

Южно-Казахстанский университет имени М.Ауезова

УДК 624:550.34

На правах рукописи

АРТЫКБАЕВ ДАРХАН ЖАКСЫЛЫКОВИЧ

Сейсмоустойчивый откос насыпных сооружений

6D072900 – Строительство

Диссертация на соискание степени
доктора философии (PhD)

Отечественные научные
консультанты:
кандидат технических наук,
доцент Байболов К.С.,
кандидат технических наук,
профессор Усенкулов Ж.А.

Зарубежный научный
консультант:
доктор технических наук,
профессор ТАСИ
Расулов Х.З.

Республика Казахстан
Шымкент, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	3
ОПРЕДЕЛЕНИЯ	4
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	5
ВВЕДЕНИЕ	7
1 ПРОБЛЕМА УСТОЙЧИВОСТИ НАСЫПНЫХ СООРУЖЕНИЙ В СЕЙСМИЧЕСКИХ ЗОНАХ	13
1.1 Откосы сооружений во время землетрясений зарубежом	13
1.2 Последствия разрушений откосов в Казахстане	20
1.3 Методы динамической устойчивости откосов	24
Выводы по разделу 1	27
2 МЕТОД «СЕЙСМОУСТОЙЧИВАЯ КРУТИЗНА ОТКОСА»	29
2.1 Рабочая гипотеза	29
2.2 Напряженное состояние грунтовой толщи при распространении сейсмических волн	31
2.3 Изменение прочностных характеристик грунта при динамических воздействиях	39
2.4 Метод «Сейсмоустойчивая крутизна откоса»	43
Выводы по разделу 2	46
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА СЕЙСМОУСТОЙЧИВУЮ КРУТИЗНУ ОТКОСНЫХ СООРУЖЕНИЙ	48
3.1 Общие положения	48
3.2 Грунты, вибрационная установка, измерительные приборы и методика исследований	49
3.3 Факторы, влияющие на сейсмоустойчивую крутизну откоса	55
3.3.1 Внутренние факторы	55
3.3.2 Внешние факторы	71
Выводы по разделу 3	84
4 МЕТОД СЕЙСМОУСТОЙЧИВОЙ КРУТИЗНЫ ОТКОСА В ПРАКТИКЕ СТРОИТЕЛЬСТВА	86
4.1 Указания по проектированию сейсмоустойчивых откосов насыпных сооружений	86
4.2 Решение практических задач с помощью компьютерной программы	91
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	110
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	112
ПРИЛОЖЕНИЯ	119

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация.

ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.

ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.

СНиП РК 2.03-30-2006. Строительство в сейсмических районах.

СНиП 5.01.01-2002. Основания зданий и сооружений.-Астана, 2002.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей диссертации применяются следующие термины с соответствующими определениями:

Высота откоса – один из существенных показателей в обеспечении устойчивой крутизны откоса, с которым связано значение инерционных нагрузок.

Грунт-это горные породы, залегающие преимущественно в пределах зоны выветривания и являющиеся объектом инженерно-строительной деятельности человека.

Землетрясения-сейсмические явления, возникающие в результате внезапных смещений и разрывов в земной коре или верхней части мантии, передающиеся на большие расстояния в виде резких колебаний, приводящих к разрушению зданий, сооружений, пожарам и человеческим жертвам.

Крутизна откосов - отношение высоты откоса насыпи к его основанию, делают её так, чтобы насыпь была устойчивой и не сползала.

Метод возведения откоса- фактор, оказывающий влияние на крутизну откоса. Устойчивость крутизны откоса зависит от того, насколько плотно укладывается грунт тем или иным методом.

Оползень– опасное геоморфологическое явление, смещение масс горных пород по склону под воздействием собственного веса и дополнительной нагрузки вследствие подмыва склона, переувлажнения, сейсмических толчков и иных процессов.

Оположение откоса - возведение откоса под углом, при котором обеспечивается его устойчивость (откоса) под всяким внешним воздействием.

Откосы - боковые наклонные насыпи-стенки грунта в котлованах или траншеях.

Плотина-гидротехническое сооружение, перегораживающее водоток для подъема уровня воды, также служит для сосредоточения напора в месте расположения сооружения и создания водохранилища.

Разжижение грунта - случай, возникающий при сотрясении водонасыщенных грунтов, существенно влияющий на крутизну откоса в сейсмических районах.

Сейсмостойкое строительство – строительство, осуществляемое в районах, подверженных землетрясениям.

Уплотнение грунта - процесс обоюдного движения частиц, в итоге которого возрастает количество контактов между ними в единице объёма, вследствие их перераспределения под воздействием прилагаемых к грунту механических усилий.

Ширина дамбы–показатель, который определяется установленным размером полотна дороги, а для речных и морских дамб - условием устойчивости.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

- $h_z(t)$ – динамический напор, возникающий в процессе уплотнения грунта в условиях сотрясений;
- $a_{кр}^p(z)$ – критическое ускорение на глубине z под воздействием внешней нагрузки;
- $a_{кр}^p(z_1)$ – критическое ускорение на поверхностном слое грунта под той же нагрузкой p ;
- $S_{\sigma, w}$ – зависящее от вертикального составляющего напряжения (σ) и состояния влажности (w) сопротивляемость грунта сдвигу (прочность);
- $a_{кр}^0$ – критическое ускорение на поверхностном слое грунта;
- c_b – жесткое структурное сцепление грунта.
- c_v – общее сцепление, состоящее из пластичной (c_w) и жесткой (c_b) образующих, т.е:
- c_w – пластичная связность грунта, зависящая от состояния влажности (w);
- k_{ϕ} – коэффициент фильтрации грунта;
- k_c – коэффициент сейсмичности;
- $w_o - \dot{\epsilon}$ – горизонтальный сдвиг на поверхности грунта при землетрясении;
- $\alpha_{кр}$ – часть сейсмического ускорения, расходуемая на преодоление прочности грунта;
- α_p – расчетное значение сейсмического ускорения, приводящего к нарушению структуры грунта;
- γ_c – плотность воды;
- $\gamma_w z$ – напряжение от собственного веса грунта на той глубине;
- $\sigma_{дин}$ – динамические напряжения от внешней нагрузки и собственного веса грунта;
- $\sigma_{ст}$ – напряжение до начала сотрясения;
- σ_c – инерционное воздействие внешней нагрузки на глубине z ;
- φ_w – угол внутреннего трения грунта, зависящий от внешней нагрузки (σ) и плотности;
- a_c – максимальное сейсмическое ускорение, действующее на откос;
- v_b, v_k – скорость распространения продольной и поперечной волны;
- d – диаметр шарика;
- l – осадка шарика;
- H – толщина слоя;
- L – активная зона, в пределах которой действует динамический напор;
- p – напряжение, возникающее на глубине z от внешней нагрузки;
- P – вес шарика вместе с пригрузкой;
- p_0 – давление от внешней нагрузки;
- Q – сила, сдвигающая выделенный объем;
- T – сила сопротивления сдвигу выделенного объема;
- t – время;
- a – коэффициент, зависящий от прочности грунта;

n – пористость грунта;
 α – угол наклона;
 γ – плотность грунта;
 ν - коэффициент динамического уплотнения, выражающий скорость уплотнения грунта;
 σ - напряжение в грунтовой толще от воздействия внешней нагрузки и собственного веса грунта.

ВВЕДЕНИЕ

Елбасы Н.А.Назарбаев на заседании Правительства 2014 года раскритиковал работу по строительству дорог, отметив, что «не применяются новейшие технологии как при проектировании, так и в строительстве дорог, что впоследствии требует частого ремонта». С учетом замечаний, Правительство пересмотрело программу развития дорог, и в 2015 году была принята государственная программа «Нұрлыжол». Следует отметить, что Казахстан занимает большую территорию, где основополагающим в инфраструктуре являются дороги как автомобильные, так и железнодорожные [1].

Известно, что современное гидротехническое и дорожное строительство не представляются возможным без возведения плотин, дамб и насыпей из различных по крупности и составу грунтов. Влажностные состояния большинства грунтовых сооружений (плотины гидротехнических сооружений, дамбы и дороги в низменных местностях и т.п.) оказывают отрицательное влияние на их динамическую устойчивость, что связано с применением дополнительных мер во избежание неблагоприятных случаев при их эксплуатации. Кроме того, обеспечение динамической устойчивости водонасыщенных грунтов в составе сооружений является весьма сложной и требующей специальных исследований проблемой, что существенно сказывается при проектировании магистральных дорог. Здесь должны быть учтены, особенно в горных сейсмических зонах, не только рельеф и порода грунта, но и сейсмические воздействия, оказывающие влияние на надежность и качество дорог. Этот вопрос всегда был актуальным перед учеными международного сообщества, а также перед учеными постсоветских стран, Средней Азии и Кавказа. Проблемы в сейсмических зонах возникали всегда и имели актуальность. Эти проблемы в свою очередь связаны не только с экономическими, но и экологическими и социальными вопросами. С учетом этого, руководство Казахстана с 2000г. стало уделять особое внимание развитию транспортной отрасли в связи с масштабными процессами экономической интеграции республики в глобальной и региональной экономике. Были разработаны соответствующие отраслевые программы, направленные на раскрытие этого потенциала. Наиболее существенными межотраслевыми программами, направленными на реализацию транспортно-транзитного потенциала Казахстана, является План становления и слияния инфраструктуры транспортной системы Республики Казахстан до 2025 года.

Программа Республики Казахстан инфраструктурного развития «Нұрлыжол» на 2020-2025гг. является интегральным межсекторным системным документом, подготовленным Министерством индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан.

В планах государственного развития Республики Казахстан на ближайшее будущее особое внимание уделено капитальному строительству. Намечены строительство магистральных автомобильных, железнодорожных линий республиканского и международного значения, а также развитие

крупных, средней крупности и, особенно малых гидроэлектрических станций и т.п [1].

Так, согласно программе развития транспортной инфраструктуры РК до 2020 года в стране намечены ремонт и реконструкция автомобильных дорог протяжённостью 30 тыс. км и железнодорожных линий – 8.2 тыс. км. Реализация данной программы позволит не только значительно улучшить состояние автодорог и железнодорожных линий но и повысить их сейсмоустойчивость [2].

Грунтовые сооружения нередко оказываются малоустойчивыми по отношению к землетрясениям, и по этой причине они требуют применения различных антисейсмических мероприятий.

К антисейсмическим мероприятиям следует отнести: уплотнение грунта, замена слабых грунтов более прочными, пригрузка поверхности откоса, уположение откоса, изменение формы откоса, устройство дренажей, использование различных ограждений в откосе (диафрагмы, экраны) и т.п.

Анализ этих мероприятий показывает, что каждый из них имеет определенные недостатки, связанные с ограниченностью применения, не совершенностью технологии, дороговизной, и самое главное, с трудностями в достижении поставленной цели.

Это обстоятельство диктует проведение дополнительных исследований с учетом всевозможных факторов, оказывающих влияние на обеспечение динамической устойчивости откосов.

Поэтому выбранная нами тема является актуальной.

Исходя из вышеизложенного, сочли возможным заняться исследованием по совершенствованию метода оположения откоса, считая, что данный метод по сравнению с другими, отличается простотой, экономической выгодой, не требующей сложных оборудований и технологий и т.п. Развитие данного метода на базе учета факторов, оказывающих влияние на устойчивость откоса, безусловно, находит свое широкое использование в строительстве насыпных сооружений различного назначения.

В процессе ознакомления с опубликованными источниками и архивными материалами по оположению откоса, мы убедились в том, что до сих пор не проводились полноценные исследования, направленные на выяснение положительных или отрицательных сторон данного, весьма простого на наш взгляд, метода борьбы против разрушения откосных сооружений. Используемые на практике мероприятия для упрочнения откосов, в основном, принимались без учета возможных процессов в толще при колебании и нередко наблюдаемых при сильных землетрясениях явлений, таких как разжижения, дополнительные сейсмопросадочные осадки в виде остаточной деформации грунта и т.п.

Под оположением откоса понимается возведение его под углом, при котором обеспечивается устойчивость откоса под всяким внешним воздействием.

Наши исследования преследуют цель развить практический метод оположения откоса, научно обосновать его, обеспечить устойчивость откоса соответствующей крутизной, которая возводится в высокосейсмических районах.

Превосходство метода оположения откоса в обеспечении его динамической устойчивости было отмечено еще в 50 - годах прошлого столетия профессором Н.Н.Масловым [3] и затем американским ученым Б.Сид [4].

Вместе с тем имеется и другое отношение к этому методу, обоснованное тем, что в данном случае увеличивается объем объекта [5-7]. Однако, возможность решения вопроса путем научно-практического обоснования с учетом основных факторов, влияющих на устойчивость наклона откоса, не проводились, и рекомендации по ним отсутствуют.

Поэтому считаем, что откос, возведенный под обоснованной и подтвержденной расчетной крутизной, будет обладать достаточным сопротивлением по отношению к внешним, в особенности сейсмическим воздействиям.

Как было отмечено выше, использование данного метода позволяет избегать излишних механизмов и не требует новых технологий возведения и т.п. Вопреки мнению отдельных специалистов об увеличении объема объекта при оположении откоса, нам представляется, что достижение устойчивости объекта по отношению к ожидаемым воздействиям не только компенсирует, но и оправдывает своей долгосрочной и безупречной службой. Сооружения, возведенные предлагаемым методом (дорожные насыпи, дамбы, краевые опоры мостов и т.п.) отличаются сейсмостойкостью, т.к. грунты в них будут устойчивы по отношению к ожидаемым сотрясениям.

Основной принцип задачи в рассматриваемом плане заключается в установлении крутизны откоса, обеспечивающей сейсмостойкость наклонных сооружений, состоящих из грунтов с определенной плотностью-влажностью. Решение такой задачи связано с проведением динамических исследований для выяснения сложных процессов, связанных с изменением физико-механических свойств грунтов в условиях колебаний. Кроме того, нельзя достичь цели, без учета возможного разжижения грунта, в случаях, когда откос по тем или иным причинам окажется в увлажненном состоянии перед землетрясением.

Эти и другие вопросы послужили основой к проведению комплекса исследований по обеспечению необходимой крутизны откосов с тем, чтобы сооружения были прочными, устойчивыми и долговечными по отношению не только к землетрясениям, но и другим динамическим воздействиям.

Разработка мероприятий, обеспечивающая устойчивость откосов в сейсмических районах, все эти годы сохраняет свою актуальность, т.к. этот вопрос составляет основу проблемы сохранения особо важных объектов народного хозяйства.

Цель диссертационной работы:

Целью диссертационной работы является исследование напряженного состояния в толще откосных сооружений при распространении сейсмических

волн, экспериментальные изучения изменения прочностных и деформационных свойств грунтов и разработка инженерного метода расчета крутизны откоса с внедрением его в практику.

В соответствии с поставленной целью сформированы следующие **задачи исследования:**

- разработать метод «Сейсмоустойчивый откос» на базе изучения напряженного состояния толщи откоса при воздействии сейсмических сил и изменения прочностных свойств грунта при колебаниях;
- разработать методику проведения экспериментальных исследований по изучению факторов, влияющих на сейсмоустойчивый уклон откоса;
- проведение динамических исследований на различных моделях откосов;
- показать практическое использование предложенного метода в решениях конкретных задач.

Структура диссертации включает последовательное рассмотрение поставленных задач. Ее основу составляют экспериментально-теоретические исследования на лессовых просадочных грунтах, широко распространенных в южной части республики Казахстан.

Научная новизна диссертации:

- предложен метод «сейсмоустойчивой крутизны откоса», позволяющий оценить устойчивость откосов при различных сейсмических воздействиях;
- установлена зависимость сейсмоустойчивого откоса от плотности грунта, высоты откоса и параметров динамического воздействия;
- установлено снижение сейсмоустойчивости крутизны откоса от воздействия динамического напора, возникающего в толще при уплотнении грунта;
- разработаны «Указания по практическому применению метода сейсмоустойчивой крутизны откоса»;
- разработан расчет сейсмоустойчивости крутизны откосов с помощью компьютерной программы.

Научные результаты, выносимые на защиту:

- результаты исследований по изучению напряженного состояния грунтовой толщи при распространении сейсмических волн и изменения в этих условиях прочностных и деформационных свойств грунта;
- связь сейсмоустойчивости крутизны откоса с плотностью грунта, высотой откоса и параметрами динамического воздействия;
- «метод сейсмоустойчивой крутизны откоса» в качестве нового подхода определения устойчивости откосных сооружений.

Предмет исследования. Разработка метода «Сейсмоустойчивая крутизна откоса», позволяющего обеспечить устойчивый наклон откосных сооружений при различных динамических (сейсмических) воздействиях. Экспериментальные исследования факторов, влияющих на сейсмоустойчивость откоса и разработка технических указаний по практическому применению метода сейсмоустойчивой крутизны откоса.

Методы исследования. Метод «Сейсмоустойчивая крутизна откоса» разработан на основе закономерностей теории упругости и механики грунтов и деформируемых тел. Исследования физико-механических свойств грунтов в теле откоса и их динамические свойства определялись на базе статической обработки результатов исследований грунтов. В расчетах сейсмоустойчивой крутизны откоса использована компьютерная программа Excel.

