

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Казанский государственный архитектурно-строительный университет»
(КазГАСУ)
ул. Зеленая, д.1, г. Казань, 420043, тел. (843) 510 46 01, факс (843) 238 79 72, info@kgasu.ru
ОКПО 02069622, ОГРН 1021602836485, ИНН 1655018025, КПП 165501001

« 03 » 09 2024 г.

№ 4.2.1-882/1-01

УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО «Казанский
государственный архитектурно-
строительный университет»
доктор техн. наук, профессор
Низамов Р. К.



« 03 » 09 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

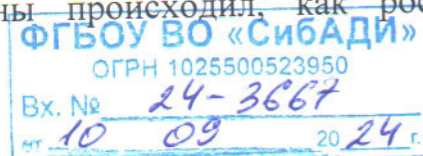
Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Казанский государственный
архитектурно-строительный университет» на диссертационную работу
Калинина Александра Львовича
на тему: «Совершенствование расчета дорожных конструкций по
сдвигу в песчаных грунтах»,

представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности

2.1.8 - Проектирование и строительство дорог, метрополитенов,
аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки)

1. Актуальность темы исследования

В России расчет дорожных одежд нежесткого типа по прочности производят по критерию упругого прогиба, определяя толщину конструктивных слоев, с последующим выполнением двух проверок. Первая проверка представляет собой расчет монолитных слоев по сопротивлению усталостному разрушению от растяжения при изгибе, а суть второй проверки состоит в оценке сопротивления сдвигу грунтов земляного полотна и песчаных грунтов в дополнительных слоях оснований. Оригиналы этих расчетов созданы в 60-х годах двадцатого века и впервые применены в качестве нормативной методики в ВСН 46-72 (редакция от 1973 года). По мере развития автомобилизации нашей страны происходил, как рост



интенсивности движения, так и увеличение грузоподъемности транспортных средств с сопутствующим возрастанием нагрузки на ось. Эта тенденция требовала совершенствования нормативных методов расчета. Поэтому на смену методики расчета, регламентируемой ВСН 46-72, пришли расчеты ВСН 46-83, ОДН 218.046-01, ПНСТ 265-2018 и ПНСТ 542-2021, содержащие нововведения относительно предыдущей версии. Таким образом, на протяжении последнего пятидесятилетия совершенствование любого из трех критериев расчетанежесткой дорожной одеждой является актуальной тематикой в дорожной отрасли. Тем более, что в настоящее время дорожная отрасль перешла на более длительные межремонтные сроки (12 лет) и сроки службы дорожных одежд (24 года). Безусловно, что повышение срока службы требует совершенствование методов расчета дорожных одежд. Одним из вариантов такого совершенствования могут быть введение модифицированного критерия Кулона – Мора, или применение расчета главных напряжений от гибкого штампа, к категории которого относятся слои дорожной одежды нежесткого типа из любого известного материала. Именно таким нововведениям посвящена работа соискателя.

В связи с изложенным темой диссертации следует признать актуальной, как с практической, так и научной точки зрения.

2. Структура и содержание диссертации

Представленная диссертация состоит из введения, основной части, изложенной в пяти главах, включающих 51 таблицу и 78 рисунков, заключения, списка литературы из 268 наименований, двух приложений с актами внедрения результатов исследования и локальными сметными расчетами, подтверждающими экономическую эффективность предлагаемых соискателем нововведений.

В введении обоснованы научная и практическая стороны актуальности выбранной темы, показана степень ее разработанности, описана основная идея работы, выбраны объект и предмет исследования, сформулированы цели и задачи, а также методология и методы исследования, определены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, а также положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробации результатов, показан личный вклад соискателя.

В первой главе анализируется развитие методов расчета грунтов земляных сооружений по сопротивлению сдвигу. Первый параграф главы посвящен анализу основ таких расчетов, а именно обзору условий пластичности. Материалы обзора и анализа изложены по принципу от наиболее простого (классические критерии прочности) к более сложному (аналитические, эмпирические и мультиповерхностные условия пластичности). Выполняя анализ, автор показывает, что на девиаторной плоскости поверхности текучести любого из двух и трех инвариантных критериев пластичности пересекают шестигранник Мора либо в углах сжатия или растяжения, либо и в углах сжатия и углах растяжения. Здесь же заостряется внимание на том, что нормативный расчет дорожной одежды по

