

О ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ЗАДАЧИ НАЗНАЧЕНИЯ ТРЕБУЕМОЙ ПРОЧНОСТИ НЕЖЁСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД И ЕЁ РЕШЕНИИ ПРИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ДВИЖЕНИЯ

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. Определение требуемой прочности нежестких дорожных одежд на протяжении более чем шести десятилетий осуществляется с использованием логарифмических функций, основанных на взаимосвязи требуемого модуля упругости и приведённой к расчётной нагрузке интенсивности движения: перспективной или суммарной за срок службы. В то же время с середины 80-х годов прошлого столетия учёными МАДИ проводились исследования, в том числе с анализом масштабных зарубежных экспериментов, показавшие, что альтернативным и во многих случаях более точным способом определения требуемого модуля упругости в зависимости от суммарного размера движения могут служить степенные функции. Как показал опыт проектирования увеличение межремонтных сроков службы, а также ошибки, допущенные при переработке нормативной документации по конструированию и расчёту нежестких дорожных одежд, привели к необходимости внесения изменений в ныне используемую зависимость для определения требуемой прочности, а именно к более корректному её вычислению по степенным функциям. Особенно актуальна необходимость этих изменений для дорог с экстремально высоким суммарным размером движения, когда логарифмическая зависимость выходит за свои граничные условия, не позволяя запроектировать конструкцию, соответствующую интегральному движению.

Ключевые слова: расчёт нежестких дорожных одежд, требуемый модуль упругости.

ON THE BOUNDARY CONDITIONS OF THE PROBLEM OF ASSIGNING THE REQUIRED STRENGTH OF FLEXIBLE PAVEMENTS AND ITS SOLUTION UNDER EXTREME TRAFFIC CONDITIONS

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

Lugov Sergey V., Ph.D., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, kafedra_sed@madi.ru.

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

Abstract. *Determination of the required strength of flexible pavements for more than six decades has been carried out using logarithmic functions based on the relationship between the required elastic modulus and the traffic intensity reduced to the calculated load: prospective or total for the service life. At the same time, since the mid-80s of the last century, MADI scientists have been conducting research, including the analysis of large-scale foreign experiments, which have shown that an alternative and in many cases more accurate way to determine the required elastic modulus depending on the total size of motion can be power functions. As the design experience has shown, the increase in turnaround times, as well as errors made during the processing of regulatory documents for the design and calculation of flexible pavements, led to the need to make changes to the currently used dependence to determine the required strength, namely to its more correct calculation by power functions. The need for these changes is especially relevant for roads with an extremely high total traffic size, when the logarithmic dependence goes beyond its boundary conditions, preventing the design of a structure corresponding to the integral movement.*

Key words: calculation of non-rigid road pavements, the required modulus of elasticity

Введение

Зависимость для определения требуемой прочности при проектировании нежестких дорожных одежд впервые была представлена в ВСН 46-60 [3] в виде логарифмической функции перспективной приведенной интенсивности движения, как и в двух последующих нормативных документах [4, 5]. Следует отметить, что указанная

зависимость предполагает увязку требуемой прочности с суммарным числом приложений расчетной нагрузки, поэтому в неявном виде учитывались показатель прироста интенсивности движения и нормативный срок службы дорожной одежды. В явном виде показатель прироста интенсивности движения и срок службы дорожной одежды появились в ВСН 52-89 [12], где была представлена уже более адаптированная для различных условий эксплуатации логарифмическая зависимость для вычисления требуемого модуля упругости. И только к 2001 г. проектирование новых нежестких дорожных одежд стало выполняться по логарифмической зависимости, увязывающей требуемую прочность непосредственно с суммарным количеством приложений расчетной нагрузки за срок службы [9, 10, 11]. Последующие 20 лет не внесли сколько-нибудь значимых и обоснованных уточнений в нормативный расчет требуемой прочности нежестких дорожных одежд, за исключением малокомпетентных поправок в части учёта расчетных нагрузок, отличающихся от 100 кН [1]. Подход, предполагающий определение требуемой прочности нежестких дорожных одежд с использованием логарифмической зависимости, уже анализировался специалистами [7, 13], однако оценка работоспособности этой зависимости в весьма широком современном диапазоне суммарного размера движения, к сожалению, не проводилась. Поэтому в настоящее время, в свете значительного увеличения межремонтных сроков службы и возрастания суммарного размера грузового трафика, весьма актуальной становится проблема частого несоответствия требуемой общей прочности нежестких дорожных одежд современным условиям их эксплуатации, особенно на дорогах первых категорий.

