



14. Соляник-Красса К.В. Осесимметричная задача теории упругости. – М.: Стройиздат, 1987. – 336 с.: ил.
15. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения: издание второе, дополненное и переработанное / Под общей ред. Ильичева В.А. и Мангушева Р.А. – М.: Изд-во АСВ, – 2016, – 1040 с.
16. Тер-Мартirosян З.Г., Тер-Мартirosян А.З. Механика грунтов в высотном строительстве с развитой подземной частью: Учебное пособие. – М.: Издательство АСВ, 2020. – 946 с.
17. Тер-Мартirosян З.Г., Тер-Мартirosян А.З., Мирный А.Ю., Соболев Е.С. Грунтовый вискозиметр // Журнал «ГеоТехника», 5/2016, – С.4-9.

© З. Г. Тер-Мартirosян, А. Н. Шебуняев

Ссылка для цитирования:

Тер-Мартirosян З. Г., Шебуняев А. Н. Перемещение длинного стержня сквозь песчаный образец под действием динамической нагрузки // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2022. № 3 (41). С. 15–22.

УДК 625.7.8

DOI 10.52684/2312-3702-2022-41-3-22-27

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УПЛОТНЯЮЩИХ МАШИН
ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ
С УЧЕТОМ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СЛОЕВ**

Ш. В. Бузиков, М. В. Мотовилова

Бузиков Шамиль Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного производства, Вятский государственный технический университет, г. Киров, Российская Федерация, тел. +7 905-870-93-56; e-mail: shamivb@mail.ru;

Мотовилова Марина Владимировна, заведующий лабораторией кафедры технологии машиностроения, Вятский государственный технический университет, г. Киров, Российская Федерация, тел. +7 922-917-48-74; e-mail: marina_mtd@mail.ru

Рассмотрены основные проблемы, связанные с эксплуатацией асфальтобетонных покрытий, их износом от колес транспортных средств с увеличением интенсивности дорожного движения. Поставлена задача повышения прочностных показателей дорожных покрытий из горячих асфальтобетонных смесей, с учетом технологических возможностей современных уплотняющих машин. Для достижения поставленной цели рассмотрены факторы, влияющие на повышение эксплуатационных параметров дорожных покрытий. Представлена расчетная схема взаимодействия вальца катка и уплотняемого материала, а также функциональная зависимость состояния напряжения в зоне контакта. По результатам экспериментального исследования приведено рекомендуемое количество проходов катка по одному следу при формировании дорожного полотна. Сделан вывод о влиянии уплотнения горячих асфальтовых смесей в процессе формирования дорожного полотна различными вальцами дорожно-строительных машин.

Ключевые слова: асфальтобетонное покрытие, эксплуатационные показатели, уплотняемый материал, прочность, валец катка.

**APPLICATION EFFICIENCY STUDY COMPACTION MACHINES
WHEN FORMING ROAD SURFACES TAKING INTO ACCOUNT THE STRESS-STRAIN STATE
OF ASPHALT CONCRETE LAYERS**

Sh. V. Buzikov, M. V. Motovilova

Buzikov Shamil Viktorovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Production, Vyatka State Technical University, Kirov, Russian Federation, phone: +7 905-870-93-56; e-mail: shamivb@mail.ru;

Motovilova Marina Vladimirovna, Head of the Laboratory of the Department of Mechanical Engineering Technology, Vyatka State Technical University, Kirov, Russian Federation, phone: +7 922-917-48-74; e-mail: marina_mtd@mail.ru

The main problems related to the operation of asphalt concrete pavements, their wear from the wheels of vehicles with an increase in the intensity of road traffic are considered. The task is to increase the strength indicators of road surfaces made of hot asphalt concrete mixtures, taking into account the technological capabilities of modern sealing machines. To achieve this goal, the factors influencing the increase in the operational parameters of road surfaces are considered. The design scheme of the interaction of the roller roller and the compacted material, as well as the functional dependence of the voltage state in the contact zone is presented. According to the results of the experimental study, the recommended number of skating rink passes along one track during the formation of the roadway is given. The conclusion is formed about the influence of compaction of hot asphalt mixtures in the process of forming the roadway by various rollers of road construction machines.

