

## ОТЗЫВ

### официального оппонента

доктора технических наук, доцента

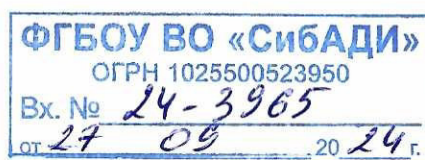
**Горячева Михаила Геннадьевича**

на диссертацию **Калинина Александра Львовича**

на тему «Совершенствование расчета дорожных конструкций по сопротивлению сдвигу в песчаных грунтах», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.1.8 - Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки)

### 1. Актуальность темы

Диссертационная работа Калинина А.Л. посвящена совершенствованию расчета нежестких дорожных одежд по критерию сопротивлению сдвигу в песчаных грунтах земляного полотна и дополнительных слоях оснований из строительных песков. Аналогичные цели ставили коллективы различных Вузов и НИИ. В результате такой глубокой проработки нормативный расчет по сопротивлению сдвигу претерпел существенные изменения, среди которых следует отметить изменение критерия Кулона-Мора от классического до мультиповерхностного, учитывающего повторность приложения транспортной нагрузки. В начале изменения критерия Кулона-Мора выполняли вводом различных коэффициентов. В расчете по ВСН 46-72 в уравнение предельного состояния критерия Кулона-Мора (см. формулу (2) ВСН-46-72) множителем к сцеплению введен комплексный коэффициент  $K$ , учитывающий особенности конструкции и условия работы дорожной одежды. В методе, регламентированном ВСН 46-83, комплексный коэффициент  $K$  заменен произведением трех коэффициентов  $k_1$ ,  $k_2$  и  $k_3$ , каждый из которых учитывает изменение сцепления грунта под действием определенных факторов. Коэффициент  $k_1$  учитывал снижение сопротивления грунта сдвигу от агрессивного действия подвижных нагрузок, колебаний и т.д. Величину этого коэффициента принимали  $k_1 = 0,6$  и  $k_1 = 0,9$  соответственно при расчете на воздействие кратковременных нагрузок и при расчете на длительное действие нагрузок с малой повторностью. В обоих случаях величина сцепления уменьшалась при той же величине угла внутреннего трения. Поэтому можно говорить, что в основе расчета по методу ВСН 46-83 лежит модификация критерия Кулона-Мора, предложенная Н.Н. Масловым и предполагающая уменьшение сцепления грунта при неизменном угле внутреннего трения. В начале нынешнего столетия (метод ОДН 218.046-01) под влиянием работ зарубежных специалистов и применения в экспериментальной практике приборов динамического трехосного сжатия, перешли на мультиповерхностную модель. Особенностью этой модели является уменьшение сцепления и угла внутреннего трения при увеличении числа повторных нагрузок. Пониженные значения угла



внутреннего трения применяются при расчете напряжения сдвига от временной нагрузки, вследствие чего это напряжение больше, чем в методах, регламентированных ВСН 46-72 и ВСН 46-83. Так же претерпел изменение расчет напряжения сдвига от постоянной нагрузки, в котором стали применять гипотезу А. Гейма, предполагающую гидростатическое сжатие грунта от действия постоянной нагрузки. В расчетах по методам ПНСТ 265-2018, ПНСТ 542-2021 и ГОСТ Р 71404-2024 мультиповерхностной критерий Кулона-Мора не изменялся, но в расчете предельного напряжения сдвига произведены некоторые изменения. Так в методах ПНСТ 265-2018 и ПНСТ 542-2021 в формулу для расчета предельного напряжения сдвига введены скобки, в результате чего известный коэффициент  $k_0$  стал общим множителем, вынесенным за скобки. В последней версии расчета по ГОСТ Р 71404-2024 в формуле для расчета предельного напряжения сдвига статический угол внутреннего трения заменен на динамический угол внутреннего трения.