Основная часть

В действующей нормативной методике проектирования нежестких дорожных одежд, основанной на учёте процесса накопления остаточных

деформаций [9, 10, 11], формула для вычисления, так называемого, минимального требуемого модуля упругости представлена логарифмической функцией:

$$E_{min} = k \cdot 98,65 \cdot [lg(\sum N_p) - c], \text{ МПа}, \quad (1)$$

где k – параметр, ошибочно введенный методикой ПНСТ 265-2018, зависящий от величины расчётной нагрузки (расчётного давления на покрытие);

c – эмпирический параметр, зависящий от величины расчётной нагрузки.

Следует отметить, что за рубежом в нескольких известных методиках расчёта нежестких дорожных одежд во взаимосвязях между показателями состояния дорожных одежд и суммарным размером движения в той или иной мере присутствуют логарифмические функции. Например, в методе *CBR* скорректированная толщина дорожной одежды устанавливается по следующей зависимости:

$$T = \sqrt{W \cdot \left(\frac{175}{CBR} - \frac{1}{\pi \cdot P} \right)} \cdot (0,177 + 0,223 \cdot \log N), \text{ см}, \quad (2)$$

где W – колёсная нагрузка, кг;

P – давление колеса на покрытие, кг/см²;

CBR – калифорнийский коэффициент нагрузки (несущая способность земляного полотна), %;

N – количество нагрузок в течение срока службы дорожной одежды.

Наиболее известные зарубежные методы расчёта нежестких дорожных одежд на прочность появились в США и опираются на результаты краткосрочных и локализованных по условиям эксплуатации дорог экспериментов. Как правило, каждый самостоятельный эксперимент продолжался в течение нескольких лет. За такой период времени

суммарный трафик в лучшем случае составлял несколько миллионов проездов эквивалентных расчётной нагрузке. Распространённой расчётной нагрузкой стала нагрузка величиной 80 кН, значительно уступающая величинам расчётных нагрузок, принятых в европейских странах и странах СНГ. Даже развивающийся в США механико-эмпирический метод опирается на эмпирические соотношения.

Формула (1), без параметра k , предложена проф. Коганзоном М.С. При этом осталось «за кадром», что основой для её выведения послужила более сложная и универсальная совокупность уравнений, полученных несколькими годами ранее в рамках продолжительных научных работ на кафедре «Строительство и эксплуатация дорог» МАДИ [8]

$$E_{mp} = d \cdot K_{\partial\partial} \cdot K_0 \cdot \alpha^{1,225} \cdot (\sum N_p)^\gamma, \text{ МПа}, (3)$$

где d – показатель, зависящий от категории автомобильной дороги;

$K_{\partial\partial}$ – логарифмическая функция суммарного количества приложений расчётной нагрузки за срок службы;

K_0 – коэффициент, учитывающий тип дорожной одежды;

α – соотношение показателей конечной и начальной продольной ровности дорожного покрытия;

$\sum N_p$ – суммарное количество приложений расчётной нагрузки за срок службы, ед.;

γ – функция с аргументом α .

Формулы вида (3) устанавливает связь между суммарным количеством приложений расчётных нагрузок величиной 100 кН, требуемым модулем упругости и ровностью в продольном направлении дорожной одежды. Степенная функция с наибольшей достоверностью отражает обобщённые результаты как отечественных, так и зарубежных масштабных исследований. Её граничные условия выходят далеко за

пределы нескольких миллионов приложений расчётных нагрузок. И если сопоставлять широкий расчётный диапазон степенной функции (3) с выражением (1), то оказывается, что формула (1) является частным случаем степенной функции (3) – рис. 1. Граница их близких ординат расположена приблизительно в сечении 10 млн приложений расчётной нагрузки 100 кН и 6...7 млн приложений расчётной нагрузки 115 кН. Высокая сходимость на начальном отрезке функций обеспечивается за счёт использования системы коэффициентов прочности, без которых действующие методики проектирования оказались бы неработоспособны. Хотя в мировой практике коэффициенты прочности распространение не получили.