Keywords: asphalt concrete pavement, operational indicators, compacted material, strength, roller roller.

Введение

Увеличение скорости движения транспорта, трафика и плотности самих транспортных потоков, свя-

занных с перевозкой грузов и пассажиров необратимо приводят к возрастанию различных видов нагрузок на автомобильные дороги. Воздействие циклических, динамических, знакопеременных

нагрузок на асфальтобетонное покрытие (в довольно широком климатическом температурном диапазоне) особенно в летний период, от транспорта, имеющего большую грузоподъемность, неизбежно приводит к преждевременному образованию трещин, потери показателя ровности, уменьшению долговечности покрытий автомобильных дорог.

Различные дефекты, такие как повреждения, сдвиги и деформации, оказывают влияние на эффективность работы транспорта. В данном случае это приводит к увеличению расхода топлива, повышению эмиссии вредных и токсичных веществ с отработавшими газами, а также уровня вибраций. Вибрации ускоряют износ дорожного покрытия и транспортного средства, приводящее к уменьшению экономической эффективности. Согласно исследованиям [1], увеличение повреждения дорожных покрытий на 1% приводит к такому же увеличению расхода топлива транспортного средства.

Асфальтобетонные покрытия разрабатываются на основе действующих редакций ГОСТ Р 59300-2021, ГОСТ Р 59302-2021 и СП для усредненной нагрузки от колесного транспорта для автомобильных дорог общего пользования. При этом не всегда учитывается повышенный (увеличивающийся) сезонный ритм грузоперевозок и особенности местного ландшафта (уклон в южную сторону, перекрестки на этих склонах, что приводит к дополнительной нагрузке и понижению эксплуатационных показателей дорожного покрытия). Происходит постепенное накопление остаточных деформаций, образование трещин, волн, просадок, износ и смещение верхнего слоя дорожного покрытия.

Принятая и распространенная оценка прочности асфальтобетона при изгибе из условия вязкопластического разрушения не может в полной мере гарантировать обеспечение устойчивости покрытия к образованию трещин.

Поэтому целесообразно произвести уточнение критериев предельного состояния с действительными условиями его работы и качеством асфальтобетонного покрытия, что дает возможность повышения эксплуатационных качеств дорожного покрытия в городских условиях [2–5]. От технологии и качества выполненных работ по укладке и уплотнению горячих асфальтобетонных смесей зависит дальнейшая эксплуатация асфальтобетонного покрытия.

Цель данной работы состоит в повышении эксплуатационных показателей параметров дорожных покрытий из горячих асфальтобетонных смесей, с учетом структуры асфальтобетонных слоев и технологических возможностей современных уплотняющих машин.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить целый ряд задач. Во-первых, опреде-

лить основные факторы, влияющие на формирование структуры асфальтобетонов от которых зависят транспортно-эксплуатационные показатели дорожных покрытий. Во-вторых, определить показатели приготовления асфальтобетонной смеси с заданными эксплуатационными показателями. В-третьих, определить количество проходов катка с вальцами по одному следу при уплотнении горячих асфальтовых смесей в процессе формирования дорожного покрытия.

Актуальность исследования заключается в развитии и совершенствовании дорожной сети Российской Федерации в рамках реализации национального проекта Безопасные и качественные автомобильные дороги (БКАД). Приоритеты и цели государственной транспортной политики, на период до 2030 г. (с прогнозом до 2035 г.) утверждены распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-Р в государственной программе «Развитие транспортной системы» [6–7].

Увеличение транспортного парка страны и интенсивности его движения способствует ускорению износа асфальтобетонных покрытий. В результате этого возникают различного рода деформации, трещины, разрушения, что влияет на эксплуатацию дорожного покрытия и транспортного средства. А это приводит к дополнительным капитальным вложениям.

