

## ОТЗЫВ

оппонента на диссертацию Шарафиева Зульфата Забировича  
«Инициирование и развитие оползней при многократном воздействии  
сейсмических колебаний» по специальности 1.6.9 «Геофизика» на соискание  
ученой степени кандидата физико-математических наук

Диссертационная работа Шарафиева Зульфата Забировича посвящена оценке устойчивости склонов природного и техногенного происхождения при многократном сейсмическом воздействии землетрясений и массовых взрывов, применяемых при разработке месторождений.

Во **введении** представлен обзор литературы, обоснована актуальность проблемы, описана практическая и теоретическая значимость работы, представлены цели и задачи работы, научная новизна, методология исследования, сформулированы защищаемые положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** "Методы и подходы к оценке динамической устойчивости склонов. Обзор состояния вопроса" выполнен обзор основных методов и подходов к анализу устойчивости склонов. Показано, что для возникновения обрушения склона существенное значение имеют интенсивность и длительность динамического воздействия, характеристики грунта. Кратко описано, как сейсмическое воздействие лавин на окружающую местность может вызывать сход вторичных оползней. Сформулированы подходы к решению поставленных задач. Обоснована актуальность исследования.

Обзор методов и подходов достаточно полный и информативный, свидетельствующий о том, что диссертант владеет обширными и достаточно детальными знаниями по рассматриваемым в работе проблемам.

В то же время, по этой главе имеются мелкие замечания. На с. 28 в первом абзаце замечена опечатка во фразе «...позволило определить степень нарушенности массива...». Здесь, вероятно, вместо «степень» имелось в виду слово «степень». На с. 29 утверждается, что «...при оценке сейсмического

воздействия на устойчивость бортов карьера нужно учитывать не только интенсивность колебаний, но и их продолжительность...». Можно предположить, что перечень факторов, которые нужно учитывать, можно было бы дополнить и частотным составом колебаний. Тем более, что в работе это неявно учитывается при отдельном рассмотрении влияния довольно сильных землетрясений (низкочастотные колебания) и больших взрывов (высокочастотные колебания).

Во второй главе диссертации "Методика лабораторного исследования устойчивости склонов" описаны созданные установки для исследования инициирования оползневых процессов при субвертикальном и субгоризонтальном воздействии, обоснована методика проведения лабораторных экспериментов. Подробно описана разработанная методика проведения лабораторных экспериментов по однократному, многократному и длительному вибрационному динамическому воздействию на склон.

Этот раздел работы демонстрирует, насколько тщательно была проработана техническая и методическая основа экспериментального моделирования склоновых динамических процессов и выполнения соответствующих измерений.

В параграфе 2.4 второй главы приведено описание экспериментальной установки и методики проведения опытов с вибрационным воздействием на модель (блок, лежащий на поверхности моделируемого склона). Отметим, что схема и текстовое описание модели не вполне идентичны. Из описания и схемы установки не ясно, движутся ли при вибрации контейнера его основание и боковые стенки синфазно, как единое целое, или вибрации передаются модели склона, лежащей на неподвижном дне контейнера, через боковую стенку. В последнем случае распространение вибраций в объёме модели существенно неоднородное, не имеющее прямых аналогов в реальной среде.

В третьей главе представлены результаты исследования в лабораторных экспериментах закономерностей инициирования обрушения

склона динамическим воздействием. Приведены расчётные оценки и результаты многочисленных лабораторных опытов по инициированию оползней одиночным и многократным импульсным воздействием при широком варьировании величины статической устойчивости склона и параметров динамических воздействий.

Вызывает возражение утверждение диссертанта (с. 74), что «сила трения возникает только в движении» (при скольжении тела по склону). Это справедливо в отношении трения скольжения или качения. Однако в случае неподвижного (на макроуровне) тела на склоне возникает и действует на тело сила трения покоя, удерживающая его от соскальзывания вдоль склона под действием гравитационной составляющей. В реальной ситуации при возможном медленном (многолетнем или многовековом) сползании массивного тела по склону действует не сила трения скольжения, а сила трения покоя. При этом на макроуровне тело кажется неподвижным, а движение реализуется в виде накапливающихся микроперемещений (микродеформаций), обусловленных влиянием внешних факторов – той же спорадической микровибрации, температурных деформаций, изменений свойств контакта тела со склоном при кратковременных вариациях влажности или степени обводнения контакта, развития процессов выветривания горной породы и т.п. Так что утверждение, что сила трения возникает только в движении, является не вполне корректным или требует, по крайней мере, специальных уточняющих оговорок.

Там же (с. 74) утверждается, что «В экспериментах зависимости смещения блока под действием вибраций хорошо описываются соотношениями типа (3.4)». Однако приведён пример аппроксимации только для одного эксперимента, причём без количественной оценки качества аппроксимации.

На с. 75 (первый абзац) сказано: «...на этапе ускоряющейся ползучести важнейшим является эффект снижения трения с ростом скорости». Вероятно, здесь идёт речь о скорости колебательного смещения грунта. Однако это

можно отнести и к скорости движения (скольжения) оползня. Было бы полезно уточнить эту формулировку.

Представляется весьма интересным одно из замечаний диссертанта (с. 71), сделанных по результатам экспериментов, что «в критической величине смещения (*при перемещении блока по склону*) заложен иной смысл, нежели переход от трения покоя к трению скольжения». Возможно, в этом замечании содержится серьёзная основа для будущего научного анализа и детального изучения вопроса.

Диссертантом сформулированы три основных вывода по главе, упомянем их с небольшими сокращениями:

1. При динамическом воздействии на склон существуют минимальные пиковые параметры ускорений в волне  $PGA_{min}$  и скорости смещения грунта  $PGV_{min}$ , ниже которых обрушения не происходит. Значения  $PGA_{min}$  (динамический подход) превышают величину критического ускорения  $a_c$  (квазистатический подход).