В этом кратком историческом обзоре совершенствования методики расчета дорожных одежд по сдвигу мы показали классический подход специалистов дорожной отрасли. Исследование Калинина А.Л. укладывается в традиционный ряд модификаций, полученных специалистами дорожной отрасли, а метод расчета, предложенный соискателем, имеет существенные отличия от методик, разработанных предшественниками.

Диссертация Калинина А.Л. актуальна для научной специальности 2.1.8 - Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки).

## **2. Значимость результатов диссертации для науки и практики**

К наиболее значимым результатам теоретических исследований следует отнести методику расчета нежесткой дорожной одежды по сопротивлению сдвигу в песчаном грунте земляного полотна и дополнительных слоях оснований, включающую в себя:

– модифицированную проверку сопротивления сдвигу в точке, принадлежащей оси симметрии нагрузки, и расположенной на границе раздела верхнего и нижнего слоев двухслойной системы. Этот расчет отличается от всех нормативных методов тем, что напряжения сдвига вычисляются, как эквивалентные напряжения по трехпараметрическому критерию пластичности грунта, предложенному соискателем. При этом для расчета напряжения сдвига от временной нагрузки получена новая формула (4.2). Для расчета предельного напряжения сдвига соискатель применил, как трехпараметрический критерий, так и законы А. Динника и А. Гейма, положенные в основу расчета напряжения сдвига от постоянной нагрузки. В результате вычисление предельного напряжения сдвига выполняется либо по формуле (4.3), полученной из нового критерия пластичности с учетом закона упругости

А. Динника, или по формуле (4.4), выведенной из того же нового критерия, но с применением закона гидростатики А. Гейма.

– новый метод проверки сопротивления сдвигу по критерию безопасного давления, при действии которого в наиболее опасной точке, принадлежащей оси симметрии нагрузки, но расположенной в нижнем слое двухслойной системы на некотором расстоянии от границы раздела слоев, возникает предельное состояние по трехпараметрическому критерию пластичности.

К наиболее значимым результатам для практики следует отнести:

– конструкции дорожных одежд, запроектированные по методике, разработанной соискателем, а также экспериментальные данные о параметрах сопротивления песчаного грунта сдвигу, включая данные о величине новой третьей характеристики  $b$ .

– внедрением результатов, полученных в диссертации, в практику проектирования и строительства дорог, подтвержденными четырьмя актами об устройстве опытных конструкций дорожных одежд в виде экспериментальных площадок и участков дорог, а также вычислении безопасного давления на земляное полотно в насыпи из песка мелкого, построенного на дороге А-331 «Виллой», и сравнении его значения с данными экспериментов. Кроме того, расчетная методика внедрена в СТО 03709891-001-2021 Казенного учреждения «Управления дорожного хозяйства Омской области» для проектирования и расчета дорожных одежд на дорогах с низкой интенсивностью движения.

### **3. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, их достоверность и новизна.**

Цель и задачи исследования поставлены на основе глубокого изучения состояния вопроса, в рамках которого соискателем выполнен анализ данных 268 источников литературы, в том числе 112 на иностранном языке. Критический анализ работ предшественников грамотен и корректен. На основе анализа показана необходимость совершенствования расчета нежесткой дорожной одежды по критерию устойчивости к сдвигу песчаных грунтов. В рамках совершенствования расчетной методики соискатель выполнил:

– разработку нового условия пластичности песчаного грунта, включающего три параметра материала, из которых два известны  $c$  и  $\varphi$ , а третий  $b$  является новым. Величина этого параметра позволяет изменять напряжение сдвига от минимальной величины ( $b=0,5$ ) до наибольшей ( $b=0$ ).

– совершенствование методики трехосных испытаний песчаных грунтов, в рамках которой определяются значения, как известных параметров  $c$  и  $\varphi$ , так и нового третьего параметра.

– совершенствование экспериментального метода, основанного на испытании грунтовой модели с цветными полосками индикаторами, для определения угла рассеивания напряжений.