Практическое значение исследования заключается в разработке практически используемого метода, обеспечивающего сейсмоустойчивость природных склонов и искусственных откосных сооружений, таких как: земляные плотины, автомобильные и железнодорожные насыпи, различные ограждающие конструкции и т.п. Разработаны технические указания по практическому использованию предложенного метода сейсмоустойчивой крутизны откоса.

Реализация работы. Сведения об организациях, где применялся метод сейсмоустойчивого наклона откоса.

1 Полученные в диссертационном исследовании результаты внедрены в учебный процесс на кафедре «Промышленное, гражданское и дорожное строительство» в лекционные и практические занятия дисциплины «Геотехника» (Приложение А);

2 Результаты исследования внедрены в учебный процесс в Ташкентском архитектурно-строительном институте на кафедре «Гидротехнические сооружения, основания и фундаменты» в лекционные и практические занятия дисциплин «Специальные вопросы механики грунтов», «Инженерные изыскания в гидротехническом строительстве» (Приложение Г);

3 Результаты работы - метод расчета устойчивости крутизны откоса на сейсмическое воздействие при определении устойчивого наклона откосных сооружений, выполняемых из смеси глин и песка с содержанием крупнообломочных обломков- внедрены в производство, в частности метод был передан для использования в АО «Гидропроект» (Приложение Д).

4 Метод «сейсмоустойчивой крутизны откоса» экономически выгодный при проектировании дорожных, транспортных и гидротехнических сооружений, возводимых в сейсмических районах республики, и передан для использования в ТОО «ПК Шымкентдорстрой» (Приложение В).

5 Результаты научного исследования, которые способствуют повышению сейсмостойкости дорожных насыпей при обеспечении устойчивости будут использованы при проектировании автомобильных дорог по трассе М32 Самара-Шымкент и переданы для использования в ТОО «Қазақавтожол» (Приложение Б).

Апробация работы. Результаты исследований по теме диссертационной работы обсуждались на Республиканской научно-практической конференции «Механика деформируемых твердых тел», Ташкент, 2018г.; XXI международной научно-практической конференции «Технические науки: проблемы и решения», Москва 2019г.; VI International annual conference «Industrial technologies and engineering» ICITE-2019, научно-практических

конференциях и семинарах кафедр: «Гидротехнические строительства, основания и фундаменты ТАСИ, «Промышленное, гражданское и дорожное строительство» ЮКУ имени М.Ауезова.

Публикация результатов исследования. По диссертационной работе опубликованы 15 работ, в том числе 2 статьи опубликованы в журнале, входящем в базу Scopus (Elsevier). 1. International Journal of GEOMATE 2020, 19 (76) pp. 205-212. 2. International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT), 1259-1262 pp, 2019; 4 статьи опубликованы в изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК, одна монография, 8 статьи опубликованы в международных научно-практических конференциях.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 125 страниц.

1 ПРОБЛЕМА УСТОЙЧИВОСТИ НАСЫПНЫХ СООРУЖЕНИЙ В СЕЙСМИЧЕСКИХ ЗОНАХ

1.1 Откосы сооружений во время землетрясений зарубежом

В практике строительства и эксплуатации грунтовых откосов (плотины гидросооружений, насыпи автомобильных и железных дорог, дамбы и т.п.) нередко наблюдались случаи сползания, оплывания, оседания, разжижения в результате воздействия на них различных динамических нагрузок. В большинстве случаев они также возникали при сильных землетрясениях и приносили огромный ущерб народному хозяйству [5, с.148;6, с.17; 7-10].

Специалисты, изучившие последствия землетрясений, отметили ряд причин, приводивших к аварии откосов при колебаниях. К основным из них относятся: недостаточная прочность грунта в составе откоса, несоответствие плотности грунта требованиям ГОСТа, дополнительное увлажнение грунта в процессе эксплуатации сооружений, неучет динамического напора, возникающего в поровой воде при дополнительном уплотнении грунта в условиях колебания и проблемы, связанные с высотой и крутизной откоса и т.п.

Остановимся на некоторых примерах.

В качестве исторического примера можно привести аварию насыпных сооружений в Сан-Франциско (США) 18 апреля 1906 года. При 9-балльном землетрясении сильно пострадали насыпи, возведенные из слабых аллювиальных отложений в северной части города. В большинстве из них наблюдались волнистые деформации, выраженные в виде просадок, сдвига и крупных трещин в соответствии с рисунком 1.1. По утверждению С.В.Полякова, сейсмические деформации в сооружениях возрастали по мере повышения высоты и крутизны насыпей [11].



Рисунок 1.1-Обрушение дорожной насыпи во время землетрясений

Авария Свирской плотины, расположенной на севере России [9, с.34]. По мнению Н.Н.Маслова, изучившего последствия аварии, данная плотина, возведенная из смеси песка и супеси высотой 24 м, была построена в кратчайший срок. В основании плотины залегает мощный слой смеси песка, суглинка и супеси со средней плотностью $2,79-2,80 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Поверхность откоса плотины с уклоном 1:2,5 была покрыта бетонными плитами толщиной 80 см. С момента запуска плотины ее средняя осадка не превышала 11 см. Разрушению сооружения послужили взрывные работы (14 шпур с 14 кг зарядом) на новой строительной площадке, расположенной в 150 м от плотины. В момент взрыва образовался оползень на верхнем бьефе со сползанием большого количества грунта. Бетонные плиты покрытия были отброшены на несколько десятков метров. Комиссия, обследовавшая данный случай, пришла к единому мнению, что авария произошла в результате разжижения грунта в процессе сотрясения от взрыва.

Ашхабад (Туркменистан), 6 октября 1948 года. Сильнейшее землетрясение интенсивностью 9 баллов привело к катастрофическим разрушениям дорожных насыпей, в особенности по шоссе Ашхабад-Фирюза длиной 50 км. Возникали многочисленные трещины в результате смещения грунта откосов. Многие аварийные ситуации на дорогах также были связаны с осадкой грунта. По словам очевидцев, также были случаи растекания разжиженного грунта [12].

Япония, 28 июня 1948 года. Последствия этого землетрясения подробно освещались японскими специалистами [13]. Железная дорога под названием Хокуруку пересекает Японию с севера на юг и проходит через город Фукуи, часть которой между городами Саба и Ибурибаси протяженностью 51,2 км сильно пострадала. На этой части дороги зафиксированы оседания на несколько десятки сантиметров, сдвиги и выпирания и т.п. в соответствии с рисунком 1.2, что привело к изгибу, крушению и расколу железных дорог в соответствии с рисунком 1.3. В местах соединения насыпей и мостов имелись случаи полного разрушения в соответствии с рисунком 1.4. Через долину Фукуй проходило множество ветвей автомобильных дорог, возведенных из гравийно-галечниковых, мелкозернистых песков, пылеватых супесей и суглинков. Дорожные полотна покрыты асфальтом и бетоном. Около 70% дорожных ветвей в результате оползня, сдвига и др. стали непригодными для дальнейшего пользования в соответствии с рисунком 1.5.



Рисунок 1.2-Смещение железнодорожной насыпи, вызвавшее перевертывание рельсов и шпал



Рисунок 1.3-Искривление железно дорожного пути



Рисунок 1.4-Осадка грунта на подходе к мосту



Рисунок 1.5-Фрагмент образования трещин на автостраде Хокурику – До в результате смещения дорожных насыпей

Калифорния (США), 21 июля 1952 года. Наряду с разрушением жилых построек при землетрясении были зафиксированы многочисленные повреждения автомобильных и железных дорог [13, с. 45]. По данным

специалистов, причиной повреждений явились: недостаточная плотность грунта, острота крутизны, чрезмерное увлажнение грунта. Такие случаи сосредоточены в основном на насыпных откосах дорог. Один из таких случаев иллюстрируется в соответствии с рисунком 1.6, где показан оползень на автомобильном шоссе №466 г. Аравин. Как показывает рисунок, смещение произошло в насыпи высотой 16 м, в результате чего образовавшиеся трещины крупных размеров привели к остановке дорожного движения. Аналогичные случаи имели место и на гидротехнических плотинах. В качестве примера в соответствии с рисунком 1.7 иллюстрируются трещины размером в 66 см на поверхности сооружения, образовавшаяся в результате смещения грунта плотины Буен-Вист. Эти трещины простирались по всей 660 м длине плотины, что привело к оседанию на 15-20 см и сдвигу железной дороги, проходящей на поверхности сооружения.



Рисунок 1.6-Повреждения дорог в результате оползня – разжижения при Калифорнийском землетрясении 1952 г.



Рисунок 1.7-Трещины на поверхности плотины Буен-Вист, образовавшиеся в результате смещения грунта

Камчатка (Российская Федерация), 19 июня 1959 года. Землетрясение с магнитудой 7 баллов привело к многочисленным авариям сооружений в

Петропавловске. В пределах города, наряду с крупными трещинами на земле, имели место также оползни, сдвиги, оплывуны в откосных сооружениях [11,с. 56].

Чили, 21 мая 1960 года. Образовавшийся при землетрясении оползень грунта объемом около 30 млн.м³ на расстоянии 1 км покрыл площадь 1,26 км². Причины возникновения оползней связывают с наличием водонасыщенной лессовой прослойки толщиной 80 см внутри мощной глины. Очевидно, насыщенная водой лессовая прослойка в процессе колебаний перешла в разжиженное состояние, в результате чего стала причиной сползания покрывающего слоя на расстояние 500 м. Все это произошло в течение 5 мин [14].

Анкоридж (США), 27 марта 1964 года. По отчетам специалистов, обследовавших последствия землетрясения, следует, что наряду с многочисленными разрушениями построек города, не в меньшей степени повреждались также дорожные насыпи. В частности, на 4 улицах города отмечено сползание грунта шириной 800м и длиной 1400 м на расстоянии 15м к северу [14].

Исфара – Баткенское землетрясение (Таджикистан), 23 января 1977 года имела интенсивность 7-8 баллов. Вследствие землетрясения в посёлках Офтобруй и Даган обнаружены трещины до 50-60 см [15]. Особенно они были отмечены у обочин откосов автомобильных дорог в соответствии с рисунком 1.8. Причиной повреждения насыпей железных и автомобильных дорог, по мнению специалистов, в основном послужила крутизна откосов. В соответствии с рисунком 1.9 приведена фотография случая одного из таких повреждений, связанных с крутизной откоса железнодорожной насыпи высотой 8 м с уклоном 40⁰. Специалисты, обследовавшие последствия землетрясений, зафиксировали трещины размерами 20-30 см на отрывах грунта у обочин откосов. Длина их местами доходила 100-150 м. Амплитуда сдвига была больше 20 см [16].



Рисунок 1.8-Сползание грунтов у обочин автомобильной дороги при Исфара-Баткинском землетрясении 1977г.



Рисунок 1.9-Деформация грунтов на железнодорожной насыпи при Исфаре-Баткенском землетрясении 1977 г.

Назарбекское землетрясение (Узбекистан), 11 декабря 1980 года. Во время этого землетрясения наряду с постройками в совхозе Хасково, были повреждены многие дорожные насыпи, в которых обнаружены остаточные деформации в виде трещин, сдвига, оседания и т.п. Замечались разрывы на магистральных дорогах [17].

Чили. В 2010 году произошло одно из разрушительных землетрясений за минувшие пятьдесят лет, был нанесен значительный ущерб народному хозяйству. Источник землетрясения магнитудой 8.8 находился на глубине 35 км, центр - в 150 км к юго-западу от города. Вследствие этого сильнейшего землетрясения пострадали и другие страны [18, 19].

После землетрясения в NASA Ричард Гросс провел некоторые эксперименты и сообщил, что центральные магистральные дороги Чили с заметным смещением грунтов опустились на несколько сантиметров в соответствии с рисунком 1.10. На этих территориях грунт представлен современными отложениями толщиной, превышающей местами 30-35 м. Уровень подземных вод по всей территории Чили расположен близко к поверхности земли.



Рисунок 1.10-Повреждение магистральной дороги в результате смещения почвы

Страна Непал, двадцать пятое апреля 2015 года. Ряд крупных землетрясений в местности Непала были наиболее сильными с 1934 года, сила землетрясений по шкале Меркалли составила 8.1.

Согласно некоторым информациям, подземные толчки ощущались везде, пострадали 8 млн. человек, 2 млн. из них живут в 11 городах страны. Регион Синдхупалчок к северо-западу от столицы почти стерт с лица земли, было уничтожено примерно 90% построек [20]. Общая сумма ущерба составляла примерно десять млрд. долларов [21]. Воздействия этого землетрясения фиксировались в следующих зонах: в Китае, Индии, Бангладеш и в других прилегающих к Непалу территориях, где также пострадали жилые дома и общественные здания, сооружения, приведшие к гибели людей [22].

По данным профессора Китайского геологического университета Ин Ци, руководившего экспедицией по обследованию последствий данного землетрясения, большая территория осела и заметно сместилась [23,24]. Это отчетливо выявилось в поселке Джирон и уезде Непалу на территории Китая, находящихся близко к эпицентру землетрясения, где по сообщению агентства Синьхуа, отмечалось смещение почвы на полметра в соответствии с рисунком 1.11. В то же время почти на метр опустилась магистральная дорога в Непале в соответствии с рисунком 1.12.



Рисунок 1.11-Разрушение магистральной дороги в поселке Джирон в результате оседания почвы

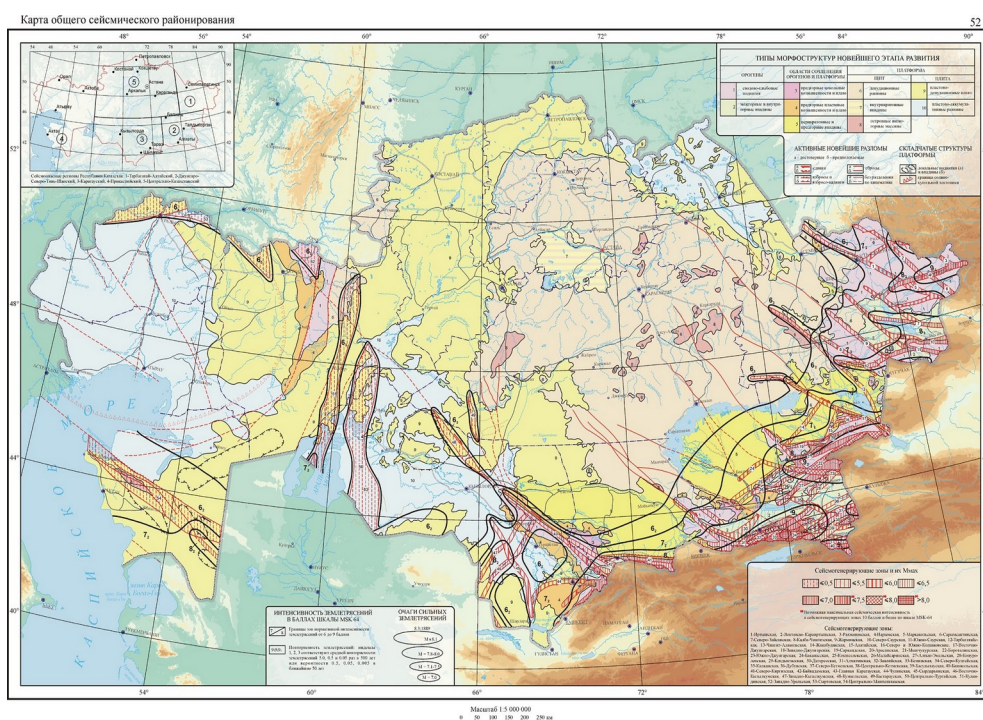


Рисунок 1.12-Оседание дороги в Непале составило более двух метров

Разрушения многих инженерных сооружений в Катманду были связаны с неравномерным оседанием грунтов в результате разжижения увлажненных грунтов, что в конечном итоге привело к смещению, сдвигу и оплыванию насыпей.

1.2 Последствия разрушений откосов в Казахстане

Восточная часть территории Казахстана относится к высоко балльной сейсмической зоне, где могут наблюдаться землетрясения более 7 балльности по шкале МСК-64 в соответствии с рисунком 1.13. К сожалению, сведений об исторических землетрясениях на территории Казахстана сохранилось крайне мало. Наиболее подробное описание последствий Верненского (ныне Алматы) землетрясения 1887 г. приводится в статье И.В.Мушкетова, опубликованной в Трудах геологического комитета.



Карта общего сейсмического районирования территории Казахстана разработана в картографическом и цифровом вариантах по обобщенным геолого-тектоническим, региональным геофизическим и сейсмологическим данным. Представлена последняя отредактированная версия в масштабе 1:5 000 000.
 Авторы: Нусипов Е.Н., Тимур А.В., Сыдыков А.С., Шайлопов В.И., Садыков А.Б.
 Основной нагрузкой карты являются изотипные разломы зоны максимальной интенсивности сотрясений от 6 до 9 баллов. Индексы 1,2,3 соответствуют средней повторяемости сотрясений один раз за 100, 1000, 10000 лет или их вероятности 0,5, 0,05 и 0,005 в ближайшие 50 лет. На карту нанесены очаги известных сильных (M_{7,0} и более) землетрясений, для которых указан год их возникновения. Показаны активные разломы в легенде, отражающие их тип (надавг, сброс, сдвиг и т.д.). Показаны сейсмостероидующие зоны (зоны возникновения очагов землетрясений), выделенные на основе комплекса сейсмологических, сейсмоструктурных, геодинамических и других геолого-геофизических данных.

