

О Т З Ы В

официального оппонента, доктора технических наук, профессора Бахасовой Светланы Петровны на диссертацию **Астапенко Татьяны Сергеевны** по теме: «Геомеханический прогноз формирования напряженно-деформированного состояния и оценка устойчивости отработанных шламохранилищ при формировании отвальной массы», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика

1. Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Астапенко Татьяны Сергеевны посвящена актуальной теме прогнозирования напряженно-деформированного состояния и оценки устойчивости геотехнических систем, формируемых на слабых основаниях, представленных глинисто-солевыми шламами. В условиях увеличения объемов промышленного производства и ограниченности доступных территорий для размещения отходов калийной промышленности, использование отработанных шламохранилищ для складирования отходов является актуальной задачей.

Особую сложность представляет формирование отвалов на слабых основаниях, подверженных значительным объемным и сдвиговым деформациям, образованию и рассеиванию избыточного порового давления, а также длительной консолидации. Геомеханические процессы, обусловленные высокой сжимаемостью и водонасыщенностью глинисто-солевых шламов, приводят к развитию осадок, формированию поверхностей скольжения и возможной потере устойчивости сооружений. Учитывая то, что использование традиционных методов для определения напряженно-деформированного состояния при формировании геотехнических сооружений на грунтах низкой прочности является недостаточным для точного прогноза напряженно-деформированного состояния и не позволяет оценить сложные геомеханические процессы, характеризующиеся значительными деформациями, диссертационная работа Астапенко Т.С. является актуальной и значимой с научной и инженерной точек зрения для решения задачи повышения геомеханической безопасности отработанных шламохранилищ при формировании отвальной массы, за счет совершенствования прогнозирования напряженно-деформированного состояния и оценки устойчивости геотехнической системы «слабое основание – отвальная масса».

2. Научная новизна диссертации

Научная новизна диссертационной работы Астапенко Татьяны Сергеевны заключается в решении актуальной задачи – повышения геомеханической безопасности отработанных шламохранилищ при формировании отвальной массы, за счет совершенствования прогноза напряженно-деформированного состояния и оценки устойчивости геотехнической системы «слабое основание – отвальная масса». Автор обосновывает необходимость учёта изменяющейся конфигурации слабого основания в результате внедрения сухих пород и предлагает рассматривать деформирование глинисто-солевых шламов в процессе формирования отвала от вязко-пластического поведения к упругопластическому. Такая трактовка позволяет более точно описывать поведение геотехнической системы на различных этапах её формирования и эксплуатации. Для учета внедрения сухих пород в слабое основание автором реализован связный метод Лагранжа-Эйлера (метод CEL), позволяющий учитывать как фазовое поведение глинисто-солевых шламов, так и большие деформации основания, возникающие в процессе внедрения сухих пород. В отличие от традиционных моделей, основанных на предположении линейного поведения грунтов, предложенный подход учитывает стадийность деформирования. Помимо метода CEL, Астапенко Т.С. применяет и сравнивает результаты, полученные по классической модели Кулона-Мора и модели Soft Soil, тем самым обеспечивая верификацию модели и демонстрируя высокую степень теоретической проработки задачи. Эти положения подтверждают самостоятельный научный вклад автора. **О Т З Ы В**

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Основные результаты работы отражены в трех научных положениях, выносимых на защиту, которые полностью отражают решение поставленных задач.

Первое научное положение: Сопротивление недренированному сдвигу глинисто-солевых шламов, определяется особенностью сформированного напряженно-деформированного состояния, при этом величина прочности определяется через значения плотности по линейной зависимости, а сама плотность как функция от средних напряжений определяется по логарифмической зависимости с натуральным основанием.

Второе научное положение: Характер деформирования глинисто-солевых шламов при отсыпке на них отвальной массы определяется особенностью ее внедрения, связанной с вязко-пластическим поведением глинисто-солевых шламов, а также формированием необратимых объемных деформаций слабого основания в процессе его консолидации.