2. Для всех склонов при многократном воздействии отмечено резкое снижение максимальной скорости смещения грунта, требуемой для обрушения склона при тех же ускорениях.

3. Показано, что при длительном воздействии низкоамплитудными вибрациями необходимыми условиями возникновения динамического обрушения являются превышение некоторого критического значения смещения относительно склона и достижение определенной средней скорости крипа, которая в модельных экспериментах составила  $\sim 1,5$  мм/с. Критическое смещение оказывается существенно больше, чем характерный размер, при котором происходит переход поверхности скольжения к остаточному сопротивлению сдвигу.

Первый вывод представляется важным, имеющим практическое значение для получения более реалистичных оценок устойчивости склона на основе динамического подхода.

Второй, качественный вывод является весьма ценным. В дальнейшем была бы крайне полезна разработка методики оценки и количественных критериев устойчивости склонов при многократном динамическом воздействии.

В третьем выводе последнее предложение, возможно, сформулировано не совсем удачно, так как кажется противоречащим здравому смыслу.

**Четвёртая глава** посвящена разработке модели инициирования оползней сейсмическими волнами от различных источников – землетрясений и промышленных массовых взрывов. Определён нижний предел максимальных ускорений в волне ( $PGA_{min} \sim 0,01g$ ), которые вызывают появление нарушений в геоматериале склонов, сложенных осадочными породами. Показано, что максимальным инициирующим эффектом обладают сейсмические колебания от крупных землетрясений. Слабее эффект воздействия взрыва сосредоточенного заряда большой мощности. При оценке опасности инициирования оползня сейсмическим воздействием от массовых взрывов следует рассматривать лишь возможный эффект накопления повреждений из-за достаточно высоких значений PGA в сейсмозрывных волнах и длинного цуга колебаний.

На основе разработанной модели проведена оценка устойчивости откосов отвала месторождений КМА. Результаты показали, что сейсмическое воздействие массовых взрывов не влияет радикально на устойчивость откосов отвалов вскрышных пород месторождений КМА. Однако в случае нарушения режима дренажа и обводнении отвала накопление необратимых деформаций при многократном воздействии массовых взрывов может привести к потере устойчивости откоса. Учитывая потенциальные риски обрушения, необходимо осуществлять деформационный мониторинг склонов.

В параграфе 4.3 четвёртой главы при исследовании влияния формы сейсмического сигнала на величину смещения  $D_N$  по Ньюмарку проведены расчёты для землетрясения, взрыва и двух видов импульсных воздействий.

При этом амплитуды всех четырёх сигналов масштабировались к одной и той же величине  $PGA=0.37g$ . К сожалению, диссертант не приводит информации, из каких соображений была выбрана именно эта величина.

В параграфе 4.4 на основе разработанной феноменологической модели инициирования обрушения оползня при сейсмических воздействиях и результатов экспериментов и наблюдений приведены правила принятия решений при оценке возможности инициирования оползня сейсмическим воздействием. В пункте (vi) этих правил сказано, что "Землетрясения больших магнитуд следует рассматривать как множественное воздействие". В то же время, из-за отсутствия в тексте количественной характеристики «больших магнитуд» остаётся не ясным, начиная с какой магнитуды возможно такое рассмотрение.

В завершении главы представлены четыре основных вывода. Резюмируя их значимость, отметим, что эти выводы совместно дают возможность общего и детального прогнозного районирования зон возможного инициирования опасных склоновых процессов и оценки оползневых рисков при землетрясениях и промышленных взрывах.

По материалам глав 3-4 сформулированы четыре защищаемых положения.

В **заключении** приведено краткое изложение основных результатов диссертационного исследования.

В **приложении** представлены величины максимальных ускорений и скоростей смещений грунта для землетрясений, при которых возникли обрушения склонов.

Таким образом, представленная диссертационная работа содержит постановку научной проблемы, её детальную разработку на высоком исследовательском уровне и полученные результаты, имеющие не только научное значение, но и существенный потенциал прикладного использования для обеспечения безопасности производства в горнорудной промышленности и безопасности населения в оползнеопасных районах. Защищаемые

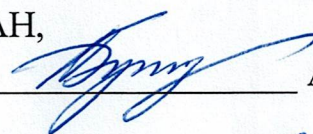
положения убедительно подкреплены полученными результатами диссертационной работы. Основные результаты опубликованы в достаточном количестве статей и тезисов докладов, демонстрирующих, в частности, личный вклад автора в получение результатов диссертационной работы.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертационной работы.

Замеченные мелкие недостатки работы являются, главным образом, редакционными и не вызывают сомнения в качестве и высоком научном уровне диссертации.

Представленная работа соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а её автор, Шарафиев Зульфат Забирович, заслуживает присуждения искомой степени.

Ведущий научный сотрудник ИФЗ РАН,  
кандидат физ.-мат. наук



А.Г. Бугаевский

04.12.2023

Сведения об оппоненте:

Ф.И.О.: Бугаевский Алексей Геннадьевич

Почтовый адрес: 123242, г. Москва, ул. Б. Грузинская, д. 10, стр. 1

E-mail: a.bugaevsky@ifz.ru, a.bugaevsky@gmail.com

Тел.: +7 (985) 966-18-63

Место работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (ИФЗ РАН)

Занимаемая должность: ведущий научный сотрудник лаборатории инженерной сейсмологии и интерпретации сейсмических наблюдений № 306 ИФЗ РАН

Я, Бугаевский Алексей Геннадьевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Подпись  А.Г. Бугаевский  
**УДОСТОВЕРЯЮ**  
Зав. канцелярией ИФЗ РАН  04.12.2023



04.12.2023