Рисунок 1.13-Шкала МСК- 64

Город Верный, 1887г. Сильнейшее землетрясение (силой более 9-10 баллов), постигшее город 28 мая, охватило значительную территорию и привело к разрушению, вместе с городом Верный, многих других населенных пунктов.

Город Верный расположен на устьевых выносах рек Большой и Малой Алматинки. Грунты, залегающие в основании города, представлены мелкогравийными отложениями, местами, смешанными с лессом, лессовидным суглинком и песком. Уровень грунтовых вод местами достигал поверхности земли в северной части и понижался до 20м и более – в центральной и южной

частях города. Землетрясением было разрушено 1,8 тыс. зданий в г. Верном и в прилегающих к городу поселках.

Особенно большие повреждения были отмечены в юго-западной части города, где наряду с постройками сильно пострадали дороги, возведенные на высоких насыпях.

В предгорных районах вблизи эпицентра – к югу от г. Верного, имелись громадные обвалы, оползни и трещины [23, с.24]. Наносная глинисто-песчаная порода, покрывающая прочные породы, образовывала громадные грязевые потоки, разрушавшие все, что встречалось на пути в соответствии с рисунком 1.14.



Рисунок 1.14 - Складское помещение, разрушенное грязевым потоком

Город Верный, 1911г. Второе сильнейшее землетрясение, постигшее г.Верный 3 января 1911г., было более разрушительным. По данным Э.М.Антоненко, зона распространения этого землетрясения составляла около 4 млн. км², и степень повреждения различных сооружений при этом возростала от южной части города к северной [24,с.23]. Сопоставляя данные последствий разрушений при землетрясениях 1887 и 1911 гг., Э.М.Антоненко приходит к выводу, что восстановленные после первого землетрясения на прежних местах постройки разрушены вторично, а расположенные на более благоприятных грунтах и уцелевшие после первого землетрясения – меньше пострадали и при втором землетрясении. Это обстоятельство свидетельствует о влиянии рыхлых водонасыщенных лессовых грунтов на повреждение сооружения (в том числе и грунтовые) во время землетрясения.

Движение грунта прослеживалось на озерах Большой Алматинки. Тут возникли основательные разрывы грунта: были трещины, размер ширины трещин, примерно, достигало одного метра, а по глубине - до пяти метров. В соответствии с рисунком 1.15. Подземные толчки сопровождалась от севера к центру города разрывами, также наблюдались оседания грунта в соответствии с рисунком 1.16.



Рисунок 1.15-Трещины, размер которых превышает 1 м



Рисунок 1.16-Последствия землетрясения в северной части города

В отдельных местах величина вертикального смещения грунта достигала 6-8 м.

Согласно сведениям Министерства РК по чрезвычайным ситуациям, с 2001 по 2011 гг. в стране произошли пять сильных землетрясений магнитудой свыше шести баллов.

В Алматы зафиксированы подземные толчки с магнитудой 5,7 баллов. Сотрясения ощущались в Райымбекском районе Алматинской области. Наравне с разрушениями саманных зданий, были зафиксированы четыре уровня проломов в стенах, которые получили значительные повреждения. Кроме того, были выявлены размывы автодороги с возникновением трещин и сдвиги грунтов.

Подземные толчки в трехстах километрах от города Алматы, двадцать второго мая 2003 года. Сила землетрясения в центре города составляла 7-8 баллов. Были повреждены 8600 зданий. Во время землетрясений погибли три человека, двадцать шесть получили различные травмы, а 20820 человек

остались без жилья. Наблюдались множественные земельные разрушения и повреждения, взрывы насыпи путей в соответствии с рисунком 1.17.



Рисунок 1.17-Обрушение обочины дороги

Село Рыбцех, двадцать шестое апреля 2008 года. Землетрясение в Теректинском районе Западно-Казахстанской области было магнитудой 7,432 баллов, в квартирах жилых домов были обнаружены различные дефекты, общий ущерб составил 670 миллионов тенге.

Алматинская область, село Текели, тринадцатое июня 2009 года, подземные толчки были магнитудой семь баллов. Комиссией, исследовавшей последствия землетрясений, были установлены дефекты множества автомобильных дорог, насыпи, разжижение грунта, в соответствии с рисунком 1.18. Общий ущерб от землетрясения составил четыреста миллионов тенге.



Рисунок 1.18-Повреждение магистральной дороги

Согласно данным МЧС Республики Казахстан, сейсмоопасными территориями считаются, Алматинская, Восточно-Казахстанская, Джамбульская области и город Алматы. В республике проводятся масштабные учения по эвакуации жителей во время землетрясений.

1.3 Методы динамической устойчивости откосов

Известно, что проектирование любого сооружения, исходя из природной обстановки, начинается с выбора наиболее технически и экономически выгодного и прочного варианта, с тем, чтобы данный вариант обеспечил устойчивость по отношению к различным воздействиям и эксплуатационную долговечность.

Однако, в отдельных случаях (например, при сотрясениях) эти сооружения по известной причине могут терять свою прочность и потребовать проведения тех или иных мероприятий, направленных на повышение их устойчивости.

Основной целью проведения тех или иных технических мероприятий по защите инженерных сооружений является обеспечение их прочности, устойчивости, долговечности при минимальных затратах материалов. В связи с этим защитные мероприятия должны выбираться по следующим направлениям:

- выбор наиболее выгодных инженерно-геологических и гидрогеологических условий на территории, где намечается строительство;

- исходя из конструктивных решений объекта выбор защитных мероприятий;

- определение технологии возведения;

- создание эксплуатационного режима в соответствии с природными условиями строительства.

Обобщенное решение вышеперечисленных вопросов определяет конструкцию и стоимость будущего сооружения. Вместе с тем, каждое защитное мероприятие должно отвечать нижеследующим требованиям, свойственным инженерным сооружениям:

- экономичность;

- простота;

- прочность и устойчивость.

Само собой разумеется, что среди перечисленных требований, важное место принадлежит экономичности, которая формируется на основе нижеследующих факторов:

- целесообразность используемого мероприятия;

- соответствие мероприятий к инженерно-геологическим условиям площадки.

В строительной практике существуют различные мероприятия, направленные на обеспечение устойчивости откосов и подбор каждого из них осуществляется исходя из частного состояния. По учету сейсмических воздействий их можно обобщить в два тура:

1. Мероприятия, не допускающие нарушения прочности грунта в процессе сотрясения.

2. Мероприятия, допускающие незначительные повреждения в условиях сохранности общей устойчивости сооружения.

К числу наиболее распространенных в настоящее время мероприятий, как было отмечено выше, можно отнести: уплотнение грунта, замена грунта наиболее динамически устойчивой разновидностью, пригрузка поверхности

откоса, уположение откоса, замена конфигурации откоса, устройство дренажей, применение диафрагм и экранов и т.п.

Следует подчеркнуть, что большинство из этих мероприятий не имеют достаточного теоретического обоснования. В связи с этим широкое использование их в сложных геологических и гидрогеологических условиях не всегда оправдывает себя [25-27]. Одна из причин - сложность грунтовых условий района строительства и недостаточный учет природных и эксплуатационных воздействий на грунтовые сооружения. Кроме того, все чаще и чаще отмечается ограниченность условий мероприятий, недостаточная развитость технологии, высокая стоимость и, самое главное, трудность достижения цели после применения и т.п.

Среди внешних воздействий на грунтовый откос особое место принадлежит сейсмическим силам. Известно, что сейсмические воздействия способствуют возникновению инерционных сил (сдвигающие касательные напряжения) в сооружениях и снижению прочностных показателей (сцепления и угла внутреннего трения) грунтов в составе откосов. В случаях развития сейсмопросадочных деформаций в водонасыщенных грунтах возникает гидродинамический градиент напора в грунтовой воде, что в определенных условиях приводит к растеканию разжиженных грунтов.

Научное обоснование вышеотмеченных защитных мероприятий с учетом возможных изменений в грунтах откоса при сотрясении в наши дни приобретает важное значение при строительстве в сейсмических районах.

Исходя из вышеперечисленного, в качестве темы диссертационной работы выбран метод оположения откоса, который отличается дешевизной и не требует сложных оборудований и аппаратур при его реализации и широкого распространения его использования в случае всестороннего его обоснования.

Метод оположения откоса в качестве мероприятия, обеспечивающего устойчивость откоса, используется в строительстве давно.

Однако, относительно данного метода среди специалистов существуют различные мнения. Например, проф. Н.Н.Маслов считал нерентабельным использование метода оположения откоса для обеспечения устойчивости песчаных гидротехнических плотин. По его мнению, для откосов из однородных, малощероховатых песков, не содержащих в своем составе глинистых частиц, обладающих малым коэффициентом фильтрации, использование данного метода, является нецелесообразным [3,с.54]. Для обоснования своего мнения им были проведены специальные исследования на водонасыщенных песчаных откосах, имеющих наклон 1:3 и 1:6, грунты которых характеризовались отмеченными выше признаками. Величина гидродинамического градиента напора, возникающего при уплотнении грунта в условиях сотрясения, была больше в откосе с наклоном 1:6, чем другого, что увеличило степень разрушения грунта.

Опыты А.А.Мусаэляна на среднезернистых и крупнозернистых грунтах показали повышение устойчивости по мере уменьшения наклона откоса [28].

Вместе с тем, Н.Н.Маслов не отрицал метод оположения откоса категорически. По его мнению, устойчивость откоса по данному методу может быть обеспечена в условиях, когда соблюдаются неравенства:

$$a_{кр} > a_c, \quad (1.1)$$

где: a_c - максимальное сейсмическое ускорение, действующее на откос;
 $a_{кр}$ - критическое ускорение.

Под критическим ускорением понимается такое ускорение, ниже которого колеблющийся грунт сохраняет свое статическое состояние, одновременно выше его значения начинается нарушение структуры грунта и процесс уплотнения и сдвига.

В случаях, когда условие (1.1) сохраняется по всей глубине толщи, то оположение откоса является одним из целесообразных мероприятий в рассматриваемом плане [3, с.59].

Анализируя защитные мероприятия, используемые в строительной практике, Ю.П.Шкицкий высказывает следующие мнения о методе оположения откоса [29]:

- использование данного метода повышает общую стоимость строительства, т.к. при этом увеличивается объем земляных работ;

- увеличение объема водонасыщенного грунта при оположении откоса может способствовать разжижению породы в теле откоса.

Следует отметить, что со вторым мнением Ю.П.Шкицкого нельзя согласиться, т.к. разжижение обычно происходит при малых плотностях грунта, а в составе искусственных откосов грунты уплотняются до требуемой плотности.

Исходя из вышеизложенных мнений специалистов, можно сделать вывод, что использование метода оположения откоса в обеспечении устойчивости сооружений может привести к:

- положительному эффекту в связи с уменьшением касательных напряжений в теле откоса;

- отрицательному эффекту в связи с повышением значения динамического напора в случаях, когда воздействуют сильные землетрясения на достаточно пористый грунт в откосе.

Отмеченное выше означает, что возникновение динамического напора в толще грунта обычно связано с состоянием плотности грунта. Если учесть достаточную плотность грунта в теле откоса, то вопрос возникновения динамического напора исчезает, а всякое оположение наклона может способствовать обеспечению устойчивости сооружения.

В рассматриваемом методе основной проблемой является подбор такой крутизны откоса, при которой обеспечивается его устойчивость не только в статическом, но и при динамических воздействиях. В механике грунтов данный вопрос обычно решается на базе законов равновесия, таких как:

-угол откоса в сыпучих грунтах принимается равным углу естественного откоса;

-данный угол в связных грунтах назначается относительно крутым за счет сил сцепления грунта.

Такие подходы по назначению крутизны откоса во многих случаях не оправдают себя, т.к. они не учитывают внешние воздействия и внутренние процессы в грунтовой толще, вытекает из случаев аварий при землетрясениях, частично приведенных в параграфе 1.1 – настоящей главы.

Без учета разжижения, сдвига, сползания увлажненного грунта невозможно проектировать и возводить откос на низменных местностях в сейсмических районах.

Отсюда следует, что одна из главных задач при проектировании сооружений в виде откоса сводится к назначению крутизны откоса с учетом свойства грунта и всяких воздействий в период их эксплуатации. В связи с этим перед нами стоят следующие задачи исследования по развитию метода оположения откоса:

-обзор основных положений метода оположения откоса;

-определение крутизны откоса с учетом воздействия различных сейсмических сил;

-исследование процессов, происходящих в толще откоса в условиях колебаний. Изучение условий образования и развития динамического напора в толще и его влияние на деформационную способность грунта;

-разработка метода сейсмоустойчивой крутизны откоса;

- решение практических задач с использованием предложенного метода.

Решение этих задач составляет содержание данного исследования.

Выводы по разделу 1

Анализ состояния откосных сооружений, возведенных в нашей республике и других зарубежных странах, условия их повреждений при сильных землетрясениях, а также мероприятия, направленные на обеспечение их устойчивости, позволяют сделать следующие выводы:

1. В практике эксплуатации откосных сооружений (плотины ГЭС, автомобильные и железнодорожные насыпи, дамбы и т.п.) немало случаев повреждений. В большинстве случаев они произошли во время сильных землетрясений и привели к большому ущербу народного хозяйства. Причинами аварийных ситуаций явились: недостаточная прочность грунтов в теле насыпи, несоответствие плотности грунта к предъявляемым требованиям, неучет дополнительного увлажнения грунта, сил сотрясения и возникновения динамических напоров, проблемы, связанные с высотой откоса, крутизной и т.п.

2. Большинство защитных мероприятий, направленных на обеспечение устойчивости откосов в сложных геологических и гидрогеологических условиях не дают ожидаемых результатов. Имеются случаи ограничения условий проведения мероприятий, недостаточного развития технологии их

возведения, высокой стоимости и, самое главное, трудность достижения цели после использования.

3. Развитие сравнительно простого, легко используемого на практике, не требующего сложной техники и оборудования, метод оположения откоса с учетом поведения грунтов при сейсмических воздействиях бесспорно найдет широкое использование в строительстве.

4. Главная задача при использовании метода оположения откоса сводится к правильному определению его крутизны, от которой зависит не только статическая, но и динамическая устойчивость на весь период эксплуатации сооружений.

2 МЕТОД «СЕЙСМОУСТОЙЧИВАЯ КРУТИЗНА ОТКОСА»

2.1 Рабочая гипотеза

Известно, что в случаях, когда исследования основываются на определенной научной гипотезе, легко будет достичь следующие цели:

- определение сокращенного пути решения задачи;
- выполнение исследовательских работ в рамках единого направления.

В соответствии с этим, исследования, основанные на объективных гипотезах, будут иметь целенаправленный путь в рамках конкретной задачи.

В связи с этим, выполнение исследований по теме «Сейсмоустойчивая крутизна откосов» основано на следующей гипотезе.

Устойчивость любого колеблющегося откоса зависит от воздействия внутренних и внешних факторов. В качестве внутреннего фактора рассматриваются прочностные и деформационные показатели грунта в теле откоса, зависящие от их состава и состояния, т.е. вид грунта, гранулометрического и минералогического составов, состояния плотности-влажности и т.п. Внешняя нагрузка и динамические воздействия со своими составляющими (амплитуда, частота, период, длительность и т.п.) рассматриваются в качестве внешнего фактора.

Кроме того, существенным являются высота откоса и способ его возведения (послойное уплотнение, гидронамывной способ и т.д.). В определенных условиях (в случаях невыполнения условий 1.1) разжижение водонасыщенного грунта, возникающее под воздействием сотрясений, также является немаловажным в обеспечении устойчивой крутизны откоса.

Внутренние факторы, воздействующие на устойчивую крутизну откоса. Вид грунта. Выбор грунта при возведении искусственных откосов имеет важное значение. Состояние плотности грунтов в теле откоса во многом зависит от вида грунта. Искусственные откосы в основном возводятся из крупнообломочных (гравий, галечник), песчаных, супесчаных и суглинистых грунтов.

Анализ результатов многолетних исследований показывает, что неоднородные грунты всегда обладают преимуществом по сравнению с однородным составом с точки зрения обеспечения устойчивости откоса. Отсюда вытекает вывод о том, что сейсмоустойчивость крутизны откоса также зависит от однородности грунта. Кроме того, связные грунты (глины, суглинки и супеси) также способствуют повышению устойчивости наклонных сооружений.

Гранулометрический состав грунта. Данный показатель грунта также имеет значение в обеспечении устойчивости крутизны откоса. По утверждению Н.Н.Маслова, динамическая устойчивость грунта зависит от крупности слагаемых грунтовых частиц [3, с.66]. Опыты Ю.Н.Частоедова, проведенные на песчаных грунтах, показали большую динамическую устойчивость крупных частиц, свободных от мелких заполнителей [30]. Данный вывод можно отнести и к крупнообломочным грунтам.

Плотность грунта является одним из основных требований при назначении крутизны откоса. Здесь уместно отметить достаточную устойчивость откосов, заложенных из уплотненных грунтов, к внешним и внутренним воздействиям. Известно, что возрастание прочностных показателей грунта (угол внутреннего трения φ общего сцепления c_v) наблюдается по мере увеличения его плотности. В то же время эти показатели, в особенности сцепление грунта, существенно влияют на обеспечение устойчивой крутизны откосных сооружений. Значительная роль влажности грунта в обеспечении общей устойчивости откосов общеизвестна. Дополнительное увлажнение грунта всегда негативно влияет на сопротивление его сдвигу, соответственно уменьшает прочность грунта.