Далее за указанными границами логарифмическая функция (1) начинает резко «проседать» (см. рис. 1). Ошибка нарастает с увеличением суммарного количества приложений расчётной нагрузки.

Имелись две главные причины, по которым в нормативные документы начала XXI века вошла формула (1), а не зависимости вида (3).

Первая причина заключается в сохранении консервативного представления в научно-производственных кругах о взаимосвязи требуемой прочности нежестких дорожных одежд с суммарным размером движения в логарифмической форме. Переход на степенные функции привёл бы к критическому замедлению обновления нормативной методики проектирования из-за необходимости согласования нового подхода со всеми разработчиками ОДН 218.046-01. А обновление методики проектирования стало чрезвычайно актуальным. Ведь в 2001 г. для всех было уже очевидным, что проектирование дорожных одежд по ВСН 46-83 давно противоречит международным современным концепциям.

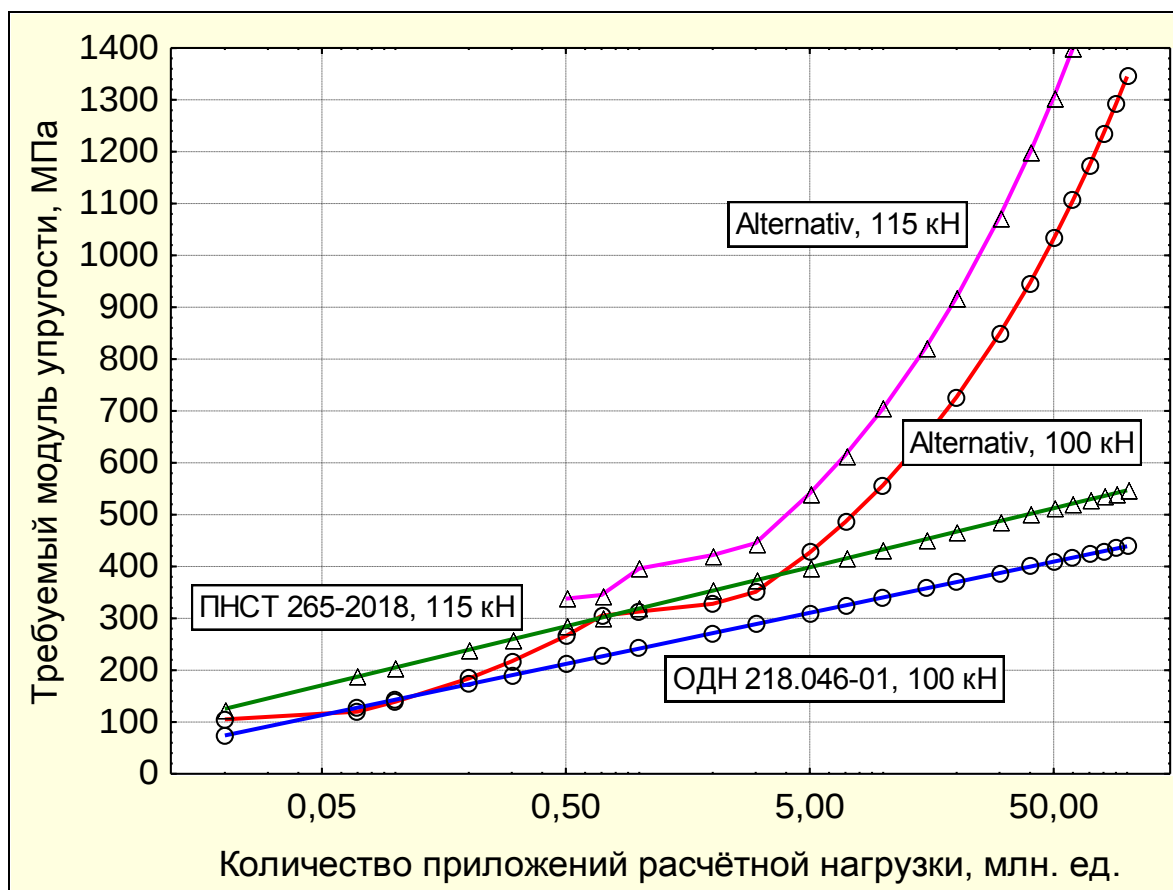


Рис. 1. Сравнение результатов определения требуемого модуля упругости нежестких дорожных одежд по степенной зависимости (Alternative, 100 кН и Alternative, 115 кН), ОДН 218.046-01 и ПНСТ 265-2018 в логарифмической шкале суммарного размера движения и без учёта коэффициента прочности

Вторая и не менее важная причина вытекает из высокого совпадения обеих функций на их начальном отрезке – до 10 млн приложений нагрузки 100 кН (см. рис. 1 и 2). Действительно, в 2001 г. сложно было предположить, что интегральный трафик на многополосных дорогах станет настолько экстремальным, прежде всего на фоне увеличения нормативных сроков службы до 24 лет и других расчётных параметров. Разработчики ПНСТ 265-2018, по всей видимости, не знакомы с историей появления и смысловой составляющей элементов расчётного аппарата нежестких дорожных одежд. Иным нельзя объяснить заимствование формулы (1) для проектирования дорожных одежд, которые должны

обеспечить пропуск многих десятков миллионов расчётных нагрузок, причём величиной 115 кН. Причиной такого запредельного размера суммарного движения по ПНСТ 265-2018 стали, в том числе, существенно завышенные коэффициенты приведения к расчётной нагрузке [2].