Повышение эксплуатационных параметров асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог приводит к требуемому уровню безопасности дорожного движения транспортных средств и их эффективной работе.

Практическая ценность работы состоит в разработке методики проектирования асфальтобетонных покрытий дорожных одежд автомобильных дорог, которая отражает специфику городских условий эксплуатации в части организации безопасности дорожного движения, а также осуществления дальнейшего развития и совершенствования строительства таких асфальтобетонных покрытий. Приведенные режимы уплотнения, при котором процесс структурообразования использует принципы направленного регулирования структурно-механических свойств асфальтобетонных смесей позволяет получать асфальтобетон с заранее заданными свойствами для применения в качестве дорожного покрытия автомобильных дорог общего пользования.

Основная часть

Анализ зарубежного [8–11] и отечественного [12–14] опыта расчета дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием показывает нарастающие тенденции совершенствования дорожных покры-

тий, основанных на новых знаниях нагружения дорожных одежд, физико-механических свойствах применяемых материалов, а также технологических возможностей уплотняющих машин. При интенсивном движении транспорта в городских условиях срок службы дорожных покрытий составляет в среднем от двух до пяти лет.

Повышение эксплуатационных показателей дорожных покрытий возможно за счет оптимизации и использования многокомпонентных составов асфальтобетонных смесей [15], а также применения современных технологий производства дорожно-строительных работ и дорожно-строительных машин. При этом необходимо учитывать увеличивающуюся интенсивность движения и осевую нагрузку транспортных средств. Также учитывается экономическая составляющая в связи с более глубокой переработкой нефтяных углеводородов, влияющих на структуру и свойства дорожного битума. Особое влияние на эксплуатационные показатели дорожного покрытия оказывают природно-климатические факторы.

Температура окружающего воздуха и воздействие солнечной радиации напрямую формируют нестационарное температурное поле в слоях конструкции дорожного покрытия, что напрямую влияет на ее прочностные показатели. На автомобильных дорогах в городской черте в летнее время можно наблюдать необратимые деформации дорожного покрытия (рис. 1) от кратковременных динамических знакопеременных нагрузок транспортных средств.



Рис. 1. Измерение дефектов дорожного покрытия от необратимой деформации с использованием дорожной рейки (а-г)

При нагреве дорожного покрытия под действием солнечной радиации максимальная летняя температура асфальтобетонного покрытия определяется, как:

$$T_{\max} = (J \cdot (1 - A) \cdot 0,16) / k_c + t_{\text{nc}} \quad (1)$$

где J – расчетный поток суммарной солнечной радиации, Дж/(м²час); A – коэффициент отражения солнечной радиации поверхностью асфальтобетонных покрытий; k_c – суммарный коэффициент теплоотдачи на границе «покрытие-воздух»; t_{nc} – температура воздуха в пограничном слое, °С.

Рассматривая связь упругого прогиба с радиусом кривизны, с предельным сдвигом верхнего слоя дорожного покрытия и относительным удлинением, целесообразно использовать упругий прогиб покрытия как характеристику состояния всей конструкции (рис. 2). Определение величины радиуса кривизны, при рассмотрении его как критерия оценки прочности нежесткой дорожной одежды на участках в неблагоприятный период эксплуатации автомобильной дороги предложена многими авторами [7].

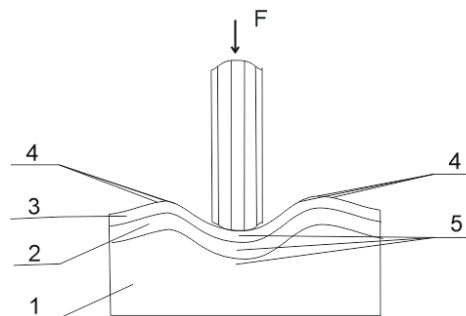


Рис. 2. Схема деформации нежесткой дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием под колесом транспортного средства:

1 – земляной грунт, 2 – основание, 3 – асфальтобетонное покрытие, 4 – зона максимального растяжения, 5 – зона максимальных напряжений сдвига

Применение возможностей дорожно-строительных машин и механизмов нового поколения, современных технологических приемов производства дорожно-строительных работ [6] позволяет влиять на эксплуатационные показатели дорожных покрытий и увеличить их долговечность. Аддитивность свойств асфальтобетонных смесей определяется их структурой, в особенности, микроструктурой. При помощи формирования микроструктурных контактных связей возможно сформировать асфальтобетонные смеси с необходимыми технологическими свойствами, а асфальтобетон с требуемыми эксплуатационными показателями.

Данную задачу возможно решить при использовании:

- положений физико-химической механики высококонцентрированных дисперсных систем с учетом контактных взаимодействий;
- формирования структуры и свойств асфальтобетона в процессе уплотнения верхнего слоя дорожного полотна в результате прохода по одному следу.

При изготовлении асфальтобетонных смесей существенное влияние оказывают сложные физико-химические процессы, протекающие при взаимодействии битума с зернами минеральных компонентов асфальтобетона в первую очередь с тонкодисперсными частицами минерального порошка. Качество приготовления асфальтобетонной смеси оценивается равномерностью распределения компонентов по объему замеса и покрытия пленкой битума постоянной толщины всех поверхностей минеральных зерен, при этом происходит вытеснение масла во внешний слой битумных пленок, а асфальтены переходят на поверхность минеральных зерен.

Присутствие масел в битумных пленках приводит к понижению коэффициента внутреннего трения, при этом обеспечивается легкая подвижность и быстрая уплотняемость дорожного покрытия. Наличие в битумной пленке асфальтенов обеспечивает более высокую водостойкость асфальтобетона.

К основным показателям приготовления смеси можно отнести:

- равномерность распределения всех компонентов по всему объему замеса;
- распределение битумной пленки постоянной толщины по низко дисперсным фракциям минерального материала;
- обеспечение эластичных свойств битумной пленки на внешней ее оболочке;
- обеспечение внутреннего, структурированного водостойкого слоя асфальтобетона.

Одной из основных операций при формировании структуры асфальтобетонной смеси является температура ее уплотнения, время воздействия этой температуры и интенсивность нагрузки от прикатывающих вальцов катка. При росте уплотняющей нагрузки от 40–50 МПа (рис. 3а) до 70–80 МПа (рис. 3б) наблюдается уменьшение пористости и водонасыщения, а также увеличение плотности дорожного покрытия за счет увеличения среднего контакта между частицами в единице объема.

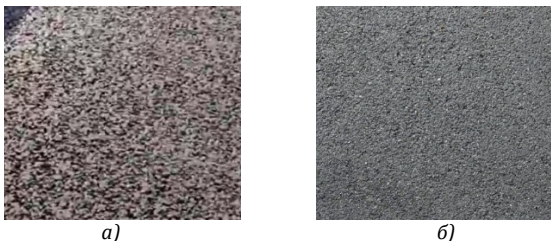


Рис. 3. Поверхностный слой асфальтобетона после уплотнения

По результатам исследований установлено, что необходимая плотность дорожного покрытия достигается при контактных напряжениях под вальцом катка соответствующему пределу прочности фракций минерального материала. В зоне контакта

вальца катка с асфальтобетонным покрытием, возникают вертикальные и горизонтальные силы напряжения, влияющие на процесс уплотнения. Расчетная схема, моделирующая процесс воздействия вальцов катка на фракции минерального материала представлена на рисунке 4 с учетом остаточных и упругих деформаций, возникающих в материале при уплотнении.