Высота откоса. Существенна роль этого показателя в обеспечении устойчивой крутизны откоса, так как с высотой связано значение инерционной нагрузки воздействия.

Метод возведения откоса также является фактором, оказывающим влияние на крутизну откоса. Устойчивость крутизны откоса в данном случае зависит от того, насколько плотно укладывается грунт тем или иным методом.

Разжижение грунта в теле откоса. Такой возможный случай, возникающий при сотрясении водонасыщенных грунтов, также существенно влияет на крутизну откоса в сейсмических районах. Повсеместный подъем уровня грунтовых вод за последние годы способствует дополнительному увлажнению грунтовых сооружений, в т.ч. и откосов. Вместе с тем, увлажненные (водонасыщенные) сыпучие и малосвязные грунты в большей степени проявляют склонность к разжижению, оплыванию, растеканию, со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Интенсивность и характер динамического воздействия (амплитуда, частота, период, длительность). Вопрос интенсивности динамического воздействия и его составляющих (амплитуда, частота, период), а также длительность воздействия включены в тематику исследования т.к. он имеет прямое отношение к устойчивости крутизны откосных сооружений.

Теоретические и экспериментальные исследования вышеотмеченных факторов, влияющих на крутизну откосных сооружений, составляют основу нашей работы по решению поставленной задачи.

Был выбран следующий последовательный путь решения задачи:

- анализ напряженного состояния грунтовой толщи при распространении сейсмических волн;
- исследование изменения прочности грунта в условиях распространения сейсмических волн;
- разработка метода «сейсмоустойчивой крутизны откоса»;
- экспериментальные исследования по обоснованию факторов, определяющих сейсмоустойчивость крутизны откосных сооружений.

Ниже излагаются решения этих вопросов.

2.2 Напряженное состояние грунтовой толщи при распространении сейсмических волн

Для оценки состояния сооружений в условиях землетрясений, необходимо ясно представить все явления, протекающие в грунтах при колебании. Анализ разрушенных при землетрясениях откосных сооружений показал, что повреждения в виде оседания, трещин, сдвига, сползания, растекания и т.п. были в основном связаны с динамическими процессами в толще грунта [9, с.44;10, с.49;13, с.46;21, с.76; 31-35].

В практике современного расчета сила сейсмического воздействия определяется на основе анализа колебаний сооружений. Для этого рекомендуется пользоваться спектральными кривыми, в основу которых положены период и форма собственного колебания, определяемых по расчетной схеме сооружений. Вместе с тем при расчетах особо важных сооружений рекомендуется использовать аналитический метод, который помогает выявлять силы сдвига или инерции в зависимости от длительности колебаний на основе реальных акселерограмм.

Следует отметить, что использование спектрального метода определения сейсмических сил, может привести к положительному результату для сооружений, отличающихся по жесткости от грунтов (мосты, бетонные плотины и др.). Однако и там есть сложности учета состояния инерции мягких грунтов, отличающихся по жесткости от сооружений. Используемые для этой цели статические модели не всегда совпадают с реальными случаями [36,37].

О недостаточности оценки устойчивости сооружений только по силе землетрясений были отмечены специалистами [38-42]. По их мнению, имеются факторы, усиливающие влияния землетрясений, которые в отдельных случаях могут сыграть основную роль в повреждении сооружений. К их числу относятся: горизонтальные и вертикальные силы инерции, снижающие при колебании силы трения; изменения боковых давлений грунта; снижение несущей способности грунта; остаточная деформация грунта, разжижение грунта, оползневые явления и др. В качестве немаловажного фактора отмечены случаи расположения данных сооружений через тектонические разрывы [43-46].

На основании вышеизложенного следует, что вопрос, связанный с влиянием интенсивности землетрясения на искусственные грунтовые сооружения, является весьма сложным, и по этой причине в практике расчета пользуются приближенными методами. В результате чего отмечаются различия между расчетом и наблюдаемым в действительности случаем [47-51].

Оценку устойчивости колеблющейся толщи следует производить на базе прочностных показателей грунта. Важным при этом является исследование напряженного состояния породы, вызываемого сейсмическими волнами и распространением напряжений по глубине толщи.

Степень сложности решения такой задачи зависит от сейсмического воздействия, связанного с геолого-тектоническим условием района строительства.

Исследованием распространения сейсмических волн через толщи грунта занимались многие специалисты [52-55]. Некоторые из них рассматривали поверхность грунта в качестве очага распространения сейсмических сил, другие считали, что сейсмические силы распространяются от источника колеблющегося на поверхности упругого полупространства. В сложных условиях для решения задач пользовались численными методами [56-59]. Сложность инженерно-геологических и гидрогеологических условий района строительства, отсутствие сведений о сейсмическом воздействии и его изменении во времени и др. оказывают влияние на точное решение задачи. Обычно эти сведения становятся известными после случая землетрясений.

В настоящее время широко используются решения задач взаимодействия плоской волны с поверхностью упругого полупространства. Во многих случаях такие решения относительно напряжений в основаниях грунтовых сооружений показывают удовлетворительные сходства с действительностью [58, с.151-153; 60, 61]. Степень точности решений зависит от толщины слоя грунта, расположения объекта относительно очага землетрясений, наличия слоев грунта у отличающихся по волновым показателям и др.

Для определения величины сейсмических напряжений в толще грунтового откоса рассмотрим случай взаимодействия между плоской волной и поверхностью основания, представленного в виде упругого полупространства [56, с.72; 58, с.154; 62, 63].

Сдвиги при распространении сейсмических волн направляются в виде скалярного ξ и векторного ψ потенциала:

$$u = \text{grad } \xi + \text{rot } \psi. \quad (2.1)$$

Эти потенциалы соответствуют волновым уравнениям:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} - v_b^2 \Delta \xi &= 0, \\ \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} - v_k^2 \Delta \psi &= 0, \end{aligned} \quad (2.2)$$

где: v_b, v_k – скорость распространения продольной и поперечной волны;

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} - \text{операторы Лапласа.}$$

Решение этого уравнения производится из граничного условия равенства нулю напряжений по поверхности полупространства, т.е.:

$$\sigma_z = \tau_{zx} = \tau_{xz} = 0. \quad (2.3)$$

Известно, что при решении задач, касающихся плоской волны, пространственные задачи путем подбора координат могут быть переведены в плоскую. Тогда будет достаточным представить нахождение сдвига от продольной волны (потенциала ξ) на поверхности координат (например, xoz) в

соответствии с рисунком 2.1. При таком условии сдвиги по поперечной волне (ψ потенциалы) будут направлены под определенным углом относительно данной плоскости. Однако, в любой момент можно разделить их на два составляющих. Одна из них (т.е. SV) лежит на плоскости хоз, а другая (SH) на перпендикулярной к ней плоскости.

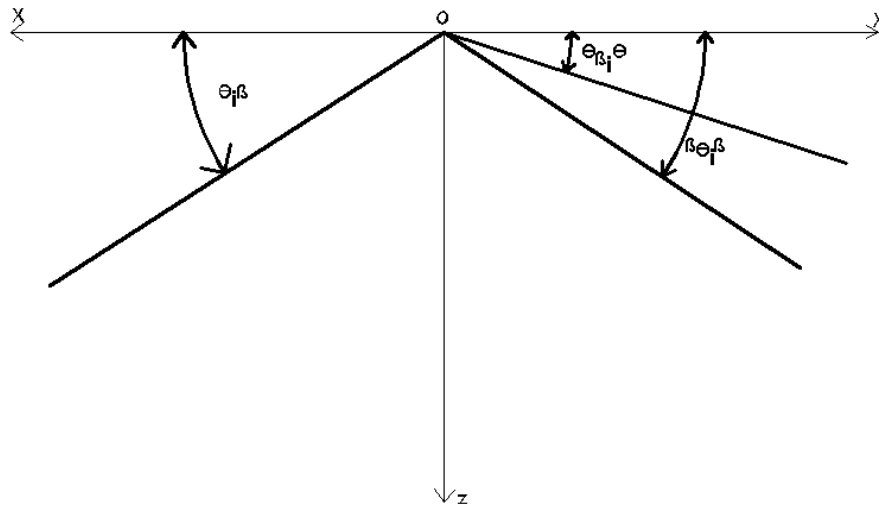


Рисунок 2.1-Схема падения сейсмических волн на горизонтальную поверхность

Для гармонических колебаний решение уравнения 2,2 по интегралу Фурье сводится:

$$\xi = A(\omega i e^{-i\omega \frac{x \cos \theta - z \sin \theta}{v_b}} + B(\omega i e^{-i\omega \frac{x \cos \theta_1 - z \sin \theta_1}{v_b}} + C(\omega i e^{-i\omega \frac{x \cos \beta - z \sin \beta}{v_k}} + D(\omega i e^{-i\omega \frac{x \cos \beta_1 - z \sin \beta_1}{v_k}}, \quad (2.4)$$

где: i – составляющие вектора ψ на оси x, z .

Верхняя часть выражения (2.4) описывает плоскую волну, падающую на поверхность грунта, а нижняя часть – противоположную волну. Если рассматривается волна с потенциалом ξ , верхняя часть формулы будет $M_i(\omega i = 0$. Если, на поверхность грунта падает одна из волн типа ψ (например, ψ_y), тогда $A = M_x = M_z = 0$. В таких случаях некоторые коэффициенты, относящиеся к D_i также могут равняться нулю.

Учитывая независимость всех соотношений от принятой координаты и направления оси y координаты, вектора сдвига можно представить в виде:

$$u = \frac{\partial \xi}{\partial x} - \frac{\partial \psi_y}{\partial z}, \quad v = \frac{\partial \psi_x}{\partial z} - \frac{\partial \psi_z}{\partial x}, \quad w = \frac{\partial \xi}{\partial z} + \frac{\partial \psi_y}{\partial x}, \quad (2.5)$$

где: u, v, w – составляющие вектора u соответственно осям x, y, z .

Зависимость сдвигов на поверхности Xoz от составляющих ψ_y вектора ψ можно проследить по формуле 2.5.

Учитывая взаимосвязь напряжения – деформации и вектора сдвига с составляющими (2.3), граничные условия могут быть представлены в виде:

$$\begin{aligned} v_b^2 \left(\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} \right) - 2 v_k^2 \left(\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \psi_y}{\partial x \partial z} \right) &= 0, \\ 2 \frac{\partial^2 \xi}{\partial x \partial z} - \frac{\partial^2 \psi_y}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \psi_y}{\partial x^2} &= 0, \\ \frac{\partial v}{\partial z} &= 0. \end{aligned} \quad (2.6)$$

Для таких случаев отношение приходящих волн с потенциалами ξ с поверхностью грунта формируется в виде:

$$\begin{aligned} \xi &= A(\omega \dot{\iota} e^{-i\omega \frac{x \cos \theta - z \sin \theta}{v_b}} + B^\theta(\omega \dot{\iota} e^{-i\omega \frac{x \cos \delta_\theta^1 - z \sin \delta_\theta^1}{v_b}}, \\ \psi_y &= D_y^\theta(\omega \dot{\iota} e^{-i\omega \frac{x \cos \beta_\theta^1 - z \sin \beta_\theta^1}{v_k}}). \end{aligned} \quad (2.7)$$

Для случая $z = 0$ коэффициенты $B(\omega)$ и D_y^θ могут быть представлены через функции $A(\omega)$. Тогда необходимо иметь виду равенство:

$$\frac{\cos \theta}{v_b} = \frac{\cos \theta_1}{v_b} = \frac{\cos \beta_\theta}{v_k}. \quad (2.8)$$

Условие возврата от плоскости Xoz будет:

$$\begin{aligned} B^\theta &= - \frac{v_b^2 \cos^2 2\beta_\theta - v_k^2 \sin 2\theta \sin 2\beta_\theta}{v_b^2 \cos^2 2\beta_\theta + v_k^2 \sin 2\theta \sin 2\beta_\theta} A(\omega \dot{\iota}, \\ D_y^\theta &= \frac{2 v_k^2 \sin 2\theta \cos 2\beta_\theta}{v_b^2 \cos^2 2\beta_\theta + v_k^2 \sin 2\theta \sin 2\beta_\theta} A(\omega \dot{\iota}, \end{aligned} \quad (2.9)$$

где угол β_θ определяется по выражению 2.8 через угол распространения сейсмической волны θ .

С помощью данного метода можно вывести формулу, касающуюся поперечной волны (SV). Для этого путем следующей формулы:

$$\begin{aligned} \xi &= B^\beta(\omega \dot{\iota} e^{-i\omega \frac{x \cos \theta_\beta + z \sin \theta_\beta}{v_b}}, \\ \psi_y &= M_y(\omega \dot{\iota} e^{-i\omega \frac{x \cos \beta - z \sin \beta}{v_k}} + D_y^\beta \dot{\iota}, \end{aligned} \quad (2.10)$$

в две начальные граничные условия (2.6). Неизвестные коэффициенты $B^\beta(\omega)$ и $D_y^\beta(\omega)$ определяются через выявленный коэффициент $M_y(\omega \dot{\iota}$:

$$B^\beta(\omega \dot{z}) = - \frac{2v_b^2 \sin 2\beta \cos 2\beta_\square}{v_b^2 \cos^2 2\beta_\square + v_k^2 \sin 2\beta \sin 2\theta_\beta} M_y(\omega \dot{z}),$$

$$D_y^\beta(\omega) = \frac{v_b^2 \cos^2 2\beta - v_k^2 \sin 2\beta_\square \sin 2\theta_\beta}{v_b^2 \cos^2 2\beta_\square + v_k^2 \sin 2\beta_\square \sin 2\theta_\beta} M_y(\omega \dot{z}), \quad (2.11)$$

и, наконец, для волны SH, характеризующейся $u = w = 0$, возникает возможность представить нижеследующие выражения:

$$v = \frac{\partial \psi_z}{\partial x} - \frac{\partial \psi_x}{\partial z} = - \frac{i\omega}{v_k} \left[(M_x \sin\beta + M_z \cos\beta) e^{-i\omega \frac{x \cos\beta - z \sin\beta}{v_k}} \right] - (D_x \sin\beta - i$$

$$D_z \cos\beta) \dot{z} e^{-i\omega \frac{x \cos\beta + z \sin\beta}{v_k}} = v_n e^{-i\omega \frac{x \cos\beta - z \sin\beta}{v_k}} + v_e e^{-i\omega \frac{x \cos\beta + z \sin\beta}{v_k}}. \quad (2.12)$$

Учитывая крайнее граничное условие выражения 1.6, несложно представить:

$$v_\kappa = v_\kappa, \quad (2.13)$$

где: v_κ, v_κ – возвратные и падающие волны.

Составляющих сдвиговые деформации у падающих (P) и поперечных (SV) волн на поверхность грунта можно представить в виде длины вектора сдвига u_p (для волны P) и u_{sv} (для волны SV) волн. Тогда коэффициенты A и M_y приобретают следующий вид:

$$A = - \frac{v_b}{i\omega} u_p \text{ и } M_y = \frac{v_k}{i\omega} u_{sv}. \quad (2.14)$$

В рассматриваемых условиях составляющие сдвига в результате смещения падающих и возвратных волн представляются в виде:

- для падающих продольных волн:

$$u = u_p e^{-i\omega \frac{x \cos\theta}{v_b}} \left\{ \left[e^{i\omega \frac{z \sin\theta}{v_b}} + B_p e^{-i\omega \frac{z \sin\theta}{v_b}} \right] \cos\theta - D_p \frac{v_b}{v_\kappa} \sin\beta_\theta e^{-i\omega \frac{z \sin\beta_\theta}{v_\kappa}} \right\}$$

$$w = -u_p e^{-i\omega \frac{x \cos\theta}{v_b}} \left\{ \left[e^{i\omega \frac{z \sin\theta}{v_b}} - B_p e^{-i\omega \frac{z \sin\theta}{v_b}} \right] \sin\theta - D_p \cos\beta_\theta e^{-i\omega \frac{z \sin\beta_\theta}{v_\kappa}} \right\}, \quad (2.15)$$

- для падающих поперечных волн:

$$u = u_{sv} e^{-i\omega \frac{x \cos\beta}{v_k}} \left\{ \left[e^{i\omega \frac{z \sin\beta}{v_k}} + D_{sv} e^{-i\omega \frac{z \sin\beta}{v_k}} \right] \sin\beta - B_{sv} \cos\beta e^{-i\omega \frac{z \sin\theta_\beta}{v_b}} \right\}$$

$$w = u_{sv} e^{-i\omega \frac{x \cos\beta}{v_k}} \left\{ \left[e^{i\omega \frac{z \sin\beta}{v_k}} + D_{sv} e^{-i\omega \frac{z \sin\beta}{v_k}} \right] \cos\beta - B_{sv} \frac{v_k}{v_b} \sin\theta_\beta e^{-i\omega \frac{z \sin\theta_\beta}{v_b}} \right\}. \quad (2.16)$$

Нижеследующие величины в выражениях (2.15) и (2.16):

$$B_p = \frac{B^\theta}{A}; D_p = \frac{D_y^\theta}{A}; B_{sv} = \frac{B^\beta}{M_y}; D_{sv} = \frac{D_y^\beta}{M_y}, \quad (2.17)$$

определяются с помощью (2.9) и (2.11).