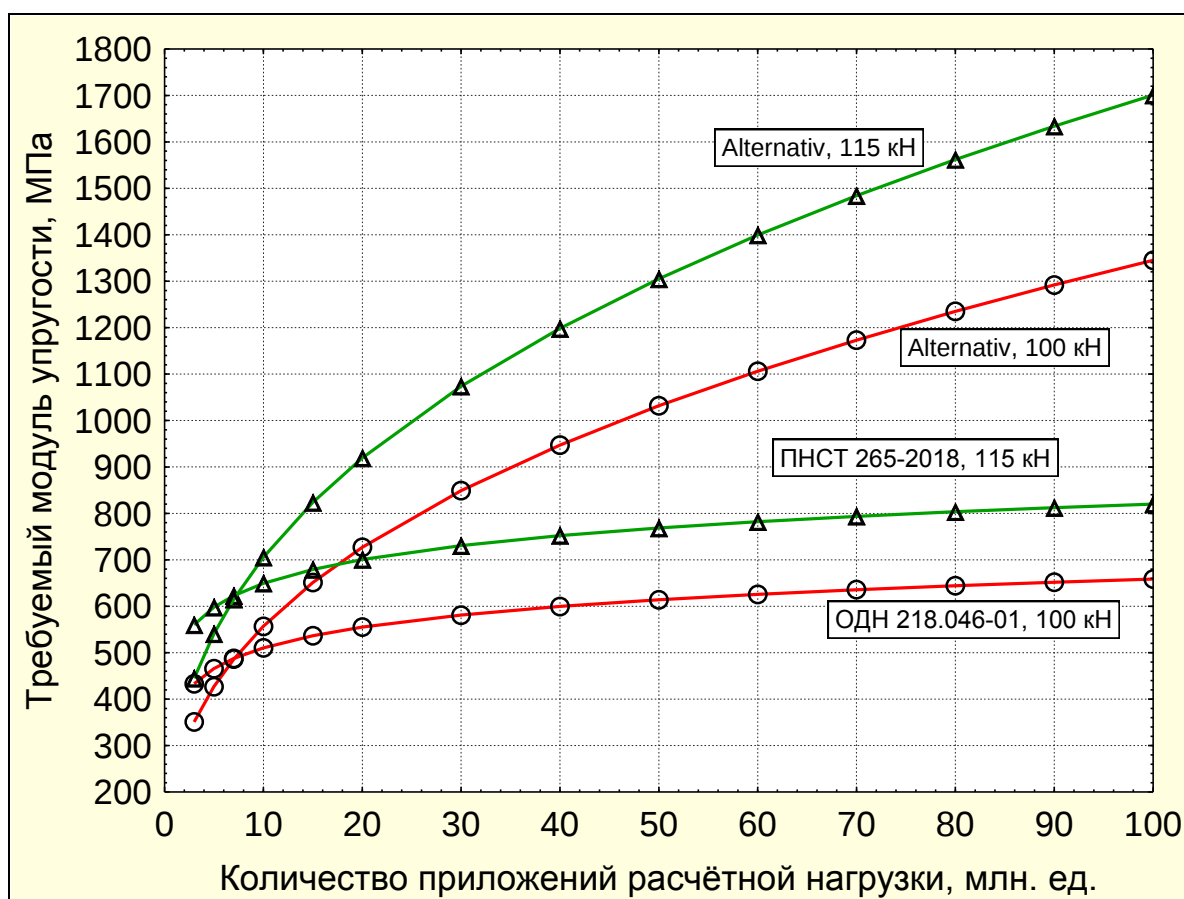


Рис. 2. Сравнение результатов определения требуемого модуля упругости нежестких дорожных одежд по степенной зависимости (Alternative, 100 кН и Alternative, 115 кН), ОДН 218.046-01 и ПНСТ 265-2018 в линейной шкале суммарного размера движения и с учётом коэффициента прочности

На рисунке 2, а также на рисунке 3 и 4 хорошо прослеживается, насколько мало изменяется требуемый модуль упругости с учётом коэффициента запаса прочности равного 1,5 с приращением суммарного

размера движения на каждые 10 млн приложений расчётной нагрузки согласно ПНСТ 265-2018.

Не может не казаться ошибочным приращение в требуемом модуле упругости, вычисленного с учётом коэффициента прочности равного 1,5, в среднем 10-15 МПа на каждые последующие 10 млн приложений расчётной нагрузки, причём в области экстремальных условий движения. Приращение в 10-15 МПа приведёт к увеличению толщины дорожной одежды всего лишь на 1 см в слое покрытия из асфальтобетона или 2 см в слое основания, что сопоставимо с допускаемой строительной погрешностью. В то же время универсальная степенная формула на каждые 10 млн. приложений расчётной нагрузки потребует наращивания конструктивной мощности в среднем до 100 МПа на поверхности дорожной одежды. Такой результат, безусловно, следует признать более логичным и в сочетании с грамотным конструированием [14] позволит обеспечить работу нежёстких дорожных одежд на длительных межремонтных периодах.