сопротивлению сдвигу производится в точке, принадлежащей оси симметрии нагрузки и лежащей на границе раздела верхнего и нижнего слоев двухслойной системы, в которой промежуточное и минимальное главные напряжения равны. В этом случае все аналитические критерии дают один и тот же результат, тождественный результату по критерию Кулона – Мора. Отсюда вывод, что замена критерия Кулона – Мора на какой-либо другой более современный критерий пластичности к изменению толщины дорожной одежды не приведет. Значит, необходимо искать способ модификации самого критерия Кулона – Мора, но так, чтобы эквивалентное напряжение сдвига нового критерия пластичности превышало напряжение сдвига классического двухпараметрического критерия Кулона – Мора. Второй параграф анализируемой главы посвящен обзору и анализу методов расчета грунтовых оснований по сопротивлению сдвигу. В числе таких методов приводятся решения, полученные применением модели линейно-деформируемой среды, поверхностей скольжения и теории предельного равновесия грунта. Показаны достоинства и недостатки каждого из этих методов. В завершающем параграфе третьей главы автор рассматривает решения о сопротивлении сдвигу в грунте земляного полотна, подстилающем дорожную одежду. В данном параграфе рассмотрена вся история становления этого расчета от классического решения А.М. Кривисского до современных решений, базирующихся на гипотезах упрочнения грунта в критерии Кулона – Мора при действии статических и динамических повторных нагрузок. В данном параграфе автор обращает внимание, что применение в расчете напряжений сдвига от временной и постоянной нагрузок разных значений углов внутреннего трения неприемлемо. Суть утверждения соискателя состоит в том, что угол внутреннего трения обуславливает значение угла наклона площадки скольжения к главным осям. Если углы внутреннего трения различны, то и углы наклона не одинаковы (показано в табл. 1.10). В этом случае принцип суперпозиции силы, состоящий в суммировании напряжений сдвига от временной и постоянной нагрузок неприменим. Значит, нормативный метод расчета требует корректировки.

Во второй главе произведено исследование критерия Кулона – Мора и выполнена его модификация введением третьего параметра с экспериментальным определением параметров нового критерия пластичности. Первый параграф главы посвящен обоснованию способа модификации критерия Кулона – Мора. В данном параграфе автор анализирует недостатки классической модели упрочнения грунта при действии повторных нагрузок и ее различных модификаций. В силу этих недостатков соискатель отказывается от традиционной модели упрочнения и ставит задачу модификации условия пластичности Кулона – Мора путем введения третьего параметра, зависящего от деформации деформаций. Во втором параграфе автор приводит алгоритм математических действий, которые необходимо произвести при выводе трехпараметрического критерия (рис. 2.1). Указанный алгоритм реализуется тем, что вначале подбираются

формулы, связывающие пределы прочности на сжатие и растяжение с параметрами сопротивления грунта сдвигу, которыми являются сцепление угол внутреннего трения и новый третий параметр b , зависящий от деформации образца при трехосном сжатии. Величина этого третьего параметра варьируется в диапазоне от нуля до 0,5. Подбор таких формул имеет особенность, согласно которой при двух крайних значениях третьего параметра 0 или 0,5 формулы пределов прочности на сжатие и растяжение должны преобразовываться в аналогичные формулы, связывающие пределы прочности с параметрами сопротивления сдвигу критерия Арнольда и Кулона – Мора. Вторым шагом модификации критерия пластичности является подстановка формул пределов прочности в уравнение предельного состояния критерия Мора для сжатия твердого тела. На завершающем этапе выполняется преобразование уравнения так, чтобы в правой части осталось только сцепление. Таким образом, во втором параграфе получено уравнение (2.10), являющееся уравнением предельного состояния нового трехпараметрического критерия пластичности грунта. В этом же параграфе автор сравнивает эквивалентные напряжения сдвига по новому критерию и критерию Кулона – Мора, получая формулу (2.20), показывающую во сколько раз напряжения сдвига трехпараметрического критерия больше напряжения по критерию Кулона – Мора при разных значениях параметра b , иллюстрируя результаты расчета рисунком 2.7. В третьем параграфе главы 2 автор проводит эксперименты по трехосному сжатию песчаных грунтов. При этом автор ставит серию традиционных для песчаных грунтов консолидированных дренированных испытаний, а также учитывает возможную кольматацию этих грунтов, проводит серию консолидированных недренированных тестов. Здесь же автор разрабатывает методику определения третьего параметра нового критерия по данным испытаний. В результате соискатель установил, что при дренированных испытаниях параметры сопротивления сдвигу выше, чем в условиях отсутствия оттока воды из образца. В связи с этим автор делает вывод, что дренирующие слои дорожной одежды необходимо защищать от проникновения глинистых и пылевидных частиц. Таким образом, делается вывод, что песчаный слой в дорожной одежде необходимо отделять от других слоев геотекстилем либо геокомпозитом. В завершающей части главы автор сопоставляет результаты расчета предельных напряжений по новому критерию с напряжениями характерными для других критериев.