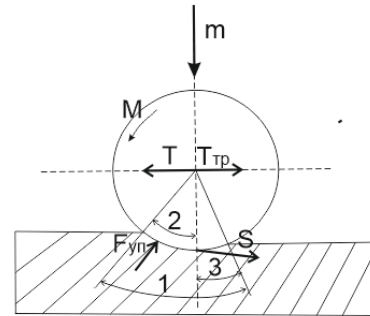


Рис. 4. Схема взаимодействия вальца катка и уплотняемого материала:

- 1 – угол контакта вальца катка с уплотняемым материалом, 2 – угол характеризующий упругую деформацию материала под вальцом, 3 – угол, определяющий полную деформацию материала под вальцом, M – крутящий момент, кН м, m – масса вальца и передаваемая на него нагрузка от рамы катка, T – сила тяги, $T_{тр}$ – сила сопротивления, $F_{уп}$ – сила упруго восстановления, S – максимальная сила воздействия на уплотняемый материал

Расчет напряжений ведется для плоской задачи. Контактные напряжения зависят от свойств фракций уплотняемого минерального материала и силовых параметров, характеризующих катки. Вертикальная нагрузка характеризуется величиной нормальных напряжений, зоны контакта вальца и фракций минерального материала, а также вертикальных составляющих сил. Касательные напряжения зависят от горизонтальных сил, приложенных к вальцу катка, свойств фракций уплотняемого минерального материала и составляющих сил сжимающих напряжений. Состояние, напряжения в зоне контакта определяется функцией вида:

$$\sigma = \alpha_0 + \alpha_1 x + \alpha_2 x^2 + \alpha_3 x^3 + \alpha_4 x^4 \quad (2)$$

где $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ – коэффициенты ряда; x – переменная величина рассматриваемой точки на дуге контакта вальца с фракциями уплотняемого минерального материала.

Полученные зависимости контактного напряжения под вальцом (ведущий и ведомый) имеют вид:

$$\sigma = (A_1, B_1, C_1, D_1)\varphi + (A_2, B_2, C_2, D_2)\varphi^2 + (A_3, B_3, C_3, D_3)\varphi^3 + (A_4, B_4, C_4, D_4)\varphi^4 \quad (3)$$

где $(A_{1-4}, B_{1-4}, C_{1-4}, D_{1-4})$ – коэффициенты системы уравнений; φ – угол на дуге контакта вальца с материалом покрытия.

Численные значения A, B, C, D зависят от силовых параметров катков и свойств уплотняемого материала. Результаты расчетов показывают, что

каждый проход укатывания повышает напряжение под вальцом на 0,1 МПа (прослеживается зависимость очень близкая к линейной).

Экспериментальные исследования по определению показателей асфальтобетонов при укатывании проводились при ремонте автомобильных дорог общего пользования Кировской области в рамках реализации национального проекта БКАД. Строительная организация, проводившая весь комплекс работ по укладке дорожного покрытия АО Гордормостстрой (г. Киров), имеющая в наличии всю необходимую дорожно-строительную технику и контрольно-измерительное оборудование, прошедшее обязательную государственную поверку.

При исследовании структурообразования асфальтобетона при уплотнении выявлено, что количество проходов катка по одному следу является одним из важных факторов при структурообразовании битумоминеральных смесей. С увеличением числа проходов повышается модуль деформации материала, уменьшается контактная поверхность, в связи с этим напряжения под вальцом катка увеличиваются. При уплотнении горячей смеси асфальтобетона напряжение зависит от температуры смеси. В процессе укатывания температура понижается и напряжения на контакте вальца с материалом повышаются из-за изменения модуля деформации смеси, а также повышается вязкость битума, способствующая укреплению связей между мелко дисперсными частицами и другими фракциями смеси. В результате эксперимента изменение контактных напряжений изменяется несколько быстрее. Каждый проход укатывания повышает напряжение под вальцом на (0,11–0,12) МПа.

Полученные данные позволяют сделать вывод об уменьшении количества проходов по одному следу на 1–2 раза для достижения необходимой плотности дорожного покрытия в сравнении с исследовательскими работами авторов [2, 4], а также снижению на 4,25–7,85 % времени, энергетических и экономических затрат процесса укатывания. Появляется возможность прогнозировать необходимое количество проходов катка по одному следу для достижения необходимой плотности. Рекомендуемое количество проходов катка по одному следу представлено в таблице 1.