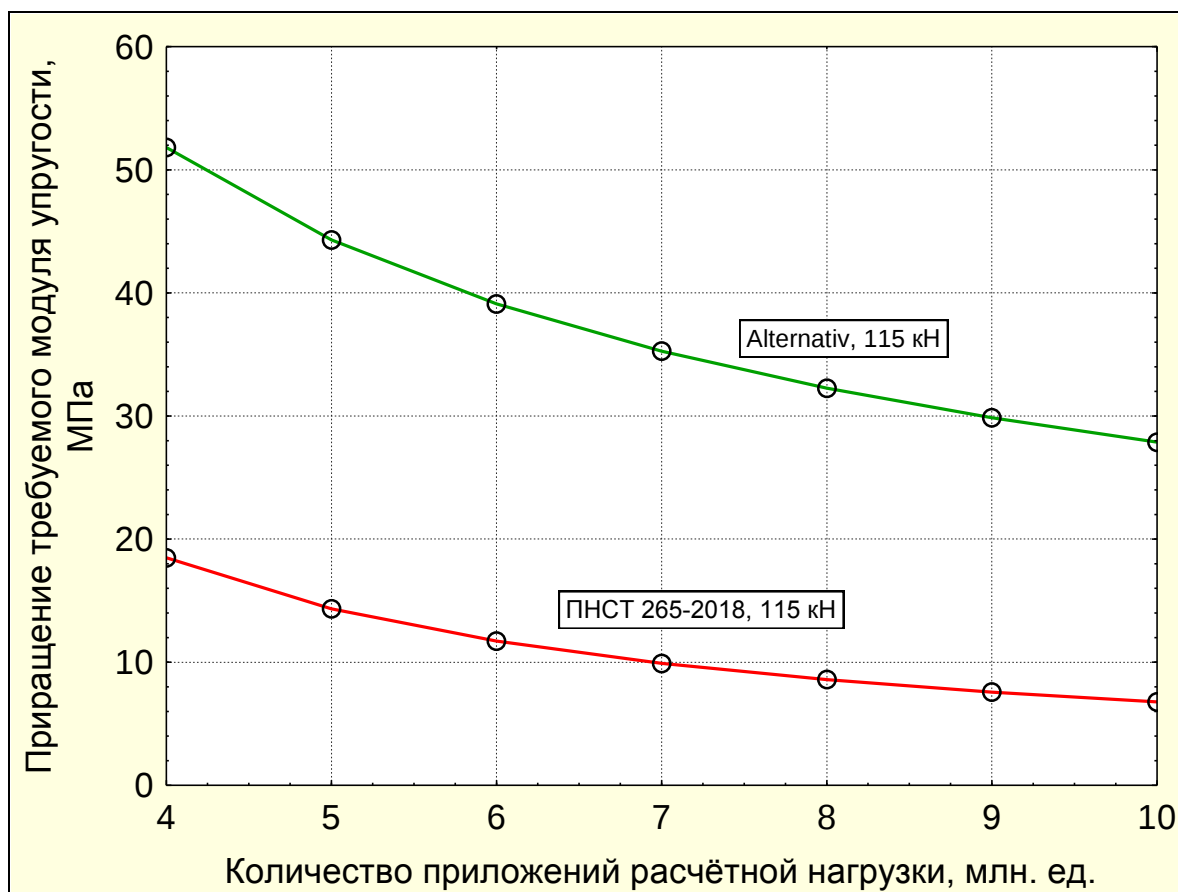


Рис. 3. Сравнение приращений требуемого модуля упругости нежестких дорожных одежд для степенной зависимости (Alternativ, 115 кН) и ПНСТ 265-2018 в линейной шкале суммарного размера движения до 10 млн приложений расчётной нагрузки