– разработку нового метода расчета дорожной одежды, основанного на проверке двух условий сопротивления сдвигу, в точке расположенной на границе раздела слоев двухслойной системы, и в наиболее опасной точке, находящейся в нижнем слое этой системы.

Все перечисленное выше характеризует научную новизну диссертации А.Л. Калинина, эта новизна бесспорна.

Достоверность научных положений, полученных теоретических решений и результатов эксперимента подтверждается соблюдением основных принципов механики грунтов, математической статистики, адекватностью данных расчета и эксперимента, применением поверенного оборудования аттестованной лаборатории кафедры «Строительство и эксплуатация дорог» СибАДИ и обработанных в соответствии с правилами математической статистики.

#### **4. Объем и структура диссертации**

Диссертация включает в себя введение, пять глав основного текста, заключение, список литературы и два приложения. Объем диссертации составляет 272 страницы (без учета приложений), включая 78 рисунков, 51 таблицу, 268 наименования источников литературы и двух приложений в виде актов внедрения и локального сметного расчета.

Во введении дана общая характеристика диссертации, содержащая формулировки актуальности темы, степени ее разработанности, поставленной цели и решаемых задач, научной новизне, теоретической и практической значимости результатов исследования и др. характеристиках, перечисленных в пункте 5.3.1 ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации».

В первой главе выполнен анализ состояния вопроса, в рамках которого рассмотрены различные критерии прочности и условия пластичности материалов и грунтов. В этой же главе описаны достоинства и недостатки методов расчета нежестких дорожных одежд по критерию сопротивления сдвигу, созданные в разное время, начиная от решения А.М. Кривисского и заканчивая методом, регламентированным ПНСТ 542-2021.

В второй главе выполнены теоретические исследования по совершенствованию классического двухпараметрического критерия Кулона-Мора путем ввода в него третьего параметра  $b$ , а также поставлены трехосные испытания песчаного грунта для определения величины этого параметра.

Анализ теоретической части данной главы позволяет положительно оценить способ модификации критерия Кулона-Мора. Этот способ разработан соискателем совместно с научным руководителем и представлен в виде

блок схемы, разъясняющей последовательность математических операций необходимых для модификации. Отмеченный способ заслуживает внимания так, как он положен в основу вывода двух разных трехпараметрических условий пластичности Кулона-Мора. Одно из них получено соискателем, а второе, обладающее эффектом И. Баушингера, сделано научным руководителем соискателя. Исходя из того, что способ модификации позволил его разработчикам сделать два разных критерия, следовательно, появляется возможность разработки других трехпараметрических критериев, отличных от этих двух. Соискатель принял участие в разработке отмеченного способа, вследствие чего внес определенный личный вклад.

На основе этого способа соискатель лично получил один из двух известных трехпараметрических критерий пластичности. Поэтому заслуга в выводе уравнения предельного состояния нового трехпараметрического критерия, представленного в рукописи диссертации под номером (2.10), полностью принадлежит А.Л. Калинину.

Далее соискатель находит отношение эквивалентных напряжений по трехпараметрическому критерию пластичности и оригинальному критерию Кулона-Мора. В результате получена формула, представленная в рукописи диссертации под номером (2.20), позволяющая определить коэффициент, который можно использовать в качестве множителя к напряжениям сдвига, вычисляемым по номограммам ПНСТ 542-2021 или ГОСТ Р 71404-2024. В результате определения напряжения сдвига по предлагаемому критерию при  $b < 0,5$  всегда больше напряжений сдвига, вычисленным по номограммам нормативных документов. При таком расчете толщина дорожной одежды (при прочих равных условиях расчета) получится больше нежели по методам ПНСТ 542-2021 или ГОСТ Р 71404-2024. Здесь следует отметить сравнение результатов расчета напряжений сдвига по предлагаемому трехпараметрическому критерию с эквивалентными напряжениями других условий пластичности. Так же можно констатировать решение первой поставленной задачи, поставленной соискателем.

