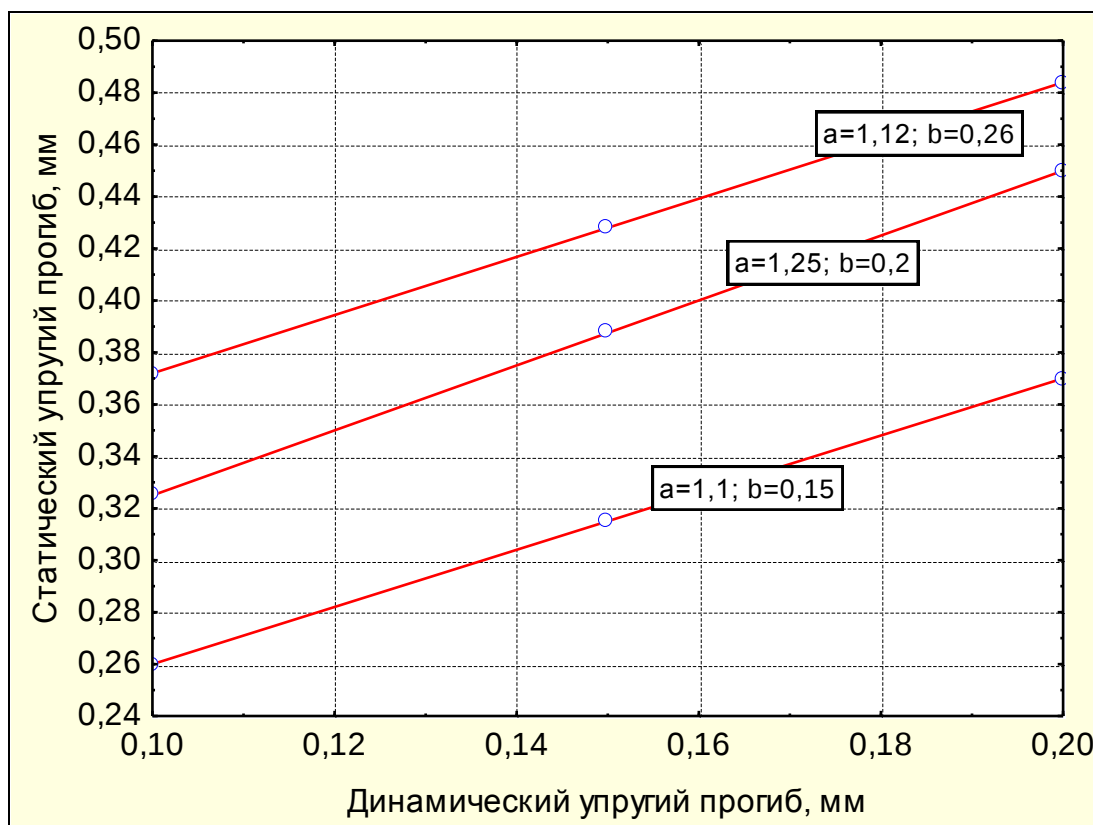


Рис. 2. Взаимосвязь динамических и статических упругих прогибов по зависимости РосдорНИИ

В другом издании [5] величины эмпирических коэффициентов a и b отличаются примерно на порядок (см. табл. 1), приводя к другим соотношениям между обратимыми прогибами и модулями упругости на поверхности покрытия – осреднённо в 3 раза (рис. 3). Расчёты по зависимости П.И. Теляева демонстрируют ещё меньшее расхождение в статических и динамических упругих прогибах – примерно в 1,5 раза, причём различие в соотношениях упругих прогибов обусловлено суммарной толщиной слоёв, содержащих битум, и это различие возрастает с увеличением параметра h (см. рис. 3).