В третьей главе рассмотрены вопросы расчета главных напряжений в грунтовых и зернистых материалах слоев дорожных одежд и земляном полотне, а также произведено экспериментальное исследование распределяющей способности песчаного грунта, в том числе армированного геосеткой. В начале параграфа соискатель показывает, что известные решения механики сплошной среды предназначены для расчета напряжений в точках оси симметрии нагрузки, распределенной по поверхности жесткого круглого штампа. Это не соответствует характеру распределения напряжений в дорожной одежде нежесткого типа, слои которой имеют эпюры контактных

давлений аналогичные характеру распределения таких давлений под гибким штампом. Поэтому автор предлагает свой способ вычисления минимального главного напряжения, состоящего в модификации фундаментального решения А. Динника. Согласно этому способу в известную формулу введена функция глубины в виде скаляра, принимающего единичное значение на поверхности и нулевое на бесконечности. Автор получил формулы, позволяющие вычислять величину этой функции в нижней точке слоя конечной толщины, учитывая отношения модуля упругости материала слоя и подстилающего его полупространства. Далее выполнен эксперимент по исследованию распределяющей способности песчаных грунтов. Для этого применен метод цветных полосок. Результаты эксперимента сгруппированы в выборки данных и выполнена их статистическая обработка.

В четвертой главе соискатель разработал метод расчета дорожной одежды по сопротивлению сдвигу в песчаном грунте, суть которого состоит в выполнении двух проверок. Первая проверка представляет собой модификацию нормативного метода расчета, а вторая является новым расчетом, согласно которому наиболее опасная точка находится в нижнем подстилающем слое или полупространстве. В этой же главе выполнены штамповые испытания, по результатам которых решен вопрос с определением величины параметра b в новом условии пластичности.

В пятой главе приведены примеры расчета дорожной одежды по предлагаемому автором методу и произведена оценка экономической эффективности.

В заключении сделаны общие выводы по материалам исследования. Содержание автореферата соответствует диссертации.

На основании вышеизложенного, диссертационное исследование можно считать целостным и завершенным.

3. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается применением основных принципов теории пластичности, механики грунтов, математического и физического моделирования, адекватностью расчетных и экспериментальных данных, полученных при использовании поверенного оборудования аттестованной лаборатории и обработанных в соответствии с правилами математической статистики.

Результаты диссертационной работы апробированы и отражены в 20 опубликованных научных работах.

4. Научная новизна исследования состоит в модернизации метода расчета элементов дорожной конструкции из песка по сопротивлению сдвигу, выполненного путем расчета по напряжениям сдвигу и безопасным давлениям, в рамках которого произведены:

4.1 Разработка трехпараметрического условия пластичности, включающего в себя известные параметры условия пластичности

Кулона – Мора (сцепление и угол внутреннего трения), а также новый третий параметр b .

4.2 Разработка экспериментального способа определения величины параметра b в зависимости от деформации песчаного грунта при трехосном сжатии.

4.3 Совершенствовании метода расчета минимального главного напряжения в точках оси симметрии слоя конечной толщины, содержащего методику определения угла рассеивания напряжений методом цветных полосок.

5. Теоретическая и практическая ценность работы

5.1 Теоретическая значимость работы состоит в обеспечении давления, передаваемого дорожной одеждой на земляное полотно, которое не превышает безопасную величину первой критической нагрузки, за счет проектирования дорожной конструкции с обеспеченной толщиной и жесткостью.

5.2 Практическая значимость работы состоит в проектировании неармированных и армированных песчаных грунтов земляного полотна и дополнительных слоев оснований дорожных одежд с обеспеченной сдвигоустойчивостью по новому предложенному условию.

6. Значимость полученных результатов для развития соответствующей отрасли науки

Результаты диссертационной работы вносят вклад в совершенствование методов расчета нежестких дорожных одежд со слоями дорожных одежд и земляным полотном из песчаных грунтов.

7. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Разработанная методика расчета дорожной одежды нежесткого типа по сопротивлению сдвигу является продолжением совершенствования нормативных методов расчета, следовательно, ее можно рекомендовать в качестве замены, применяемого в настоящее время метода, регламентированного ПНСТ 542-2021.

8. Соответствие диссертации научной специальности

Диссертация соответствует техническим наукам, а именно паспорту специальности 2.1.8 – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки), в частности п.2 и п.14.