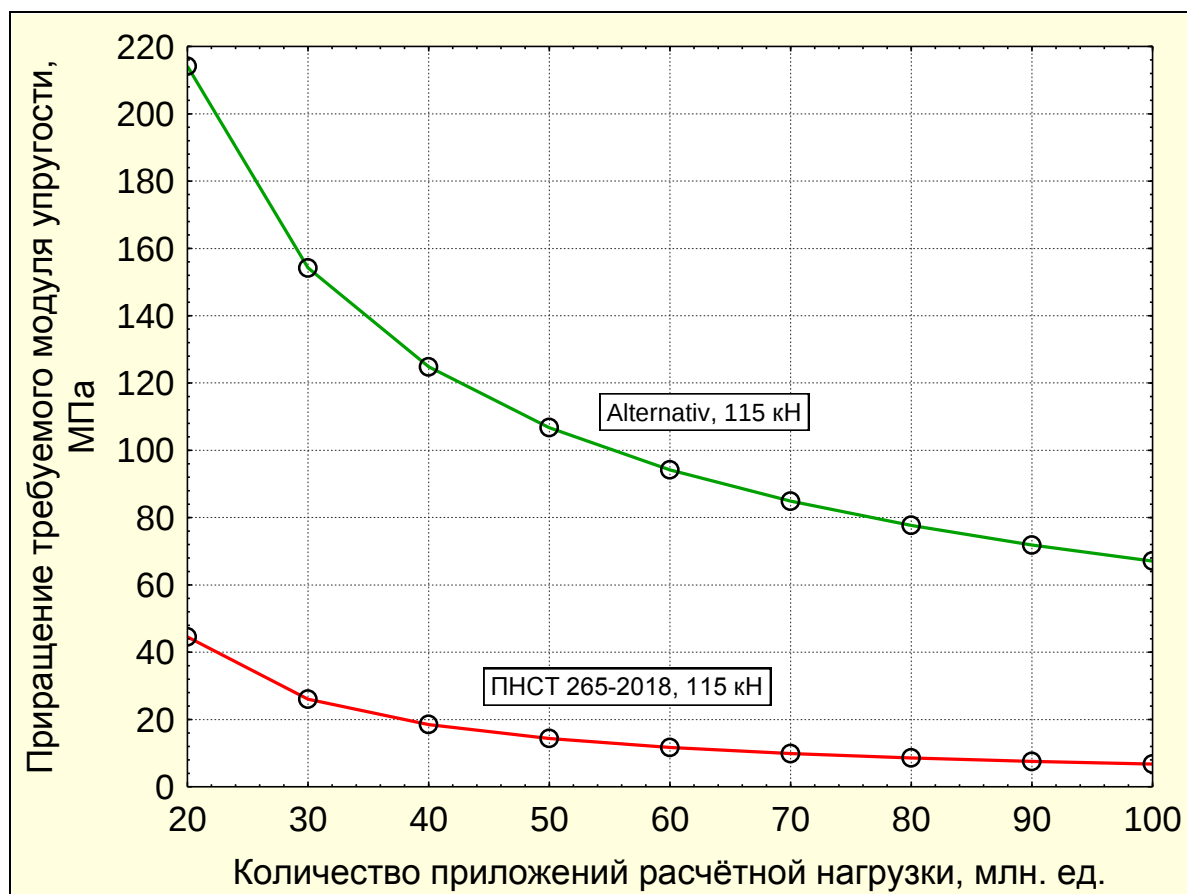


Рис. 4. Сравнение приращений требуемого модуля упругости нежестких дорожных одежд для степенной зависимости (Alternative, 115 кН) и ПНСТ 265-2018 в линейной шкале суммарного размера движения на отрезке свыше 10 млн приложений расчетной нагрузки

Заключение

Логарифмические функции для вычисления требуемого модуля упругости нежестких дорожных одежд обладают хорошей сходимостью со степенными зависимостями, которые были экспериментально обоснованы и более точно описывают взаимосвязь прочности, ровности и суммарного размера движения только на отрезке функций. Логарифмические функции имеют область ограничения до 10 млн. приложений расчетной нагрузки 100 кН. Далее, на отрезке функций, соответствующих экстремальным условиям движения, применение логарифмических взаимосвязей является ошибочным. При количестве приложений расчетной нагрузки 115 кН

порядка 20...25 млн проектирование нежестких дорожных одежд становится нецелесообразным. При таком суммарном размере движения технико-экономически обоснованным зачастую окажется переход на проектирование жестких дорожных одежд. В противном случае это может приводить к неэффективному расходованию средств на ремонт дороги, прежде всего, первых категорий, к которым относятся дороги федерального значения и отказу в работе дорожных одежд задолго до окончания нормативных сроков службы без дополнительных дорогостоящих ремонтных мероприятий.

Список литературы