При равных условиях структурообразовании асфальтобетона лучшие значения уплотнения достигаются вибрационными катками. На результат формирования структуры и свойств асфальтобетона влияет состав смеси и толщина уплотняемого слоя. Скорость катков при уплотнении

оказывает чуть меньшее влияние на формирование структуры асфальтобетона.

Таблица 1

Число проходов катка по одному следу при уплотнении материала

Тип катка	Марка катка	Число проходов по одному следу
Гладковальцовый	ДУ48А	14–16
Вибрационный	ДУ47А	10–11
На пневмошинах	ДУ31А	8–9
Комбинированный	ДУ 84	11–12

Достижимая плотность с достаточной достоверностью выражается зависимостью $Y = f(x_{уп})$, которая определяет скорость изменения плотности при проходе по одному следу за каждый раз. Статистическая оценка представленных зависимостей дает хорошую корреляционную связь между уплотнением и числом проходов по одному следу. Явно выражена практически линейная зависимость между расчетными и экспериментальными данными. Коэффициент корреляции составляет 0,95–0,97.

Получение асфальтобетонных покрытий с требуемыми эксплуатационными параметрами, а также повышенным сроком службы возможно при соблюдении технологической однородности всего процесса (ритмичность доставки смеси, соблюдение проектных требований укладки смеси, процесс уплотнения и соблюдение температурной однородности на всех этапах строительства дорожного полотна).

Заключение

Определены основные факторы, влияющие на формирование асфальтобетона с повышенными эксплуатационными показателями.

Таким образом, установлен характер взаимосвязи между поверхностью фракций минеральных компонентов асфальтобетона с битумной пленкой постоянной толщины, структурой и свойствами органических вяжущих, а также прочностью.

Выявлены основные параметры, влияющие на структуру асфальтобетона, что дает возможность формировать необходимые эксплуатационные свойства асфальтобетонных смесей в процессе формирования дорожного полотна. Рекомендуемое количество проходов катка по одному следу зависит от типа катка и составляет 14–16 (для гладковальцовых), 10–11 (для вибрационных), 8–9 (каток на пневмошинах), 11–12 (каток с комбинированными вальцами). Экономические затраты процесса уплотнения снижаются на 4,25–7,85 %.

Список литературы

- Халиулина Л. Э. Долговечность асфальтобетонных покрытий // Научный журнал. – 2018. – №. 6 (29). – С. 26–27.
- Котлярский Э. В. Повышение долговечности покрытий автомобильных дорог за счет оптимизации структуры асфальтобетона: автореф. докт. техн. наук/ Белгород, 2012. – 45 с.