Составляющие сдвига на поверхности грунта определяются на основе выражений (2.15) и (2.16):

$$\begin{aligned} u_0 &= u_p F_{p1}(\theta) e^{-i\omega \frac{x \cos \theta}{v_b}} + u_{sv} F_{s1}(\beta) e^{-i\omega \frac{x \cos \beta}{v_k}}, \\ v_0 &= -u_p F_{p2}(\theta) e^{-i\omega \frac{x \cos \theta}{v_b}} + u_{sv} F_{s2}(\beta) e^{-i\omega \frac{x \cos \beta}{v_k}}, \end{aligned} \quad (2.18)$$

где:

$$\begin{aligned} F_{p1}(\theta) &= (1+B_p) \cos \theta + D_p \frac{v_b}{v_k} \sin \beta_\theta = \frac{2 v_k v_b \sin 2 \theta \sin 2 \beta_\theta}{v_b^2 \cos 2 \beta_\theta + v_k^2 \sin 2 \theta \sin 2 \beta_\theta}, \\ F_{p2}(\theta) &= (1-B_p) \sin \theta + D_p \cos \theta = \frac{-2 v_b^2 \cos 2 \beta_\theta \sin \theta}{v_b^2 \cos 2 \beta_\theta + v_k^2 \sin 2 \theta \sin 2 \beta_\theta}, \\ F_{s1}(\beta) &= (1+D_{sv}) \sin \beta - B_{sv} \cos \beta = \frac{-2 v_b^2 \cos 2 \beta \sin 2 \beta}{v_b^2 \cos^2 2 \beta + v_k^2 \sin 2 \beta \sin 2 \theta_\beta}, \\ F_{s2}(\beta) &= (1+D_{sv}) \cos \beta - B_{sv} \frac{v_k}{v_b} \sin \theta_\beta = \frac{2 v_k v_b \sin 2 \beta \sin \theta_\beta}{v_b^2 \cos^2 2 \beta + v_k^2 \sin 2 \beta \sin 2 \theta_\beta}. \end{aligned} \quad (2.19)$$

Известно, что амплитуду поступающих волн, действующих на поверхности грунта, можно определить по формуле (2.18).

$$\begin{aligned} u_p &= \frac{u_0 F_{s2} - v_0 F_{s1}}{F_{p1} F_{s2} + F_{p2} F_{s1}} e^{i\omega \frac{x \cos \theta}{v_b}}, \\ u_{s1} &= \frac{u_0 F_{p2} - v_0 F_{p1}}{F_{p1} F_{s2} + F_{p2} F_{s1}} e^{i\omega \frac{x \cos \beta}{v_k}}. \end{aligned} \quad (2.20)$$

2.20 выражение способствует определению величин сдвига, деформации и напряжения в толще грунт через сдвиг, скорости, ускорения на ее поверхности.

Например, с помощью выражений (2.15) и (2.16) можно представить деформации в толще грунт, согласно указаний механики сплошной среды в виде:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{a_p(x)}{v_b} \left[M_f(z) \cos^2 \theta + D_p \frac{v_b^2}{v_k^2} \sin \beta_\theta \cos \beta_\theta e_s(z) \right] - \frac{a_s(x)}{v_k} \left[S_\psi(z) \sin \beta \cos \beta - B_s \frac{v_k^2}{v_b^2} \cos^2 \theta_\beta e_p(z) \right], \\ \varepsilon_z &= - \frac{a_p(x)}{v_b} \left[M_f(z) \sin^2 \theta - D_p \frac{v_b^2}{v_k^2} \sin \beta_\theta \cos \beta_\theta e_s(z) \right] + \\ &+ \frac{a_s(x)}{v_k} \left[S_\psi(z) \sin \beta \cos \beta + B_s \frac{v_k^2}{v_b^2} \sin^2 \theta_\beta e_p(z) \right], \end{aligned}$$

$$2\varepsilon_{xz} = \frac{a_p(x)}{v_b} \left[S_f(z) \sin 2\theta + D_p \frac{v_b^2}{v_k^2} \cos 2\beta_\theta e_s(z) \right] - \frac{-a_s(x)}{v_k} \left[M_f(z) \cos 2\beta - B_s \sin 2\theta_\beta e_p(z) \right]. \quad (2.21)$$

В вышеприведенных выражениях были использованы обозначения:

$$\begin{aligned} a_p(x) &= i\omega u_p e^{-i\omega \frac{xc0s\theta}{v_k}}, \\ a_s(x) &= i\omega u_{sv} e^{-i\omega \frac{xc0s\beta}{v_k}}, \\ M_f(z) &= e^{-i\omega \frac{z\sin\theta}{v_b}} + B_p e^{-i\omega \frac{z\sin\theta}{v_b}}, \\ S_f(z) &= e^{-i\omega \frac{z\sin\theta}{v_b}} - B_p e^{-i\omega \frac{z\sin\theta}{v_b}}, \\ M_\psi(z) &= e^{i\omega \frac{z\sin\beta}{v_k}} + D_s e^{-i\omega \frac{z\sin\beta}{v_k}}, \\ S_\psi(z) &= e^{i\omega \frac{z\sin\beta}{v_k}} - D_s e^{-i\omega \frac{z\sin\beta}{v_k}}, \\ e_s(z) &= e^{-i\omega \frac{z\sin\theta_\beta}{v_k}}, \\ e_p(z) &= e^{-i\omega \frac{z\sin\theta_\beta}{v_b}}. \end{aligned} \quad (2.22)$$

Деформацию γ_{zy} на базе (2.12) и (2.13) можно представить следующем виде:

$$2\varepsilon_{zy} = \frac{\partial w}{\partial z} = -2 \frac{\omega}{v_k} w_n e^{-i\omega \frac{xcos\beta}{v_k}} \sin\beta \sin\left(z \frac{\omega \sin\beta}{v_k}\right). \quad (2.23)$$

или

$$2\varepsilon_{zy} = -\frac{\omega}{v_k} w_o \sin\beta \sin\left(z \frac{\omega \sin\beta}{v_k}\right), \quad (2.24)$$

где: w_o – горизонтальный сдвиг на поверхности грунта при землетрясении.

Распределения напряжений в грунтовой толще на базе выражений (2.20) - (2.24) представляются в следующем виде:

$$\begin{aligned} \sigma_y &= \gamma \dot{z} - 2v_k^2 \dot{z} \dot{z}, \\ \sigma_x &= \sigma_y + 2\gamma v_k^2 \varepsilon_x, \\ \sigma_z &= \sigma_y + 2\gamma v_k^2 \varepsilon_z, \\ \tau_{zx} &= 2\gamma v_k^2 \varepsilon_{xz}, \\ \tau_{yz} &= 2\gamma v_k^2 \varepsilon_{yz}, \end{aligned} \quad (2.25)$$

где: γ – плотность грунта.

Алгоритм расчета напряжений можно проследить по вышеприведенной формуле. В случаях, когда известна амплитуда сдвига во времени, или сдвиг поверхности грунта во времени по формуле (2.25), расчет напряжений следует произвести по методу Фурье.

В случаях гармонических колебаний достаточно использовать вышеприведенные формулы [64].

Известно, что в слабых грунтах направление сейсмических волн в сторону поверхности толщи (θ, β) обычно соответствует с $\frac{\pi}{2}$, т.е. наблюдается ближе к нулю значения $\xi^1 = \frac{\pi}{2} - \theta$ и $\delta^1 = \frac{\pi}{2} - \beta$. В таких случаях $\cos\theta = \sin\xi^1 \approx \xi^1$; $\cos\beta = \sin\delta^1 \approx \delta^1$; $\sin\theta \approx \sin\beta \approx 1$ и т.д. Учитывая это, (если не учитывать квадраты углов ξ^1 и δ^1 и значений B_p, D_p) можно будет записать:

$$\begin{aligned} B_p &= -1; & D_p &= 4 \frac{v_k^2}{v_b^2} \xi^1; & D_s &= -1; & B_s &= -4 \delta^1; \\ F_{p1} &= 4 \frac{v_k^2}{v_b^2} \xi^1; & F_{p2} &= 2; & F_{s1} &= 2; & F_{s2} &= 4 \frac{v_k^2}{v_b^2} \delta^1. \end{aligned} \quad (2.26)$$

В таких случаях напряжения, выявленные через амплитуды скорости падающей волны на поверхность грунта ($c_p = i\omega u_p$; $c_{sv} = i\omega u_{sv}$; $c_{sH} = i\omega w_n \dot{i}$), представляется возможным написать в виде:

$$\begin{aligned} \sigma_y &= -\left(1 - 2 \frac{v_k^2}{v_b^2}\right) \left[2i\gamma v_b c_p \sin \frac{\omega Z}{v_b} e^{-i\omega \frac{x\xi^1}{v_b}} + 4\gamma v_k c_{sv} \delta^1 e^{-i\omega \left(\frac{x\delta^1}{v_k} + \frac{z}{v_b}\right)} \right], \\ \sigma_x &= -2i \left(1 - 2 \frac{v_k^2}{v_b^2}\right) \gamma v_b c_p \sin \frac{\omega Z}{v_b} e^{-i\omega \frac{x\xi^1}{v_b}} - 4\gamma v_k c_{sv} \delta^1 e^{-i\omega \frac{x\delta^1}{v_k}} \left[\cos \frac{\omega Z}{v_k} + \left(1 - 2 \frac{v_k^2}{v_b^2}\right) e^{-i\omega \frac{z}{v_b}} \right], \\ \sigma_z &= 2i\gamma v_b c_p \sin \frac{\omega Z}{v_b} e^{-i\omega \frac{x\xi^1}{v_b}} + 4\gamma v_k c_{sv} \delta^1 e^{-i\omega \frac{x\delta^1}{v_k}} \left[\cos \frac{\omega Z}{v_k} - e^{-i\omega \frac{z}{v_b}} \right], \\ \tau_{zx} &= 4\gamma \frac{v_k^2}{v_b^2} c_p \xi^1 e^{-i\omega \frac{x\xi^1}{v_b}} \left[\cos \frac{\omega Z}{v_b} - e^{-i\omega \frac{z}{v_b}} \right] + 2i\gamma v_k c_{sv} \sin \frac{\omega Z}{v_{sv}} e^{-i\omega \frac{x\delta^1}{v_k}}, \\ \tau_{zy} &= 2i\gamma v_k c_{sH} e^{-i\omega \frac{x\delta^1}{v_k}} \sin \frac{\omega Z}{v_k}. \end{aligned} \quad (2.27)$$

В случае учета выражений (2.19) и (2.26) формулы можно будет представить с помощью ускорений колебаний грунта ($\alpha_z = -\omega^2 v_o$; $\alpha_x = -\omega^2 u_o$; $\alpha_y = -\omega^2 w_o$) в виде:

$$\begin{aligned} \sigma_z &= 2\gamma v_k \frac{\alpha_x}{i\omega} \delta^1 \left(\cos \frac{\omega Z}{v_k} - \cos \frac{\omega Z}{v_b} \right) + \gamma \frac{v_b \alpha_z}{\omega} \sin \frac{\omega Z}{v_b}, \\ \sigma_x &= -2\gamma \frac{v_k \alpha_x}{i\omega} \delta^1 \left[\cos \frac{\omega Z}{v_k} + \left(1 - 2 \frac{v_k^2}{v_b^2} \cos \frac{\omega Z}{v_b}\right) \right] + \left(1 - 2 \frac{v_k^2}{v_b^2}\right) \rho v_b \frac{\alpha_z}{\omega} \sin \frac{\omega Z}{v_b}, \\ \sigma_y &= \left(1 - 2 \frac{v_k^2}{v_b^2}\right) \left(\gamma \frac{v_b \alpha_x}{\omega} \sin \frac{\omega Z}{v_b} - 2\gamma \frac{v_k \alpha_x}{\omega} \delta^1 \cos \frac{\omega Z}{v_b} \right), \\ \tau_{xz} &= 2 \frac{v_k^2}{v_b^2} \frac{\alpha_z}{i\omega} \xi^1 \left(\cos \frac{\omega Z}{v_k} - \cos \frac{\omega Z}{v_b} \right) + \gamma \frac{v_k \alpha_x}{\omega} \sin \frac{\omega Z}{v_k}, \\ \tau_{zy} &= \gamma \frac{v_k \alpha_y}{\omega} \sin \frac{\omega Z}{v_k}. \end{aligned} \quad (2.28)$$

В случаях, если угол распространения волны будет равен $\xi^1 = \delta^1 = 0$, то выражение определения напряжений упрощается:

$$\begin{aligned}
\sigma_z &= \gamma \frac{v_b \alpha_z}{\omega} \sin \frac{\omega z}{v_b}, \\
\sigma_x = \sigma_y &= \left(1 - 2 \frac{v_k^2}{v_b^2}\right) \sigma_z, \\
\tau_{xz} &= \gamma \frac{v_k \alpha_x}{\omega} \sin \frac{\omega z}{v_k}, \\
\tau_{zy} &= \gamma \frac{v_k \alpha_y}{\omega} \sin \frac{\omega z}{v_k}.
\end{aligned} \tag{2.29}$$

Напряжения от перпендикулярной к поверхности грунта волны имеют важное значение при анализе поставленного перед нами вопроса. Если учесть, что $\omega = \frac{2\pi}{T}$ и $\lambda = T v_k$, то окончательное выражение сдвиговых напряжений от сейсмического воздействия при практических расчетах можно представить в виде:

$$\tau^c = \frac{\gamma}{2\pi g} \alpha_c T v_k \sin 2\pi \frac{z}{\lambda}. \tag{2.30}$$

Известно, что возврат сейсмических волн от границ между поверхностью грунта и грунтовых сооружений способствует увеличению колебания частиц в 3-4 раза из-за возникновения интерференционного эффекта. Такое состояние А.З.Кацом выражается в виде [61, с.24-26]:

$$\frac{H}{\lambda} = \frac{(2n-1)}{4}, \quad n = 1, 2, 3, \dots, \tag{2.31}$$

где: H – толщина слоя.

С.В.Медведев отмечает, что период колебания (T) зависит от грунтовых условий, и для однородных пластов имеет место соотношение:

$$T = \frac{4H}{v_k}. \tag{2.32}$$

Формула (2.30) с учетом (2.30) и (2.31) намного упрощается:

$$\tau^c = \frac{\gamma}{\pi g} 2H \alpha_c. \tag{2.33}$$

2.3 Изменение прочностных характеристик грунта при динамических воздействиях

Известно, что для того, чтобы произошло нарушение устойчивости грунтовых откосов величина сейсмического воздействия должна быть больше прочности грунта. Поэтому на разных местах наблюдаются различные повреждения идентичных откосов при одинаковых землетрясениях.

Прочность грунта представляет сопротивления сдвигу породы под воздействием касательных напряжений. Сопротивляемость сдвигу любого грунта в общих случаях представляется в виде [3, с.86]:

$$S_{\sigma, w} = \sigma \operatorname{tg} \varphi_w + c_w + c_b, \quad (2.34)$$

где: $S_{\sigma, w}$ – зависящая от вертикального составляющего напряжения (σ) и состояния влажности (w) сопротивляемость грунта сдвигу (прочность);

φ_w – зависящий от внешней нагрузки (σ) и плотности грунта угол внутреннего трения грунта;

c_w – зависящая от состояния влажности (w) пластичная связность грунта;

c_b – жесткое структурное сцепление грунта.

Значения $S_{\sigma, w}$, σ , c_w и c_b в выражении (2.34) имеют размерность напряжения.

Вертикальное составляющее напряжение (σ) в общем случае происходит от воздействия внешней нагрузки и собственного веса грунта и представляется в виде:

$$\sigma = p + \gamma_w z, \quad (2.35)$$

где: p – напряжение, возникающее на глубине z от внешней нагрузки;

$\gamma_w z$ – напряжения от собственного веса грунта на той глубине.

В соответствии с выражением (2.34) величина природной влажности грунта (w) имеет существенное влияние на прочность грунта. В то же время немаловажным также является состояние плотности грунта. Ослабление прочности грунта по мере повышения влажности и уменьшения плотности было отмечено многими специалистами [9, с.92; 10, с.96; 30, с.77; 41, с.82; 64, с.86].

Таким образом, нарушение структуры грунта при динамических (сейсмических) воздействиях определяется его сопротивляемостью сдвига, зависящей от состояния плотности и влажности породы. Установлено погашение определенной части интенсивности землетрясения силами сопротивления, обуславливающими прочность грунта, т.е.:

$$\alpha_p = \alpha_c - \alpha_{кр}, \quad (2.36)$$

где α_p – расчетное значение сейсмического ускорения, приводящего к нарушению структуры грунта;

α_c – максимальное значение сейсмического ускорения в толще грунта;

$\alpha_{кр}$ – часть сейсмического ускорения, расходуемая на преодоление прочности грунта. Называемым критическим ускорением эта величина имеет существенное значение в сохранении структуры грунта при его колебании. Понятие о критическом ускорении впервые было введено в науку О.А.Савиновым (1936г.), в дальнейшем оно использовано Д.Д.Барканом (1948г.), Н.Н.Масловым [9, с.100], П.Л. Ивановым [41, с.90], Х.З.Расуловым [10, с.93], Х.Б.Сидом [4, р. 98], Ю.П.Шкицким [29, с. 100] и др. при оценке устойчивости структуры грунта в условиях динамических воздействий.