В завершении второй главы соискатель выполняет экспериментальные трехосные испытания песка мелкого по двум схемам этого теста. Первое испытание поведено по схеме консолидированного дренированного теста, которая является традиционной. Второй тест выполнен по схеме консолидированного недренированного испытания, которое для песков ГОСТ 12248.3-2020 не регламентируется. Необходимость такого испытания автор диссертации обосновывает моделированием отсутствия оттока из песка воды при его кольматации. Далее соискатель приводит методику определения третьего параметра критерия пластичности ( $b$ ) и дает его значения. Можно констатировать решение второй задачи, поставленной соискателем.

В третьей главе рассматриваются решения о расчете напряжений в полупространстве и слое конечной толщины, а также выполнены эксперименты

по определению распределяющей способности песчаных грунтов. На основе анализа известных решений, автор диссертации приходит к выводу, что в верхней части полупространства или слоя конечной толщины величина минимального главного напряжения превышает величину необходимую для деформирования грунта без возможности бокового расширения. В этом случае возникает напряженное состояние характерное для давлений, передаваемых жестким штампом. Эпюры контактных давлений между слоями дорожной одежды имеют особенность, состоящую в том, что наибольшее давление возникает под центром чаши прогибов, то есть под центром нагрузки. По мере увеличения расстояния от этого центра контактное давление уменьшается, что характерно для гибкого штампа. Отсюда автор делает вывод о необходимости модификации известных формул, предназначенных для расчета минимального главного напряжения. Для этого применяется метод, предложенный его коллегами, но с определенными изменениями. Изменения касаются расчета главных напряжений в слое конечной толщины, выполненные путем применения метода Н. Одемарка в известных решениях. В результате получены новые зависимости, отличающиеся от оригинала тем, что содержат функцию отношения модулей упругости материалов верхнего и нижнего слоев двухслойной системы.

В экспериментальной части этой главы соискатель изготавливает модели из песка, внутри которых заложены цветные полоски индикаторы из того же песка, но окрашенного тушью (зеленой и синей). После испытаний песчаных моделей давлением, на разных расстояниях от поверхности измерены ширины зоны передачи давления. После этого выполнен расчет углов рассеивания напряжений. Результаты испытаний обработаны методами математической статистики. Оценивая экспериментальную часть настоящей главы можно говорить о разработке нового способа определения распределяющей способности в сыпучих материалах. Результаты статистической обработки позволяют констатировать достоверность данных этого эксперимента.

В четвертой главе выполнена разработка расчета песчаных слоев по критерию сопротивления сдвигу в нижнем слое двухслойной системы. Для этого предложено вычислять давления, передаваемые верхним слоем на нижний слой и сравнивать их с безопасным давлением. Формулы, предназначенные для расчета безопасных давлений на песчаное полупространство, неармированные и армированные геокомпозитом песчаные слои дорожной одежды, получены соискателем. Они выведены из предложенного трехпараметрического критерия пластичности при подстановке в них формул для расчета главных напряжений, возникающих от действия постоянной и временной нагрузки. Методология вывода этих формул аналогична решению Н.П. Пузыревского о первой критической нагрузке, передаваемой гибкой полосой на грунтовое основание. Тем не менее, использование нового условия пластичности грунта и других формул для расчета главных напряжений привело

к выводу новых формул, принадлежащих соискателю. Сравнивая безопасное давление с первой критической нагрузкой Н.М. Герсеванова, можно отметить, что их значения совпадают тогда, когда величина третьего параметра  $b$ , предлагаемого соискателем критерия пластичности, составит 0,5. Во всех остальных случаях при  $b < 0,5$  безопасное давление меньше первой критической нагрузки.

В завершении главы приведено сравнение данных расчета безопасного давления с результатами штамповых испытаний. На основе этого сравнения соискатель показывает, что для расчета безопасного давления необходимо пользоваться формулой, полученной при определении главных напряжений по модифицированному решению Фрелиха. Здесь отметим сопоставление данных эксперимента с результатами расчета по разным решениям и выбор наиболее достоверного из них. Значит, расчет по критерию безопасного давления обоснован.