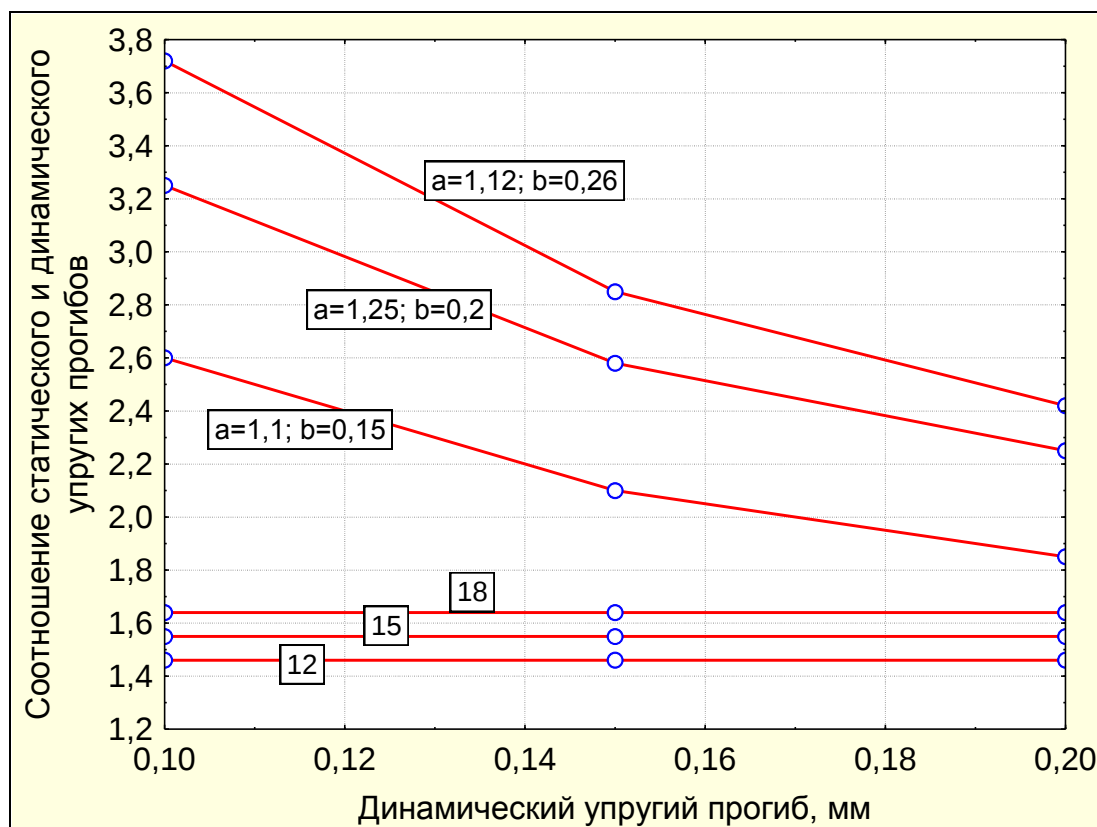


Рис. 3. Соотношения упругих деформаций, получаемых в статическом и динамическом режимах нагружения:

обозначения на линиях соответствуют обозначениям на рис. 1 и 2

Модули упругости на поверхности дорожной одежды устанавливаются по зависимости [5]:

$$E_{\phi} = \frac{10 \cdot P \cdot D}{\ell_y} \cdot (1 - \mu^2), \text{ МПа}, \quad (3)$$

где P – среднее расчётное удельное давление от расчётной нагрузки, МПа;

D – расчётный диаметр следа колеса, см;

ℓ_y – упругий прогиб дорожной одежды, мм;

μ – осреднённый коэффициент Пуассона дорожной одежды и рабочей части земляного полотна.

Соотношения между динамическими E_{∂} и статическими E_{cm} общими модулями упругости несколько выше соотношения статических и

динамических упругих прогибов. Данное обстоятельство обусловлено различиями в динамическом коэффициенте и, как следствие, расчётном диаметре следа колеса в формуле (3)

$$\frac{\ell_{cm}}{\ell_{\partial}} = \frac{E_{\partial}}{E_{cm}} \approx 1,12. \quad (4)$$

Поскольку значения эмпирических коэффициентов a и b в ОДН 218.1.052-2002 содержат ошибку, то последующие расчёты будут проведены с использованием зависимости П.И Теляева и по линейному уравнению (2) с эмпирическими коэффициентами a и b из энциклопедического издания [5].

Порядок вычислительного эксперимента следующий. Сначала при заданных величинах динамического упругого прогиба вычисляется его статический эквивалент с последующим определением соответствующих общих модулей упругости. Затем производится вычисление требуемого модуля упругости согласно положениям ОДН 218.1.052-2002 и определяется требуемая толщина слоя усиления из асфальтобетона для наиболее простого технологического решения – «метода перекрытия». Для большей объективности вычислительного эксперимента определение толщины слоёв усиления надлежит выполнить с использованием как динамических, так и статических модулей упругости асфальтобетонов. При этом, следует проверить, насколько повлияет на результат оценки замена констант A и B в выражении для определения требуемого модуля упругости [3] на их значения из предшествующей редакции нормативного документа [6], в которой допускалось проводить определение фактического общего модуля упругости непосредственно по упругим прогибам, полученным установками кратковременного нагружения.

Исходные данные для вычислительного эксперимента приведены в табл. 2.