Критическое ускорение $\alpha_{кр}$ в общем случае представляет статическую прочность грунта и в случаях, когда сейсмическое ускорение будет меньше его значения, грунт будет колебаться как сплошное тело, имеющее эластичное свойство. Только в случаях, когда действующее сейсмическое ускорение преодолеет $\alpha_{кр}$, тогда лишь начинается нарушение структуры и уплотнения грунта. Отсюда следует, что при степени всех условий колебания меньших $\alpha_{кр}$ устойчивость грунта будет выражаться зависимостью (2.34). Таким образом, в зависимости от величины критического ускорения, согласно выражения (2.36), она будет определяться α_p , вызывающее нарушение структуры грунта в рассматриваемых условиях.

Связь критического ускорения с прочностью грунта можно проследить по формуле проф.Х.З.Расулова в виде[10,с.57]:

$$\alpha_{кр} = \frac{\pi g (\sigma_{\square} \operatorname{tg} \varphi_w + c_v)}{2 \gamma_w H}, \quad (2.37)$$

где σ - напряжение в грунтовой толще от воздействия внешней нагрузки и собственного веса грунта;

c_v – общее сцепление, состоящее из пластичной (c_w) и жесткой (c_b) образующих, т.е.:

$$c_v = c_w + c_b. \quad (2.38)$$

Исследования, проведенные за последние годы, показали, что величина критического ускорения, определяемая по выражению (2.37), не является постоянной, а изменяется в процессе колебаний [65-66]. Учитывая это обстоятельство, формулу 2.37 можно представить в виде:

$$\alpha_{кр}(t) = \frac{\pi g [\sigma(t)_{\square} \operatorname{tg} \varphi_w + c_v(t)]}{2 \gamma_w H}, \quad (2.39)$$

где: t – время.

Отсюда следует, что критическое ускорение ($\alpha_{кр}$) в условиях сотрясения может изменяться за счет снижения σ и c_v . По этому вопросу в работе [16,с.83-84] приведены формулы:

$$\sigma(t) = \sigma_{cm} - \gamma_c h_z(t). \quad (2.40)$$

и

$$c_w(t) = c_w(k) + [c_w(n) - c_w(k)] e^{-\mu t}, \quad (2.41)$$

где: $c_w(n)$, $c_w(k)$, $c_w(t)$ – начальное, конечное и к любому моменту значения пластичной связности грунта;

$\sigma(t)$ – напряжения на момент времени t ;

σ_{cm} – напряжения до начала сотрясения;
 γ_c - плотность воды;
 $h_z(t)$ – динамический напор, возникающий в процессе уплотнения грунта в условиях сотрясений, определяется в виде [12,с.23]:

$$h_{z,t} = \frac{v^2}{2k_\phi} L^2 t, \quad (2.42)$$

где: k_ϕ - коэффициент фильтрации грунта;
 L – активная зона, в пределах которой действует динамический напор;
 v – коэффициент динамического уплотнения, выражающий скорость уплотнения грунта, определяемый по выражению:

$$v = \frac{dn}{dt}, \quad (2.43)$$

где: n – пористость грунта.

Если обратить внимание на формулу (2.36) с учетом (2.39), то нетрудно заметить повышение (α_p) в процессе колебаний. Очевидно, такой случай имеет место за счет снижения сопротивляемости сдвигу согласно формулам (2.40) и (2.41).

Сопротивляемость сдвигу сыпучих (песок, гравий, галечник) грунтов зависит, в основном, от угла внутреннего трения и прямо пропорциональна величине внешней нагрузки. У связных (глинистые) грунтов эта зависимость достаточно сложна и во многом определяется влажностью грунта [61,с.24-56]. Часть нагрузки, действующая на связные грунты, воспринимается частицами, а другая – водой, находящейся в порах грунта. Увлажненные связные грунты, в основном, характеризуются наличием пластичной связности (c_w), имеющей водно-коллоидную природу. Структурное сцепление (c_c) встречается в твердой и полутвердой разновидностях связных грунтов. Н.Н.Маслов разделяет связные грунты на три вида:

1. Жесткие глины. К данному виду относятся глинистые грунты в твердом или полутвердом состояниях, образованные в третичном и частично четвертичном периодах (сухие лессовые грунты также в определенной степени могут быть отнесены к жестким)[66, с.23]. Плотность у них мало изменяется под внешней нагрузкой. У жестких глин угол внутреннего трения (φ) не зависит от влажности, а пластичная связность (c_w) настолько мала, что ее можно пренебречь в практических расчетах. В свете вышесказанного сопротивляемость жестких глин сдвигу можно выразить в виде:

$$S_{\sigma,w} = \sigma_{дин} tg \varphi + i c_w i. \quad (2.44)$$

Пластичные глины. Эти разновидности глинистых грунтов образованы в четвертичном периоде (водонасыщенные лессы также можно отнести к пластичным грунтам). У них полностью отсутствует структурное сцепление (c_c)

и незначительная величина угла внутреннего трения (φ). Сопротивляемость пластичных глин, в основном, характеризуется пластичной связностью (c_w). В условиях отсутствия внешней нагрузки сопротивляемость пластичных глин характеризуется состоянием плотности-влажности [67,68]. Это дает возможность выразить прочность пластичных глин в виде:

$$S = c_w. \quad (2.45)$$

Скрыто пластичные глины по прочности занимают промежуточное место между жесткими и пластичными глинами, и у них в сопротивляемости сдвигу участвуют все параметры прочности (φ, c_w, c_b). Сопротивляемость сдвигу этой разновидности глин описывается выражением (2.34).

Таким образом, в соответствии с классификацией Н.Н.Маслова при определении прочности глинистых грунтов следует исходить из частной разновидности грунта и его состояния. Это в свою очередь свидетельствует об ограниченности учета влияния внешней нагрузки на сопротивляемость сдвигу подобных грунтов.

2.4 Метод «Сейсмостойчивая крутизна откоса»

Обратимся в соответствии с рисунком 2.2. Рассмотрим состояние устойчивости малого объема толщиной z^1 , установленного на плоский откос с наклоном β .

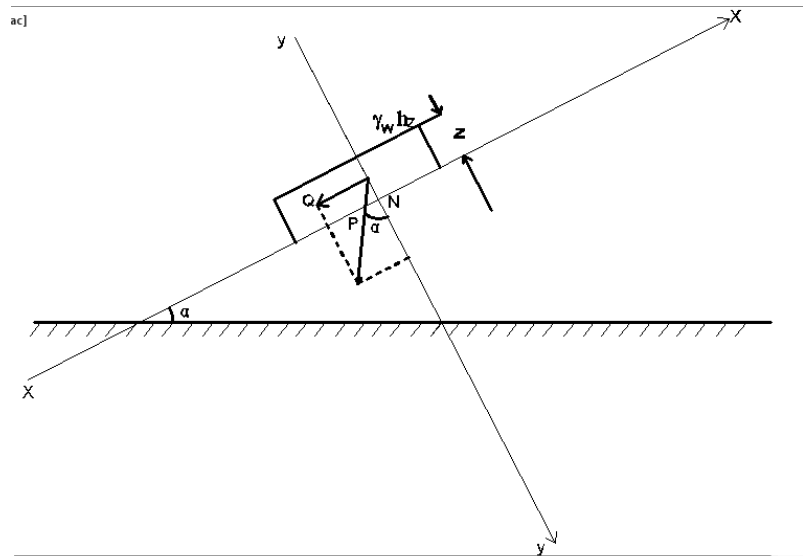


Рисунок 2.2-Расчетная схема для оценки степени устойчивости склона

Коэффициент запаса устойчивости k_3 выделенного объема можно выразить в виде:

$$k_3 = \frac{T}{Q}, \quad (2.46)$$

где: T - сила сопротивления сдвигу выделенного объема;

Q – сила, сдвигающая выделенный объем.

В соответствии с этим нарушение устойчивости откоса может произойти при следующих случаях:

1) повышение сейсмического касательного напряжения (τ_c);

или:

2) снижение сопротивляемости сдвигу грунта ($S_{\sigma, w}$).

В первом случае, относящееся к касательному воздействию землетрясение (τ_c), как известно, связано с природными условиями, в нашем случае выражается сейсмическим ускорением (α_c) по выражению (2.33) в виде:

$$\tau_c = \frac{\gamma_w}{\rho g} 2H\alpha_c, \quad (2.46^1)$$

или

$$\tau_c = 0,64 \gamma_w H k_c, \quad (2.47)$$

где: k_c – коэффициент сейсмичности.

Сопротивляемость сдвигу грунта под воздействием сейсмического ускорения α_c с учетом 2.35 и 2.38 для общего случая выражается в виде:

$$S_{\sigma, w} = \sigma_{дин} tg \varphi_{w+i c_v i}, \quad (2.48)$$

где: $\sigma_{дин}$ – динамические напряжения от внешней нагрузки и собственного веса грунта ($\sigma_{дин} = p + \gamma_w H$).

В случаях сотрясения в условиях $a_c > a_m$, имеем:

$$S_{\sigma, w}(t) = (\sigma_{дин} - \gamma_w h_{z,t}) tg \varphi_{w+i c_v i}. \quad (2.49)$$

При отсутствии внешней нагрузки на поверхности грунта, т.е ($p=0$):

$$S_{\sigma, w}(t) = (\gamma_w H - \gamma_w h_{z,t}) tg \varphi_{w+i c_v i}. \quad (2.50)$$

Отсюда, сейсмоустойчивая крутизна откоса в соответствии с выражением (2.46), обеспечивается при коэффициенте запаса:

$$k_3 = \frac{0,64 \gamma_w H k_c}{\sigma_{дин} tg \varphi_{w+i c_v i}}. \quad (2.51)$$

Обратимся повторно к рисунку 2.2. Если обозначим вес выделенного элемента через P , тогда сила Q , сдвигающая элемент, выражается в виде:

$$Q = P \cdot \sin \beta. \quad (2.52)$$

В то же время, сила T , обеспечивающая устойчивость откоса будет:

$$T = P \cdot \cos \beta. \quad (2.53)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} \varphi_w}{0,64 k_c} \left(\operatorname{tg} \varphi_w + \frac{c_v}{\gamma_w H} \right). \quad (2.60)$$

Известно, что в условиях сейсмического воздействия при $a_c > a_{кр}$ происходит изменение (уменьшение) прочностных показателей грунта за счет уменьшения связности $c_{w,t}$ и взвешивающего воздействия динамического напора $h_{z,t}$. Динамический напор, в определенных условиях, может оказать катастрофическое влияние на устойчивости откоса. Так, при условии $h_{z,t} = \sigma_{дин}$ величина $c_{v,t}$ также будет ближе к нулю. Такое, крайнее состояние свидетельствует о том, что любая крутизна откоса в рассматриваемых условиях не сможет обеспечить устойчивость сооружения, и в результате разжижения грунта образуются оползни, в определенных условиях громадных размеров, со всеми вытекающими отсюда последствиями (например, оползень плотины Форт Пек (США)).

Следует подчеркнуть, что выражения 2.49 и 2.50 описывают случай изменения общего сцепления ($c_{v,t}$) и возникновения динамического напора ($h_{z,t}$) в условиях $a_c > a_{кр}$ колебаний грунта. Однако, как было отмечено выше, такое положение редко имеет место в искусственных откосах, т.к. при возведении таких сооружений к ним предъявляется особое требование относительно плотности грунта. В таких случаях в формуле 2.50 следует рассмотреть параметры $c_{v,t} = c_v$ и $h_{z,t} = 0$. Такой случай, имеющий место в условиях $a_c < a_{кр}$, описывается формулой 2.60.

Следует отметить, что формула 2.60 составляет основу предлагаемого метода сейсмоустойчивой крутизны откосных сооружений. С ее помощью можно прогнозировать сейсмоустойчивость любого откоса в условиях воздействия землетрясений. Данный метод очень прост и удобен в практическом пользовании.

Ниже приводятся экспериментальные исследования факторов, определяющих сейсмоустойчивую крутизну откосных сооружений.

Выводы по разделу 2

1. Для целенаправленного достижения поставленной цели предложена рабочая гипотеза, в соответствии с которой сейсмоустойчивая крутизна откосных сооружений обеспечивается следующими внутренними как: вид грунта, его гранулометрический состав, плотность-влажность грунта, высота, методы возведения откоса, возможность разжижения грунта, а также внешними как: величина и характер (амплитуда, частота, период, длительность) динамического воздействия, внешней нагрузки и другими факторами.

2. На основе рассмотрения напряженного состояния грунтовой толщи из условия взаимодействия сейсмических волн и поверхности упругого полупространства получено выражение по определению касательных сейсмических напряжений в условиях плоской задачи.

3. Предложен метод «Сейсмоустойчивая крутизна откосных сооружений» на базе соотношения максимального сейсмического ускорения (α_c) и прочностных показателей грунта, сущность которого сводится к следующему:

- сейсмоустойчивая крутизна откоса α в первую очередь зависит от величины и составляющих действующего сейсмического ускорения, по мере возрастания которого снижается крутизна откоса;

- существенное значение в сейсмоустойчивости крутизны откоса имеет прочность грунтов ($\varphi, c, \dot{\epsilon}, v, t, \dot{\epsilon}$);

- напряжение ($\sigma_{дин}$, возникающее в толще от веса внешней нагрузки (p) и собственного веса грунта ($\gamma_w \cdot H$), также оказывает положительное влияние на сейсмоустойчивую крутизну откоса. По мере возрастания величины, ($\sigma_{дин}$ откос становится круче;

- динамический напор $h_{z,t}$ также влияет на устойчивость откоса в случаях, когда $h_{z,t} = \sigma_{дин}$ грунты в откосе полностью переходят в разжиженное состояние с возникновением оползней.

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА СЕЙСМОУСТОЙЧИВУЮ КРУТИЗНУ ОТКОСНЫХ СООРУЖЕНИЙ

3.1 Общие положения

Обратимся к выражению (2.59):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sigma_{\text{дин}}}{\gamma_w H}$$

В соответствии с этой формулой сейсмоустойчивая крутизна откосных сооружений $\operatorname{tg} \alpha$ определяется как внутренними: сил сцепления и трения (c, ν, φ_w), вертикальных составляющих напряжений ($\sigma_{\text{дин}}$), плотности грунта (γ_w), толщины основания (H), так и внешними: ускорения колебания (α_c) и его составляющих: амплитуды (A), частоты (f), периода (T) и т.п. факторами. Кроме того, если в случаях когда $\alpha_c > \alpha_{\text{кр}}$, то на крутизну откоса дополнительно влияет динамический напор ($h_{z,t}$), возникающий в этих условиях в результате уплотнения водонасыщенного грунта.

Настоящая глава посвящается экспериментальным исследованиям по оценке роли тех или иных вышеотмеченных факторов, влияющих на сейсмоустойчивую крутизну откосных сооружений.

Исследования направлены на обобщенное изучение следующих вопросов:

- определение степени влияния физико-механических и прочностных показателей грунта на крутизну откоса в условиях различных колебаний;
- изучение влияния динамической нагрузки и ее составляющих в отдельности, на крутизну модели откоса;
- сопоставление расчетных значений сейсмоустойчивой крутизны по формуле 2.28 с результатами экспериментальных исследований.

При обработке результатов исследований и определении осредненных значений показателей возникает вопрос о необходимом числе опытных образцов. Для этого существуют многочисленные теоретические более строгие статические методы установления осредненных значений какого-либо показателя. Среди них наиболее приемлемым для грунтов является упрощенный метод З.В.Пильгуновой [69, с.192], который использовался нами при обработке результатов испытаний.

Сущность метода состоит в следующем. По мере накопления опытных данных в обычной или полулогарифмической шкале строится график средних значений того или иного показателя, например, сопротивляемости грунта сдвигу при нагрузке $p = 3 \text{ кг/см}^2$, т.е. S_3 .

Средние значения показателя определяются при этом вначале из данных двух опытов, потом трех, четырех и т.д.

Как видно, в соответствии с рисунком 3.1, значения средних, т.е. при малом числе опытов, разброс средних значений S_3 резко уменьшается по мере увеличения числа опытов, и уже при 25 опытах и более изменение средних значений не выходит за пределы практических требований.