В пятой главе приведены примеры расчета дорожных одежд и выполнена оценка экономической эффективности.

Заключение по диссертации содержит общие выводы, представляющие собой обобщение выводов, сделанных в конце каждой из пяти глав. По мнению, оппонента заключение заслуживает положительной оценки, оно является обоснованным относительно материалов, выполненного исследования.

## **5. Соответствие содержания автореферата основным идеям и выводам диссертации.**

Структура диссертации и автореферата, а так же оформление соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации». Содержание автореферата отражает основные идеи и выводы диссертации. Стиль изложения ясный, технически грамотный.

## **6. Замечания по диссертационной работе.**

При прочтении текста диссертации возникли вопросы и замечания дискуссионного плана:

1. В первой главе, рассматривая классические критерии прочности, соискатель практически не уделяет внимания первой и второй теориям. По этому поводу соискатель ограничился предложением: «Первая и вторая теории прочности предложены Г. Галилеем и Э. Мариоттом, они не способны предсказывать начало пластичности твердого тела, изготовленного из любого материала, и имеют только историческое значение [даны ссылки на источники 40 и 81]». С таким утверждением можно согласиться только от части. Если говорить о современных критериях прочности и условиях пластичности, то соискатель безусловно прав. Но если рассматривать нормативные методы расчета дорожных одежд, то это не так. Дело в том, что в основу российских расчетов монолитных материалов по критерию сопротивлению растяжению



от изгиба положена первая теория прочности. Эта теория учитывает влияние только одного нормального напряжения. Поэтому при сложном напряженном состоянии прочность материала оказывается недооцененной при действии напряжений одного знака, и переоцененной при действии напряжений разного знака. В любом случае первая теория прочности, не учитывающая влияние других главных напряжений, неверно предсказывает предельную величину растягивающего напряжения, выдерживаемую материалом. Поэтому нормативные методы расчета по сопротивлению изгибу имеют необоснованный запас прочности, который увеличивается введением различных коэффициентов. Это приводит к тому, что в ряде случаев, проектные толщины асфальтобетона и всей конструкции в целом определяется из расчета на изгиб, а не из расчетов по упругому прогибу или сопротивлению сдвигу в грунте. Это важно, так как значимость расчета на изгиб искусственно завышена, что объясняется, в том числе, применением первой теории прочности. Показав такое искусственное завышение важности расчета на изгиб, соискатель мог бы усилить впечатление специалистов об актуальности своего исследования, посвященного расчетам по сопротивлению сдвигу.

2. Во второй главе проведены трехосные испытания песка мелкого по схеме консолидированных дренированных испытаний, регламентируемой ГОСТ 12248.3-2020, и по схеме консолидированных недренированных испытаний, которая согласно ГОСТ 12248.3-2020 к песчаным грунтам не применяется. Необходимость КН-тестов соискатель аргументирует фактом кольматации песчаных грунтов в условиях эксплуатации дороги. С этим утверждением согласиться можно, но, опять же, лишь от части. Да, действительно факт осаждения глинистых и пылеватых частиц, приносимых водными потоками, в поровое пространство песчаных грунтов имеет место быть. Но этот процесс происходит постепенно с течением времени, и, не факт, что в конце срока службы все поры песчаного грунта будут заполнены такими частицами. Трехосные КН-испытания моделируют отсутствие оттока поровой жидкости, то есть они моделируют полное закупоривание пор. В настоящее время вопросы защиты песчаных слоев решаются устройством прослоек из геотекстиля или геокомпозита. К этому традиционному решению приходит и сам соискатель, применяя геокомпозит из геосетки и геотекстиля. Отсюда вопрос, а если необходимость в КН-тесте для песчаного грунта, тем более, песка мелкого?