1. Горячев, М.Г. Оценка поправочного коэффициента для определения минимального требуемого модуля упругости нежестких дорожных одежд / М.Г. Горячев // Транспортное строительство. – 2018. – №5. – С. 10-12.
2. Горячев, М.Г. Сопоставительные расчёты нежестких дорожных одежд по конкурентным методикам проектирования / М.Г. Горячев, С.В. Лугов, Е.В. Калёнова // Дороги России. – 2019. – №1 (109). – С.103-106.
3. Инструкция по назначению конструкций дорожных одежд нежесткого типа. ВСН 46-60. – М.: Автотрансиздат, 1961.
4. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. ВСН 46-72. – М.: Транспорт, 1973. – 108 с.
5. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. ВСН 46-83. Минтрансстрой СССР. – М.: Транспорт, 1985. – 157 с.
6. Коганзон, М.С. Работоспособность дорожных одежд нежесткого типа / М.С. Коганзон, Ю.М. Яковлев. – М.: МАДИ, 1985. – 51 с.
7. Красиков, О.А. Особенности расчёта и оценки прочности нежестких дорожных одежд на существующие расчётные осевые нагрузки / О.А. Красиков // Дороги и мосты. – 2015. – №1 (33). – С. 112-128.
8. Методические указания по расчёту нежестких дорожных одежд / А.П. Васильев, Ю.М. Яковлев, М.С. Коганзон [и др.]. – М.: МАДИ(ТУ)-ИРДУЦ, 1998. – 55 с.
9. ПНСТ 265-2018. Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование нежестких дорожных одежд. – М.: Стандартинформ, 2018.
10. Проектирование нежестких дорожных одежд. ОДН 218.046-01 / Министерство транспорта Российской Федерации. Государственная служба дорожного хозяйства. – М., 2001. – 145 с.