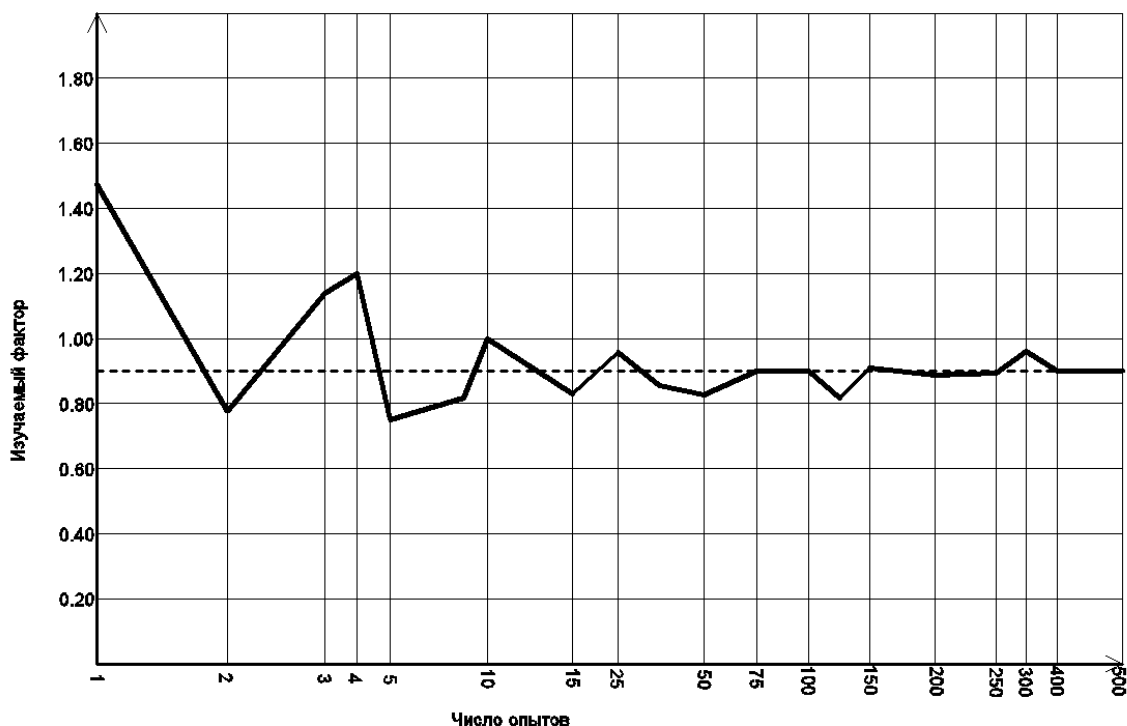


Рисунок 3.1-График средних значений для определения необходимого числа испытываемых образцов

Очевидно, что в данном случае мы имели все основания ограничиться при проведении опытов испытанием 25 образцов.

3.2 Грунты, вибрационная установка, измерительные приборы и методика исследований

При планировании экспериментальных исследований считаем целесообразным воспользоваться, в основном, пылеватыми и пылевато-глинистыми грунтами различного состава и свойства. Для этой цели были выбраны мелкопесчаные и лессовые грунты, как в чистом, так и смещенном виде. Грунты укладывались в откос с заранее назначенной плотностью – влажностью, создавались различные наклоны и подвергались вибрационному воздействию. Исследования проводились на вибрационной установке с горизонтально направленными колебаниями системы ТАСИ. Сконструированная Х.З.Расуловым (1982г.) вибрационная установка до настоящего времени служит в проведении различных динамических исследований с разными грунтами в условиях, заданных по интенсивности и характеру воздействующих колебаний. Данная установка позволяет проводить исследования с различными грунтами при динамических воздействиях широкого диапазона, сохраняя или изменяя воздействия в процессе опыта. Сейсмические ускорения, создаваемые установкой, соответствуют указаниям Госстандарта, согласно таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Ускорение грунта (при $T = 0,1 - 0,5$ с.) в процессе землетрясений

Балл	Ускорение (в единице g)
6	$0,025 < a_c \leq 0,05$
7	$0,05 < a_c \leq 0,1$
8	$0,1 < a_c \leq 0,2$
9	$0,2 < a_c \leq 0,4$

Характеристика грунтов, использованных в опытах. Физико-механические характеристики грунтов, различных по генезису, приведены в таблице 3.2. Как было отмечено выше, они состоят из песков, пылеватых супесчаных и суглинистых грунтов. В генетическом отношении они относятся пролювиальному, делювиальному и аллювиальному разновидностям.

Прочностные показатели исследованных грунтов: углы внутреннего трения в песках изменяются в пределах 28° - 42° , в глинистых разновидностях - 23° - 30° , а общие сцепления - от 0 до $0,4 \cdot 10^5$ Па.

Различия между показателями по плотности, пористости, трению и сцеплению обеспечивают широкое исследование над ними.

Таблица 3.2 - Физико-механические характеристики исследованных грунтов

Номер грунта	Название грунтов	Плотность скелета грунта, 10^4 кН/м ³	Плотность грунта, 10^4 кН/м ³	Пористость грунта, %	Коэффициент пористости ϵ	Природная влажность, %	Состояние влажности, %		Угол внутреннего трения, φ град	Общее сцепление , c_v 10^3	Гранулометрический состав грунта		
							W_0	W_k			$\leq 0,05$	0.05- 0.005	≤ 0.005
							1	лессовидные супеси			2.65	1.68	46.4
2	2.68	1.46	51.9	1.078	16.2	26.9	19.0		25	0.102	10.2	88.0	9.8
3	лессовидные суглинки	2.70	1.64	34.4	0.821	16.5	25.6	14.7	26	0.042	16.0	71.9	12.1
4	лессовидные супеси	2.70	1.58	53.7	0.864	12.7	27.6	19.0	23	0.179	12.18	56.7	31.12
5	лессовидные суглинки	2.69	1.61	49.8	0.963	14.0	27.2	19.9	19	0.67	29.25	67.7	3.05
6	лессовидные супеси	2.70	1.57	55.6	1.232	26.5	27.8	18.2	20	0.10	15.35	70.65	14.0
7	лессовидные суглинки	2.68	1.74	44.4	0.799	8.0	26.2	18.4	18	1.04	8.56	76.36	15.08
8	лессовидные супеси	2.66	1.84	47.5	0.810	29.2	26.9	19.2	26	0.075	14.1	82.7	3.2
9	лессовидные супеси	2.70	1.21	55.2	0.98	15.4	28.6	14.0	23	0.224	1.1	80.9	10.0
10	лессовидные суглинки	2.69	1.73	46.5	0.868	24.0	49.8	28.4	18	0.987	8.5	59.8	31.7

Вибрационная установка и другие оборудования. Одной из особенностей вибрационной установки является возможность создания необходимого ускорения за счет изменения одного из параметров колебаний (частота, амплитуда), сохраняя постоянство другого. При этом достигаются изменения частоты в пределах 1-10 Гц и амплитуды - 0,1 - 12 мм.

В соответствии с целью исследований, опыты были проведены ускорениями колебаний в пределах 0,005 - 0,8g путем изменения частоты в пределах 2-8 Гц и амплитуды 0,1-6 мм, что соответствует 6-9 баллам землетрясения.

Общий вид вибрационной установки иллюстрирован в соответствии с рисунком 3.2.



Рисунок 3.2-Общий вид вибрационной установки

Основными элементами вибрационной установки являются: вибрационная плита, кривошипно-шатунный механизм с эксцентричным илом, электродвигатель постоянного тока, сосуд для исследования модели откосов, устройства для нагружения поверхности откоса и т.п.

Основную часть оборудования составляет шарнирно закрепленная к установке вибрационная плита, которая соединена с электродвигателем с помощью кривошипно-шатунного механизма, что позволяет плите осуществлять гармонические колебания в горизонтальном направлении. Работа установки осуществляется последовательным соединением следующих элементов: электрическое снабжение – выпрямитель – лабораторный автотрансформатор – электрический двигатель мощностью 1 кВт. Равномерное

кручение электродвигателя достигается путем изменения напряжений в её цепи, которое выполняет лабораторный трансформатор.

Размер испытательного сосуда по низу -70×70см, высота 40см, опора 42см, оснащен специальными герметически закрываемыми отверстиями на верхней и нижней частях. Верхнее отверстие служит для выпуска излишних вод, а нижнее – для опорожнения сосуда после завершения очередного цикла опыта в соответствии с рисунком 3.3.

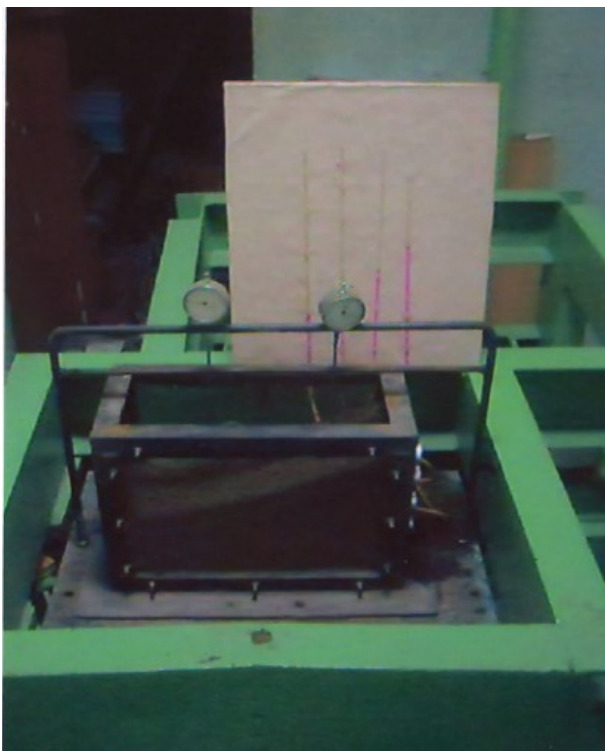


Рисунок 3.3-Опытный сосуд с пьезометрами и датчиками

В процессе опыта измерялись:

- а) интенсивность динамического воздействия;
- б) высота откоса в начале, в процессе и в конце опыта;
- в) показание реперов, установленных на разных глубинах откоса;
- г) динамический напор;
- д) фотографирование откоса вначале и в конце опыта.

Измерительные приборы. Измерение интенсивности динамического воздействия. В качестве интенсивности воздействия было принято максимальное сейсмическое ускорение [70].

Ускорение колебания и его составляющие (частота, амплитуда, период) регистрировались с помощью вибрационного комплекта К-001, состоящего из: тензометрических датчиков маятникового типа (И-001), регулирующего усилителя и гальванометра (М-002). Тензодатчик К-1000 позволяет измерять вибрационное воздействие в пределах: периода 0,005-0,5с, частоты 2-200 Гц и амплитуды (-1,0)–(+1,0). Эти показатели позволяют изменять ускорение колебаний до 0,8 g. С помощью регулирующего усилителя возможно увеличить

запись колебательного движения 30; 80; 200 и 500 раз и распечатать осциллографом Н-700 в соответствии с рисунком 3.4. Измерительные приборы).

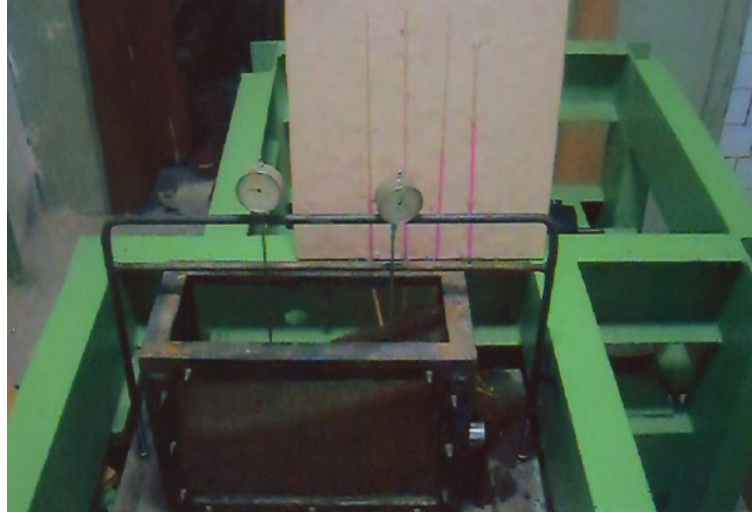


Рисунок 3.4-Испытание модели откоса

Практически все приборы и аппаратура, подлежащие использованию в опытах, подвергались предварительной тарировке. Доверительная запись вибрационного датчика К-001 по амплитуде 0,002-0,1 мм, периоду колебания 0,005-0,5с устанавливалась на вибрационной плите по центру опытного сосуда.

Запись движения вибрационной плиты велась непрерывно в течение 3 мин. после включения электродвигателя, затем 10-12с в течение каждой минуты. Одна из записей опыта представлена в соответствии с рисунком 3.5 (виброграмма установки).

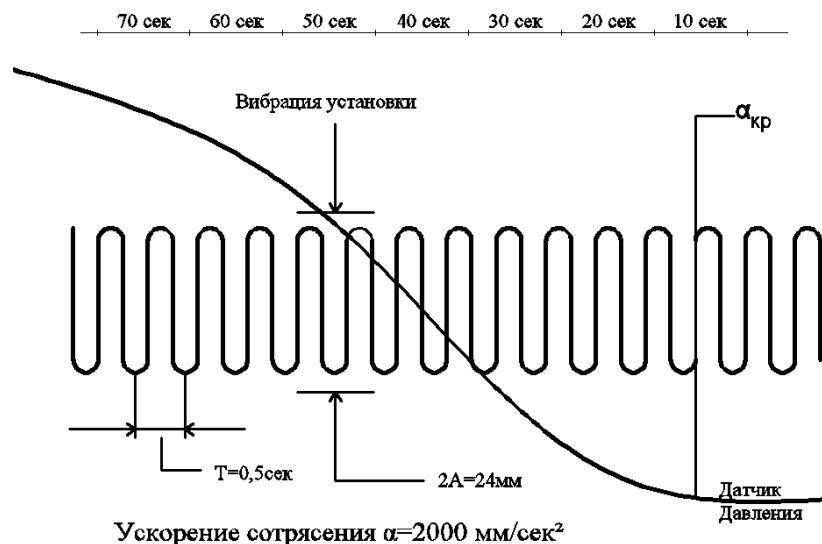


Рисунок 3.5-Виброграмма установки

Измерение крутизны откоса производилось с помощью наклонных линий и миллиметровых шкал, отмеченных на поверхности опытного сосуда.

Для регистрации устойчивости крутизны откоса в процессе колебаний использована методика, предложенная А.Х.Садыковым, заключающаяся в следующем [71]. Грунт с заданной плотностью - влажностью помещается в оснащенный пьезометрическими трубками опытный сосуд. В процессе укладки на поверхности грунта устанавливается репер, состоящий из перфорированной тонкой пластинки в соответствии с рисунком 3.6. Осадка репера фиксируется с помощью лабораторного индикатора часового типа с точностью до 0,01 мм.

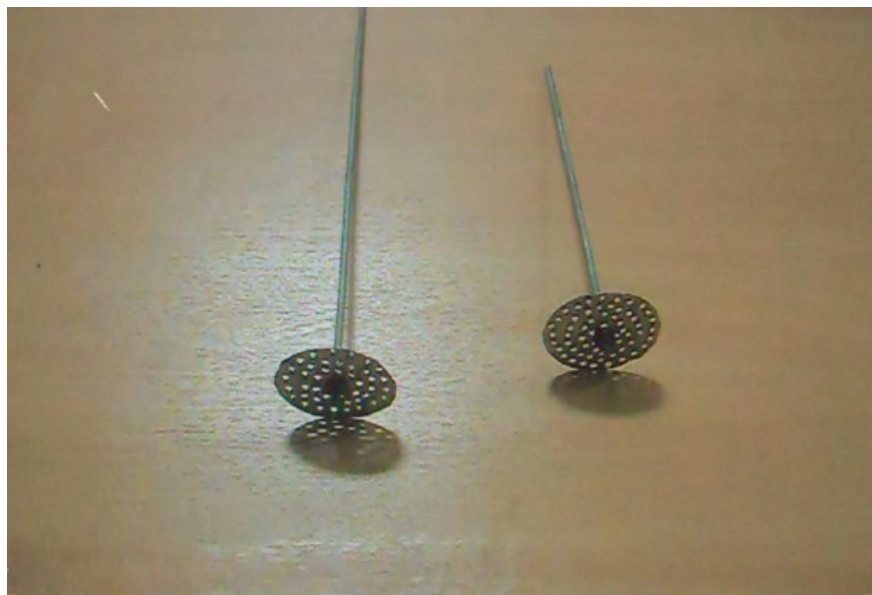


Рисунок 3.6-Реперы для фиксации осадки

После завершения подготовки к очередному циклу, вибрационная плита подвергается постепенно возрастающему колебанию. Определяется начало деформации откоса. Этот процесс фиксируется одновременно двумя дополняющими друг друга способами:

- начало подъема уровня воды в пьезометре;
- начало движения репера.

Величина колебания, соответствующая вышеописанным положениям репера и пьезометра, принимается за границу обеспечения устойчивости откоса, т.е. при колебаниях ниже этой величины откос сохраняет свою статическую устойчивость и одновременно выше которой начинается нарушение устойчивости откоса.

3.3 Факторы, влияющие на сейсмоустойчивую крутизну откоса

3.3.1 Внутренние факторы

Плотность грунта. Опыты, проведенные на лессовых и песчаных откосах при различных динамических воздействиях, показали прямую зависимость крутизны откоса от плотности грунта. В соответствии с рисунками 3.7, 3.8 и 3.9 иллюстрированы результаты опытов в виде функции $\text{tg } \alpha = f(n)$. В рисунке 3.7, составленного на основе таблицы 3.3, изображены зависимости $\text{tg } \alpha = f(n)$ для

грунтов, пронумерованных № 1,3 и 6, на которых пористость грунта характеризует состояние плотности конкретного грунта.