Таблица 2

Исходные данные для вычислительного эксперимента

Наименование характеристики или условное обозначение	Вариант 1	Вариант 2
Категория участка дороги	II	III
Район расположения	Ростовская область	Вологодская область
Дорожно-климатическая зона	IV	II
Тип дорожной одежды	Капитальный	Капитальный
Толщина слоёв из асфальтобетонов, см (код слоёв)	18 (1)	12 (2)
Основание дорожной одежды	Щебень	Щебень
Грунт земляного полотна (код грунта)	Супесь (А)	Суглинок (В)
N_1	1010	300
Уровень проектной надёжности	0,95	0,90
q	1,02	1,02
t_i	10	8
γ	0,12	0,12
ω^*	0,83	1,24
K_{np}	1,0	0,94
K_{pez}	1,0	1,0
K_{cu}	1,5	1,35
K_z	1,0	0,91
X_j	1,42	1,3

Для повышения точности назначения коэффициента K_z построен график его зависимости (рис. 4). В логарифмической шкале

приведённой интенсивности движения хорошо заметно «проседание» коэффициента K_z в интервале от 1000 до 3000 ед./сут.

Результаты определения фактического и требуемого модуля упругости, а также необходимой толщины усиления дорожной одежды методом «перекрытия» с использованием номограмм из ОДН 218.046-01 представлены в табл. 3. Для наибольшего сближения величин статических упругих прогибов расчёты выполнены при значениях эмпирических коэффициентов $a=1,1$ и $b=1,15$. Для слоя усиления принят асфальтобетон мелкозернистый типа Б на вязком битуме БНД 60/90 с расчётными характеристиками из [4].

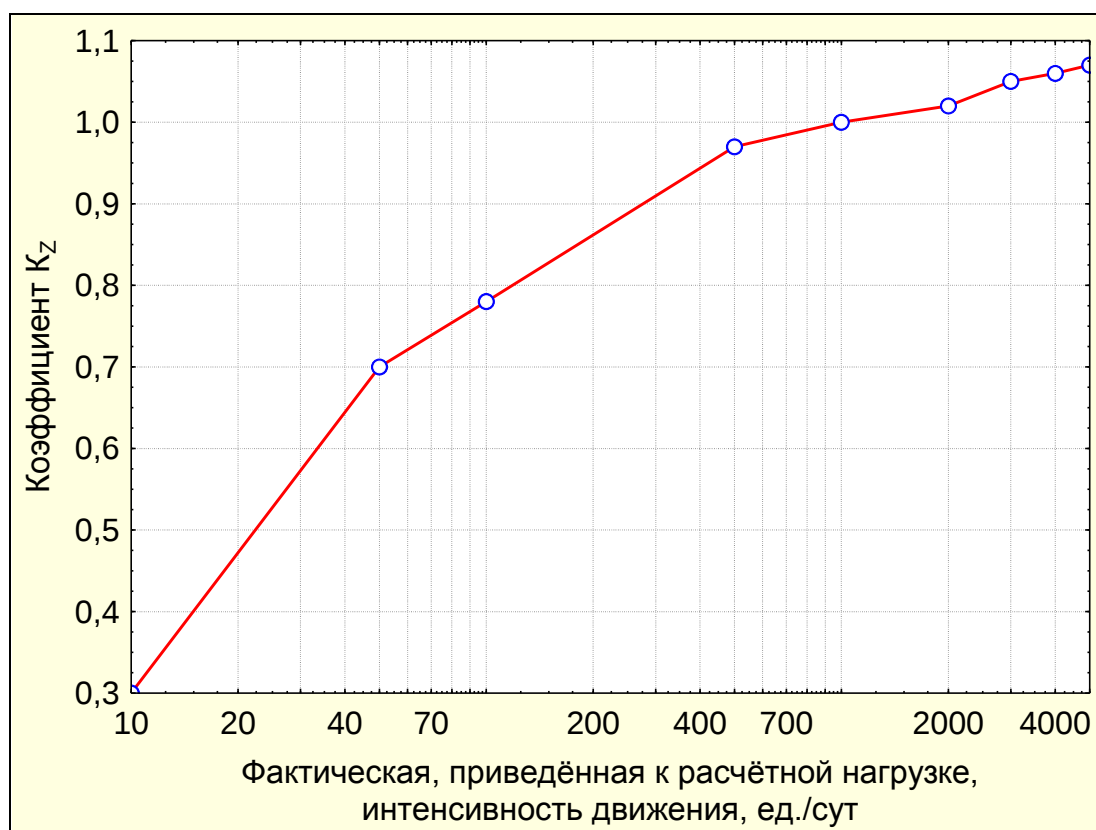


Рис. 4. График для назначения коэффициента K_z

При определении требуемого модуля упругости производят на промежуточном этапе вычисление минимального модуля упругости дорожной одежды E_{min} [3]. В варианте 1 минимальный модуль упругости

$E_{min}=264$ МПа, что меньше требуемого модуля упругости $E_{mp}=279$ МПа (см. табл. 3). А вот для варианта 2 $E_{min}=233$ МПа, что оказывается больше $E_{mp}=207$ МПа. Такие результаты математически объясняются сочетанием параметров выражения для определения требуемого модуля упругости, прежде всего K_{cu} , K_z , X_j , но их нельзя охарактеризовать как релевантные.