3. Матуа В. П. Исследование напряженно-деформированного состояния дорожных конструкций с учетом их неупругих свойств и пространственного нагружения: дис. на соиск. ученой степ. докт. техн. наук: 05.23.11 – проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей Ростов-на-Дону, 2002. – 484 с.
4. Зубков А. Ф. Разработка технологии устройства асфальтобетонных покрытий с повышенными эксплуатационными параметрами: автореф. на соиск. ученой степ. докт. техн. наук: 05.23.11 – проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей Воронеж, 2008. – 32 с.
5. Кононов В. Н. Теоретические основы повышения эксплуатационных качеств асфальтобетонных покрытий дорожных одежд городских улиц и дорог: дис. на соиск. ученой степ. докт. техн. наук: 05.23.11 – проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей Ростов-на-Дону, М., 1983. – 288 с.
6. Постановление Правительства РФ от 20 декабря 2017 г. N 1596 "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Развитие транспортной системы" <http://government.ru/rugovclassifier/841/events/>.
7. Изменения в нормативно-технических документах в сфере дорожной деятельности за 2020-2021 годы: информационный вестник / под ред. Е.А. Дмитренко. М.: ФАУРОсдорНИИ, 2022. 202 с.
8. Mardani-Aghabaglou, A. Durability performance and dimensional stability of road concrete containing dry-shake surface hardener admixture / A. Mardani-Aghabaglou, K. Karakuzua, V. Kobyaа, D. Hatungimanab // Construction and Building Materials. – 2021. – V. 274. – Article 122472.
9. Sukhija, M.A Comprehensive review of warm mix asphalt mixtures-laboratory to field/ M. Sukhija, N. Saboo// Construction and Building Materials. – 2021. –V. 274. – Article 121781.
10. HooiCho, B. Enhanced surface hardening of hydrated concrete composite by strontium nitrate (Sr(NO₃)₂) aqueous solution / B. HooiChoа, B. H. Namb, S. Santrac, M. Barryd, S. Novake // Journal of Building Engineering. – 2021. – V. 40. – Article 102696.
11. Fang, Z Dynamical response to vibration roller compaction and its application in intelligent compaction / Z. Fang, Yu Zhu, T. Ma, Y. Zhang, T. Han, J. Zhang // Automation in Construction. – 2022. –V. 142. – Article 104473.
12. Адоньева, А. А. Методика оценки агрегатного состояния после промораживания пластификаторов для полимерно-битумных вяжущих / А.А. Адоньева, И.А. Ефремов, А.С. Покатаев, Н.И. Савенкова, Д.Ю. Небрятенко // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научнотехнический журнал. – 2022. – №. 1 (39). – С. 41-47.
13. Небрятенко, Д. Ю. ABCD – метод оценки низкотемпературного поведения дорожных вяжущих / Д.Ю. Небрятенко // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал. – 2022. – №. 1 (39). – С. 37-41.
14. Корочкин А.В. Теория расчета жесткой дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием. – М.: МАДИ, 2017. – 148 с.
15. Гуторов, К. В. Универсальные добавки, улучшающие характеристики асфальтобетонных смесей / К.В. Гуторов, В.А. Павлова // StudNet. – 2021. – Т. 4. – №. 4.

© Ш. В. Бузиков, М. В. Мотовилова

Ссылка для цитирования:

Бузиков Ш. В., Мотовилова М. В. Исследование эффективности применения уплотняющих машин при формировании дорожных покрытий с учетом напряженно-деформированного состояния асфальтобетонных слоев // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2022. № 3 (41). С. 22-27.

УДК 69.04

DOI 10.52684/2312-3702-2022-41-3-27-31

**ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ДЛИННОГО СТЕРЖНЯ СКВОЗЬ ПЕСЧАНЫЙ ОБРАЗЕЦ
ПОД ДЕЙСТВИЕМ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ**

З. Г. Тер-Мартirosян, А. Н. Шебуняев

Тер-Мартirosян Завен Григорьевич, доктор технических наук, профессор кафедры механики грунтов и геотехники, Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация, тел.: +7(495)287-49-14, доб. 1425; e-mail: Ter-MartyrosyanZG@mgsu.ru;

Шебуняев Александр Николаевич, аспирант, Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация, тел.: +7(977)946-11-93; e-mail: shebunyaev95@mail.ru

Приводится решение задачи о перемещении длинного стержня сквозь песчаный образец с боковым обжимающим давлением, один конец которого находится под действием динамической нагрузки, а второй свободен от нагрузок и сил сопротивления, с нарушением условия предельного равновесия с использованием аналитических зависимостей и численного интегрирования в программе Mathcad. Полученные результаты наглядно показывают влияние параметров рассматриваемой системы (статическая сила, амплитуда динамической составляющей нагрузки, угол внутреннего трения, частота колебаний) на интенсивность перемещения стержня и могут быть использованы при решении прикладных геотехнических задач, например, о динамическом погружении свай в песчаный грунт. Анализируя результаты решения данной задачи, прослеживается вязкая природа перемещения стержня, так как скорость перемещения пропорциональна продольной силе.

Ключевые слова: динамическая нагрузка, перемещение стержня, условие предельного равновесия, обжимающее давление.