3. В третьей главе соискатель, выполняя модификацию решений, предназначенных для вычисления главных в полупространстве, применяет метод Н. Одemarka, после чего получает формулы для расчета главных напряжений в слое конечной толщины. Суть способа Н. Одemarka состоит в сравнении изгибных жесткостей двух слоев (приводимого и эталонного). Отметим, что соискатель верно вывел свои формулы, он записал зависимости для определения изгибных жесткостей, представленные в диссертации под номером



(3.33), приравнял их, сделал преобразование получив выражение (3.35), позволяющее определять эквивалентную толщину приводимого слоя к толщине эталонного слоя, и далее перешел от толщины к ординате, получив зависимость (3.36), которая подставляется в известное решение. Вместе с этим отметим, что изгибной жесткостью обладают слои из монолитных материалов, то есть, способных работать на изгиб. Эквивалентную толщину слоев из зернистых материалов определяют сравнением коэффициентов распределительной способности И.И. Кандаурова или сравнением калифорнийских чисел несущей способности. В последнем случае решение приведет к другой функции отношения модулей упругости, отличной от функции (3.36), полученной соискателем. Отсюда возникает вопрос на сколько отличаются результаты расчета главных напряжений при их расчете с использованием разных методов приведения толщины слоя к эквиваленту?

4. Из текста, поясняющего рисунок 3.10, и методику измерения ширины распределения нагрузки в песчаной модели следует, что соискатель ограничивает измеряемую ширину точками, расположенными в центре частей изогнутых цветных полосок, находящихся за пределами штампа. Из расчетных схем теории предельного равновесия грунта известно, что в грунтовом основании при передаче на него давления формируются три зоны: активного и пассивного ренкиновского состояния, а также расположенная между ними переходная зона. Поэтому возникает вопрос, в какой из этих трех зон находятся точки, ограничивающие ширину распределения нагрузки?

5. В тексте раздела 4.1 не оговорены условия расчета предельного напряжения сдвига по формулам (4.3) и (4.4). То есть, не ясно при каких исходных данных необходимо применять формулу (4.3), а в каких случаях нужно воспользоваться формулой (4.4). Так как формула (4.4) предполагает гидростатическое сжатие грунта от веса слоев дорожной одежды, возникающее от действия одинаковых главных напряжений, то, очевидно, что закон гидростатики А. Гейма начинает действовать при определенной, достаточно высокой влажности грунта. Здесь возникает вопрос, а при какой именно влажности?

## **7. Заключение.**

Прочтение диссертации и автореферата оставило положительное впечатление. Диссертация соответствует паспорту специальности 2.1.8 - Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки), в частности пунктам п.2 и п.14. Вышеуказанные замечания, не снижают ценности работы, выполненной соискателем. Диссертация «Совершенствование расчета дорожных конструкций по сопротивлению сдвигу в песчаных грунтах» обладает внутренним единством и содержит новые научные результаты и положения, вследствие чего является законченной научно-квалификационной работой, содержащей

решение научной задачи, состоящее в совершенствовании методики расчета нежесткой дорожной одежды по критерию сопротивления сдвигу в песчаных грунтах.

Содержание работы, оцениваемой как законченное научное исследование, соответствует научной специальности 2.1.8 – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей; работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по п.9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842 «О порядке присуждения учёных степеней», а Калинин Александр Львович заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук.

Горячев Михаил Геннадьевич доктор технических наук, доцент.

Шифр специальности, по которой защищена диссертация: 05.23.11 – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей.

Должность и место работы: профессор кафедры «Строительство и эксплуатация дорог» ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)».

Адрес электронной почты: kafedra\_sed@mail.ru.

Телефон: 8(499)155-03-22.

Почтовый адрес: 125319, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 64.

«04» 09 2024 г.  Горячев Михаил Геннадьевич

Должность, ученую степень, ученое звание и подпись  
Горячева Михаила Геннадьевича заверяю

Ученый секретарь  
ученого совета Университета



Алексеева Марина Юрьевна

«04» 09 2024 г.

Озкаяншин А. Калинин А.  
27.09.24