11. Проектирование нежёстких дорожных одежд. МОН 2-2001 / Межправительственный совет дорожников. – М., 2002. – 155 с.
12. Указания по оценке прочности и расчёту усиления нежёстких дорожных одежд (ВСН 52-89) / Министерство автомобильных дорог РСФСР. – М.: ЦБНТИ Минавтодора РСФСР, 1989. – 77 с.
13. Углова, Е.В. К вопросу об определении минимального требуемого общего модуля упругости нежёсткой дорожной одежды / Е.В. Углова, А.Н. Тиратурян // Дороги и мосты. – 2016. – №1 (35). – С. 5.
14. Ушаков, В.В. Принципы конструирования нежёстких дорожных одежд федеральных автомобильных дорог / В.В. Ушаков, М.Г. Горячев, С.В. Лугов, А.Н. Кудрявцев // Транспортное строительство. – 2019. – №1. – С. 2-5.

References

1. Goryachev, M.G. *Transportnoe stroitel'stvo*, 2018, no. 5, pp. 10-12.
2. Goryachev M.G., Lugov S.V., Kalyonova E.V. *Dorogi Rossii*, 2019, no. 1 (109), pp. 103-106.
3. *Instrukciya po naznacheniyu konstrukcij dorozhnyh odezhd nezhyostkogo tipa. VSN 46-60* (Instructions for the design of flexible pavements. VSN 46-72), Moscow, 1961.
4. *Instrukciya po proektirovaniyu dorozhnyh odezhd nezhyostkogo tipa. VSN 46-72* (Instructions for the design of flexible pavements. VSN 46-72), Moscow, 1973.
5. *Instrukciya po proektirovaniyu dorozhnyh odezhd nezhyostkogo tipa. VSN 46-83* (Instructions for the design of flexible pavements. VSN 46-83), Moscow, 1985.
6. Koganzon M.S., YAKovlev YU.M. *Rabotosposobnost' dorozhnyh odezhd nezhyostkogo tipa* (Performance of non-rigid road pavements), Moscow, MADI, 1985, 55 p.
7. Krasikov O.A. *Dorogi i mosty*, 2015, no. 1 (33). pp. 112-128.
8. Vasiliev A.P., Yakovlev Yu.M., Koganzon M.S., Pashkin V.K. *Metodicheskie ukazaniya po raschetu nejestkih dorojnih odejd* (Guidelines for the calculation of non-rigid road pavements), Moscow, MADI (TU)-IRDUTS, 1998, 55 p.
9. *Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. PNST 265-2018. Proektirovanie nezhyostkih dorozhnyh odezhd* (General automobile roads. PNST 265-2018. Flexible pavements design), Moscow, Standartinform, 2018.
10. *Proektirovanie nezhyostkih dorozhnyh odezhd. ODN 218.046-01* (Design of flexible pavements, ODN 218.046-01), Moscow, 2001.
11. *Proektirovanie nezhyostkih dorozhnyh odezhd. MODN 2-2002* (Design of flexible pavements, MODN 2-2002), Moscow, 2002.

12. *Ukazaniya po ocenke prochnosti i raschyotu usileniya nezhyostkih dorozhnyh odezhd. VSN 52-89* (Guidelines for assessing the strength and calculation of the reinforcement of non-rigid road pavements. VSN 52-89), Moscow, 1989.
13. Uglova E.V., Tiraturyan A.N. *Dorogi i mosty*, 2016, no. 1 (35). p. 5.
14. Ushakov V.V., Goryachev M.G., Lugov S.V., Kudryavtsev A.N. *Transportnoe stroitel'stvo*, 2019. no. 1, pp. 2-5.

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