9. Общие замечания и вопросы по работе

При прочтении текста диссертации возникают замечания:

1. Второй параграф первой главы назван соискателем «1.2 Обзор и анализ методов расчета грунтовых оснований по сопротивлению сдвигу при

расчете дорожных одежд». По нашему мнению, уточнение в виде «... *при расчете дорожных одежд*» является лишним. В данном параграфе представлен анализ методов расчета грунтовых оснований методами линейно деформируемой среды (решения Н.П. Пузыревского, Н.Н. Маслова и др.), поверхностей скольжения и теории предельного равновесия грунта. Эти решения к расчету нежестких дорожных одежд не применяются, за редким исключением формулы Н.П. Пузыревского, применяемой в некоторых научных публикациях. Поэтому слова «... *при расчете дорожных одежд*» затемняют суть материалов, рассматриваемых в данном параграфе, тем более, что история становления расчетов дорожных одежд по сопротивлению сдвигу в грунте достаточно подробно освещена соискателем в параграфе 1.3.

2. На стр. 73 автор пишет: «Прототипом разрабатываемого критерия сопротивления сдвигу песчаных грунтов для расчета дорожных конструкций служит трехпараметрическое условие пластичности, предельное состояние которого выражается уравнением (1.35). Этот критерий получен на основе модификации критерия Кулона – Мора, выполненного в работе [16]». Работа [16] написана соискателем совместно с научным руководителем, в которой представлен трехпараметрических критерий Кулона – Мора, связывающий третьей теорию прочности с теорией Мора. Особенностью критерия, описанного в этой статье и уравнения предельного состояния, которое в диссертации приводится под номером (1.35), является проявление эффекта Баушингера. По нашему мнению, критерий (1.35) более мощный критерий, чем критерий (2.10). Поэтому не вполне понятно зачем выводить уравнение (2.10), если есть более мощный критерий (1.35), соавтором которого является соискатель. Считаем, что необходимость разработки уравнения (2.10) следует более подробно пояснить при защите диссертации, может быть даже в докладе по материалам исследования.

3. Согласно данным таблицы 2.7 для трехосных испытаний использован песок с модулем крупности 1,91, то есть песок мелкий. Данных о коэффициенте фильтрации этого песка в работе не приводится. Отсюда вопрос можно ли этот песок применять в дренирующем слое? Если нет, то возникает второй вопрос, зачем нужны КН испытания, предполагающие моделирование колыматации песка мелкого?

4. Для обработки данных испытаний методом цветных полосок автор применяет критерий Крускала – Уоллиса, поясняя это тем, что необходимо сравнивать три выборки. Тем не менее, для обработки данных трех и более выборок применяют и другие критерии, некоторые из которых являются более мощными, по сравнению с критерием Крускала – Уоллиса. Отсюда вопрос почему применен критерий Крускала – Уоллиса, а не какой-либо другой критерий.

10. Заключение и общая оценка диссертационной работы

Диссертация Калинина Александра Львовича на тему «Совершенствование расчета дорожных конструкций по сдвигу в песчаных грунтах», представленная на соискание ученой степени кандидата

технических наук по специальности 2.1.8 «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей» является самостоятельной и завершенной научно-квалификационной работой, в которой решены научные задачи и обоснована новая методика проектирования дорожной одежды по критерию сопротивления сдвигу в песчаных грунтах и указанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации.

Текст диссертации в полной мере отражает все этапы решения задач, поставленных соискателем, и позволяет сделать выводы об объеме научных исследований, проведенных автором, в теоретической и экспериментальной части. Общие выводы, сделанные соискателем в заключении, корректны и логичным образом вытекают из материалов работы.

Диссертационная работа «Совершенствование расчета дорожных конструкций по сдвигу в песчаных грунтах» Калинина А.Л. соответствует требованиям пунктов 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 года.

Автор диссертации Калинин Александр Львович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.8 - Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки).

Диссертация, автореферат и отзыв на диссертацию рассмотрены, обсуждены и одобрены на заседании кафедры «Автомобильные дороги, мосты и тоннели» ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», которое состоялось «29» августа 2024 г., протокол № 8. Присутствовало на заседании - 15 человек. Результаты голосования: «за» 15 человек, «против» нет человек, «воздержались» нет человек.

Заведующий кафедрой
«Автомобильные дороги, мосты и тоннели»,
проректор по научно-исследовательской
деятельности, канд.техн. наук, доцент



Е.А. Вдовин

Шифр и наименование научной специальности 05.23.05 - Строительные материалы и изделия.

ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет».

Адрес: 420043, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Зеленая, 1.

Сайт: www.kgasu.ru.

Телефон: +7(843) 510-46-01; e-mail: info@kgasu.ru.

Ознакомлен  Калинин А.Л.

11.05.24г.