Третье научное положение: Устойчивость отвалов, отсыпаемых на слабое основание из глинисто-солевых шламов, зависит от интенсивности внедрения сухих пород, степень влияния которого на устойчивость зависит от конфигурации отвала, мощности слабого основания и прочностных характеристик отходов.

Научные положения, сформулированные в диссертационной работе, подтверждаются совокупностью теоретических, экспериментальных и численных исследований. Все этапы исследования — от обоснования цели и задач, выбора моделей деформирования, постановки численных экспериментов до анализа полученных результатов — характеризуются логичностью, согласованностью и соответствуют современным научным подходам. В рамках экспериментальных исследований автор получил основные физико-механические характеристики глинисто-солевых шламов, в том числе значения сопротивления недренированному сдвигу, плотности, угла внутреннего трения и сцепления. Эти параметры легли в основу дальнейших расчётных схем, обеспечивая корректность численного моделирования. Лабораторные исследования, охватывающие определение прочностных и деформационных характеристик глинисто-солевых шламов, проведены с соблюдением утвержденных методик и обеспечением воспроизводимости результатов.

Для оценки устойчивости применены классическая упругопластическая модель Кулона-Мора и специализированная модель для слабых оснований Soft Soil. Численные методы с использованием модели Soft Soil и связного метода Лагранжа-Эйлера (метод CEL) отражают сложное поведение грунтов низкой прочности.

Выводы, представленные в диссертационной работе, логически следуют из полученных ею расчетных и экспериментальных данных, подтверждаются результатами параметрического анализа, охватывающего широкий диапазон варьируемых величин. Таким образом, научные положения, выводы и рекомендации, представленные в диссертации, являются научно обоснованными и достоверными и подтверждаются совокупностью проведённых лабораторных исследований, численных расчётов и корректной интерпретацией результатов.

4. Научные результаты, их ценность

В диссертационной работе получены научные результаты, направленные на совершенствование методов оценки устойчивости и прогноза напряженно-деформированного состояния геотехнических систем, расположенных на слабых основаниях. Выполненная методика численного моделирования, включающая применение связной Лагранж-Эйлеровой постановки, позволяет учесть значительные деформации и контактные взаимодействия при внедрении сухих пород в слабое основание. Разработка методики оценки устойчивости геотехнической системы при внедрении сухих пород в слабое основание и определение поправочного коэффициента устойчивости позволяет корректировать традиционные расчёты устойчивости и адаптировать их к условиям сложной механики слабых оснований, а также повысить геомеханическую безопасность при формировании отвалов на слабых основаниях.

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 4 печатных работах, в том числе в 2 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации базы данных.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Теоретическая значимость диссертации заключается в развитии научных представлений о механизме формирования напряжённо-деформированного состояния геотехнических систем, формируемых на слабых водонасыщенных основаниях. В частности, в работе обосновано, что взаимодействие сухих пород отвальной массы и глинисто-солевых шламов развивается через два принципиально различных деформационных механизма — от вязко-пластической среды к упругопластической — в зависимости от стадии формирования сооружения.

В диссертации разработана методика расчёта устойчивости системы «слабое основание – отвальная масса», основанная на численном моделировании процессов взаимодействия сухих пород с водонасыщенными техногенными грунтами в связной Лагранж-Эйлеровой постановке. Применение данной методики позволило учитывать сложные формы деформирования, включая внедрение сухих пород в основание и учета перераспределения порового давления с помощью модели Soft Soil. Это является вкладом в развитие теории расчётов геотехнических сооружений, формируемых в условиях нестабилизированных грунтов, и позволяет уточнить границы применимости моделей Кулона-Мора и Soft Soil.