Таблица 3

Результаты сопоставительных расчётов

Наименование характеристики или условное обозначение	Вариант 1	Вариант 2
ℓ_{∂} , мм / E_{∂} , МПа	0,10 / 202	0,15 / 135
ℓ_{cm} по выражению (1), мм / E_{cm} , МПа	0,16 / 110	0,22 / 82
E_{mp} , МПа, по ОДН 218.1.052-2002 при $A=125$ МПа и $B=68$ МПа	279	207
Толщина слоя усиления, см	15	14
ℓ_{cm} , мм, по выражению (2) при $a=1,1$ и $b=1,15$, / E_{cm} , МПа	0,26 / 69	0,315 / 57
E_{mp} , МПа, по ОДН 218.1.052-2002 при $A=125$ МПа и $B=68$ МПа	279	207
Толщина слоя усиления, см	23	19
E_{mp} , МПа, по ВСН 52-89 при $A=145$ МПа и $B=77$ МПа	319	237
Толщина слоя усиления, см	9	9

Расчёты показали, что для статических модулей упругости асфальтобетонов, которые на порядок ниже динамических модулей упругости, результаты определения толщины слоёв усиления не имеют практического смысла, поскольку получаемые толщины слоёв усиления запредельно велики.

Толщины слоёв усиления, рассчитанные на основе отраслевых дорожных норм [3], показали наибольшие значения, превышающие толщины слоёв усиления для испытания и расчёта по динамическим характеристикам в 2...2,5 раза и до 1,5 раз больше, чем при использовании для пересчёта упругих прогибов формулы П.И. Теляева. При других значениях эмпирических коэффициентов a и b толщина слоёв усиления и расхождение с результатами, получаемыми на основе динамического упругого прогиба, окажется ещё внушительнее и с учётом подготовительных мероприятий (ликвидация имеющихся на покрытии дефектов) по затратам сопоставима со стоимостью работ по переустройству дорожной одежды.

Заключение

Расчёт усиления дорожных одежд, как и проектирование новых дорожных одежд, должен производиться на основе расчётной схемы с динамическими характеристиками конструкции. Работоспособность такой расчётной схемы при обосновании конструкции усиления можно обеспечить только по результатам испытаний дорожных одежд установками кратковременного принципа действия.

Проектирования нежестких дорожных одежд на всех этапах их жизненного цикла должно осуществляться по алгоритму, выстроенному на унифицированной расчётной схеме с динамическими характеристиками (за исключением особых случаев). С целью гармонизации нормативной документации, достижения преемственности и увязки инженерных решений по вопросам проектирования нежестких дорожных одежд при новом строительстве, капитальном ремонте и реконструкции автомобильных дорог,

определение требуемой прочности нежестких дорожных одежд необходимо осуществлять по единой методике.

Список литературы

1. Горячев, М.Г. Анализ некоторых параметров зависимости для определения требуемой прочности нежестких дорожных одежд при обосновании конструктивного решения по их усилению / М.Г. Горячев, С.В. Лугов, Е.В. Калёнова // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2020. - №2.
2. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. ВСН 46-83. Минтрансстрой СССР. – М.: Транспорт, 1985. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200006774>.
3. Оценка прочности нежестких 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. Проектирование нежестких дорожных одежд. ОДН 218.046-01 / Министерство транспорта Российской Федерации. Государственная служба дорожного хозяйства. – М., 2001. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200015514>.
5. Ремонт и содержание автомобильных дорог: Справочная энциклопедия дорожника (СЭД). Т. II / А.П. Васильев, Э.В. Дингес, М.С. Коганзон и др.; Под. ред. А.П. Васильева. – М.: Информавтодор, 2004 – 507 с.
6. Указания по оценке прочности и расчёту усиления нежестких дорожных одежд (ВСН 52-89) / Министерство автомобильных дорог РСФСР. – М.: ЦБНТИ Минавтодора РСФСР, 1989. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200006887>.

References

1. Goryachev, M.G. Lugov, E.V. Kalyonova S.V. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*, 2020; No. 2.
2. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200006774>.
3. URL: <https://mashinport.ru/gost.php?id=42045>.
4. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200015514>.
5. A.P. Vasil'yev, E.V. Dinges, M.S. Koganzon i dr. *Remont i soderzhaniye avtomobil'nykh dorog: Spravochnaya entsiklopediya dorozhnika (SED) (Repair and maintenance of roads: Reference Encyclopedia of the road builder (EDMS))*, Moscow, Informavtodor, 2004, 507 p.
6. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200006887>.

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