Практическая значимость результатов диссертации заключается в том, что разработанная методика может использоваться для прогноза устойчивости отвалов на слабых основаниях при проектировании и эксплуатации подобных объектов. Разработанная методика прогноза устойчивости позволяет учитывать особенности внедрения сухих пород в слабое основание. Полученные результаты могут использоваться в инженерных расчетах для оценки деформируемости и устойчивости оснований в условиях водонасыщенных глинистых и техногенных грунтов.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты диссертационной работы рекомендуются к использованию в проектных и научно-исследовательских организациях, занимающихся оценкой устойчивости отвалов, формируемых на слабых основаниях. Полученный поправочный коэффициент для двух моделей может применяться при расчетах устойчивости отвалов на слабых основаниях и корректировать расчётные значения коэффициента запаса устойчивости при различных инженерно-геологических условиях.

7. Замечания и вопросы по работе

7.1 Зависимость сопротивления недренированному сдвигу от плотности грунта аппроксимирована линейным уравнением (формула 2.5) с коэффициентом корреляции 0,996. При этом не выполнена оценка надёжности самого коэффициента корреляции. Не проверена гипотеза о достоверности связи. Аналогичное замечание по уравнениям связи, приведённым в формулах: 2.10 – 2.12, 2.14 и др.

7.2 По всем главам в выводах приведено краткое содержание того, про что написано в главе. В выводах следует отражать основные результаты, полученные при проведении исследований.

7.3 В главе 3 приведено численное моделирование напряжённо-деформированного состояния системы «слабое основание - отвальная масса» на примере моделей геотехнической системы (рис.3.1). При этом физико-механические характеристики грунтов ограждающей дамбы приняты те же, что отвальной массы, что совершенно не соответствует реальной практике. Дамба – это удерживающее сооружений, которое отсыпается, как правило,

из глинистых пород, послойно и тщательно уплотняется, поэтому прочностные характеристики дамбы всегда больше, чем отвалной массы. В этом случае расчётная модель и поверхности скольжения в теле дамбы построены некорректно.

7.4 В примечании к рисункам 3.3 – 3.20 указано – угол *залегания* геотехнической системы – некорректное выражение, для системы следует говорить *угол наклона*.

7.5 В пункте 3.4 выполнена оценка устойчивости с использованием модели Soft Soil на рисунках и по тексту используется термин – коэффициент запаса устойчивости. Следует говорить расчётный коэффициент устойчивости, так как при больших нагрузках он становится меньше нормативного, поэтому запаса устойчивости здесь нет.

7.6 Научным результатом работы является Методика расчёта устойчивости системы «слабое основание – отвальная масса», основанная на численном моделировании процессов взаимодействия сухих пород с водонасыщенными техногенными грунтами в связанной Лагранж-Эйлеровой постановке. Следовало подготовить эту Методику в виде отдельного документа, чтобы им могли воспользоваться другие учёные и специалисты для проведения аналогичных исследований.

7.7 Не везде выдержаны требования ГОСТ к оформлению формул: *латинские буквы – курсивом*; русские и греческие буквы, цифры, химические символы, функции, логарифмы, константы, постоянные Нуссельта (Nu), Рейнольдса (Re), Прандтля (Pr) – не курсивом.

8. Заключение по диссертации

Диссертация «Геомеханический прогноз формирования напряженно-деформированного состояния и оценка устойчивости отработанных шламохранилищ при формировании отвалной массы», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор **Астапенко Татьяна Сергеевна** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

Официальный оппонент

Профессор кафедры маркшейдерского дела и геологии

ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

доктор технических наук, профессор

Бахаева
03.09.2025

Бахаева Светлана Петровна

Подпись ФИО оппонента заверяю

Подпись *Бахаевой С. П.*
ЗАВЕРЯЮ
участный секретарь совета
А. П. Косарева
« 03 » 09 2025

Сведения об официальном оппоненте:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

Почтовый адрес: 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

Официальный сайт в сети Интернет: <https://kuzstu.ru/>

эл. почта: bsp.mdg@kuzstu.ru, телефон +7 (3842) 39-63-85

Бахаева