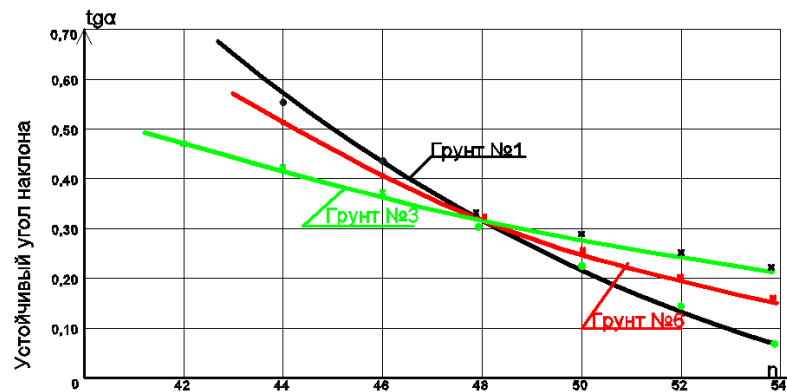


Рисунок 3.7-График зависимости устойчивой крутизны откоса от пористости грунта

Таблица 3.3 - Обобщенные сведения о зависимости устойчивой крутизны откоса от плотности грунта

Грунт	Пористость грунта, %						
	42	44	46	48	50	52	54
№ 1	-	0,56	0,44	0,32	0,20	0,13	0,08
№3	0,48	0,44	0,38	0,34	0,33	0,22	0,21
№6	-	0,52	0,40	0,32	0,25	0,20	0,17

Следует отметить, что данные в соответствии с рисунком 3.7, нельзя распространять к другим аналогичным грунтам, т.к. пористость в данном случае относится только к рассматриваемому грунту. В этом отношении более общим являются данные в соответствии с рисунком 3.8, где плотность грунта выражена через относительные величины, что вполне возможно распространение его на другие аналогичные грунты [72].

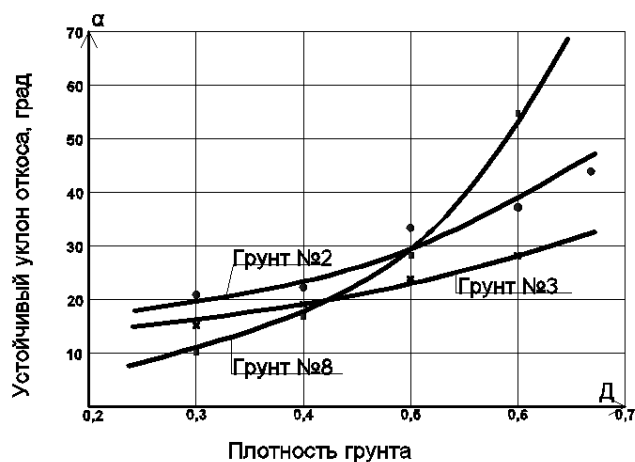


Рисунок 3.8-Зависимость устойчивого уклона откоса от относительной плотности лессовых грунтов

Зависимость крутизны откоса от относительной плотности грунта, получила отражение в рисунке 3.9, которое можно распространить также и для песчаных грунтов. Данный график дает возможность оценить сейсмостойчивость откоса не только от плотности грунта, но и от способности уплотнения грунта под динамической нагрузкой.

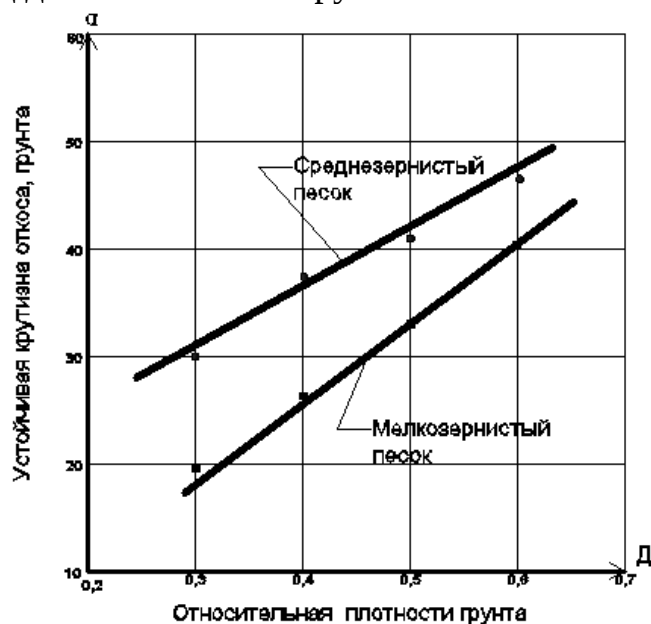


Рисунок 3.9-Зависимость устойчивой крутизны откоса от относительной плотности песчаных грунтов

Общеизвестным является связь плотности грунта с его прочностными показателями. Существенное влияние прочностных показателей грунта (угол внутреннего трения φ и сцепления c) на устойчивость крутизны откосов было установлено нашими исследованиями в соответствии с рисунком 3.10. Эти опыты проводились сотрясением различных грунтов. Достигнутая при одном цикле опыта плотность грунта, послужила в качестве начальной плотности для последующего цикла. Само собой разумеется, что для разрушения откоса, состоящего из грунтов с плотностью второго цикла, требуется больше, чем в предыдущем цикле, динамическая нагрузка. Циклы продолжались до ускорения 2800-3200 мм/с² (8 балл.). Каждый раз перед очередным циклом с помощью кольца брали образец для определения прочностных показателей грунта.

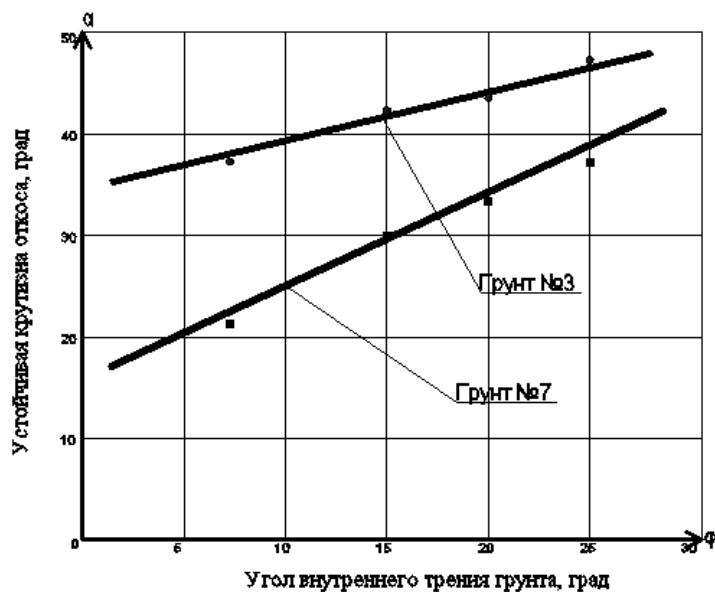


Рисунок 3.10-Зависимость устойчивой крутизны откоса от угла внутреннего трения грунта

Когда вопрос касается зависимости $tga = f(n)$, следует обратить внимание на следующее. В опытах на лессах с различными генетическими происхождениями (эол, делювий, пролювий), величина tga была различной, несмотря на близкую начальной плотности грунта при одинаковых сотрясениях. Значение tga при этом уменьшалось по мере увеличения глинистых частиц в составе грунта, что свидетельствует о большей динамической устойчивости грунтов, содержащих в своем составе глинистые частицы. Очевидно, что это связано с повышением сил связности грунта по мере увеличения глинистых частиц, и отсюда возрастание прочностных показателей грунта. Аналогичный вывод можно сделать и относительно мелких пылеватых частицах (0,01 - 0,005 мм) также в соответствии с рисунком 3.11.

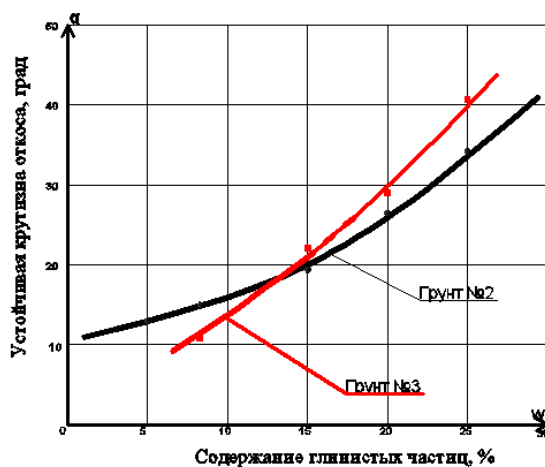


Рисунок 3.11-График зависимости устойчивой крутизны откоса от содержания глинистых частиц в грунте

Влажность грунта. Результаты опытов также показали зависимость крутизны откоса от влажности грунта (таблица 3.4).

Таблица 3.4 - Изменение крутизны откоса от влажности грунта при $a_c = 2880 \text{ мм/с}^2$

Грунт	Влажность грунта, %						
	5	10	15	20	25	30	35
№2	0,63	0,41	0,25	0,17	0,13	0,12	0,72
№8	0,54	0,49	0,35	0,34	0,37	0,34	-

О различии динамической прочности грунта в зависимости от его влажности было высказано ранее [71,с.12;73,74]. В связных грунтах всякое дополнительное увлажнение способствует снижению пластичной связности грунта и это в свою очередь оказывает влияние на крутизну откоса в соответствии с рисунком 3.12.

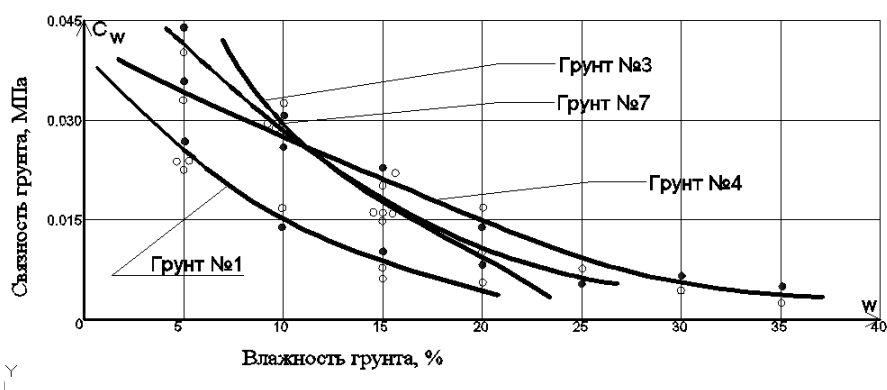


Рисунок 3.12-Зависимость вида $C_w = f(w)$ для исследованных грунтов

Было также установлено влияние влажности, наряду с пластичной связностью, и на угол внутреннего трения грунта в соответствии с рисунком 3.13.

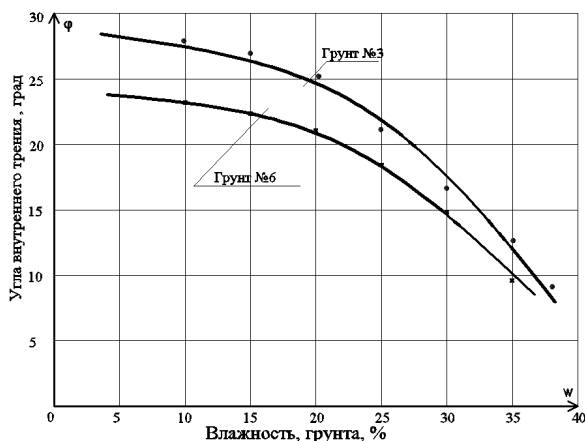


Рисунок 3.13-Изменение угла внутреннего трения в зависимости от влажности грунта

Экспериментальные исследования, проведенные для изучения роли влажности на устойчивость крутизны откоса показали, что повышение влажности всегда способствует изменению прочности грунта. Существенному изменению при этом подвергается пластичная связность грунта, что дает возможность заключить о том, что прочность грунта в составе откоса в основном определяется величиной пластичной связности (c_w), зависящей от влажности грунта.

Обобщенная зависимость устойчивой крутизны откосов при различных влажностях лессовых грунтов приведена в таблице 3.5, по которой можно проследить существенное влияние влажности грунта на крутизну откоса. В общем случае устойчивость крутизны откоса, кроме плотности и влажности грунта, зависит также и от других факторов. Среди них важное место принадлежит сцеплениям (c_w, c_c) и внешней нагрузке по откосу.

Таблица 3.5 - Влияние влажности лесса на крутизну откоса (по данным Садыкова А.Х.)

Грунт	Внешняя нагрузка, МПа	Ускорение колебания, мм/с ²	Влажность грунта, %	Уклон устойчивого откоса, tga
2	0.03	3000	11,5	0,38
2	0.03	3000	16.0	0,26
2	0.03	3000	24.2	0,18
8	0.03	3400	14.9	0,42
8	0.03	3000	20.0	0,37
8	0.03	3000	28.5	0,23

В рисунке 3.14 иллюстрирована устойчивая крутизна откоса по отношению к динамическим воздействиям.

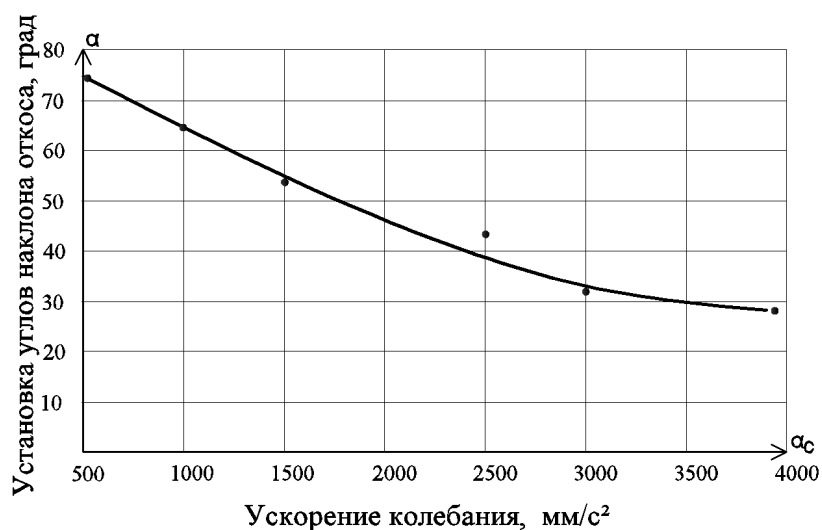


Рисунок 3.14-Зависимость устойчивой крутизны откоса от ускорения колебания

Здесь уместно отметить, что однородные лессовые грунты, представленные пылеватыми частицами, характеризуются малой крутизной по сравнению с аналогичными грунтами неоднородного состава [75].

Как было отмечено выше, основным фактором, обеспечивающим прочность таких грунтов в увлажненном состоянии, является пластичная связность (c_w), которая формируется благодаря внутренним и внешним воздействиям внутри породы.

Пластичная связность лесса определялась по методу «шариковой пробы» Н.А.Цытовича [68, с.102].

Многочисленные опыты, проведенные Н.Н.Масловым [9,с.103], Н.А.Цытовичем [68, с.104], Х.З.Расуловым [12, с.106] и др., показали, что пластичная связность в лессах может изменяться в зависимости от увлажнения грунта. Это обстоятельство показано в соответствии с рисунком 3.15 в виде зависимости $c_w=f(w)$. Как показывает график, любое повышение влажности грунта способствует уменьшению величины (c_w), что в свою очередь увеличивает деформацию грунта.

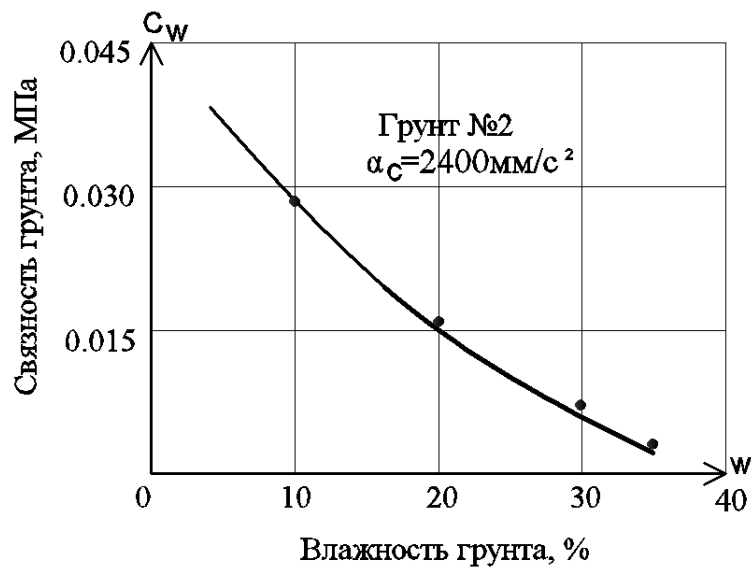


Рисунок 3.15-Зависимость вида $c_w=f(w)$ для лессового грунта №2

Величина пластичной связности с помощью шариковой пробы подсчитывается по формуле [76]:

$$c_w = 0,18 \frac{P}{\pi dl} \quad (3.1)$$

где: P - вес шарика вместе с пригрузкой;

d - диаметр шарика;

l - осадка шарика.

Одним из основных требований при использовании формулы 3.1 является соблюдение условий $l/d \leq 0,1$.

В проведенных опытах на базе метода «шариковой пробы» была использована следующая методика [77]:

1. Каждый раз отбирались пробы образца–близнецы в случаях не нарушенной структуры грунта или подготавливались два идентичных образца в случае нарушения структуры грунта. После обжатия грунта до необходимой плотности, на одной из них определялась начальная величина пластичной связности грунта $(c_{w(H)})$.

2. Вторая проба до обжатия помещалась в паровую ванну и придерживалась до приобретения требуемой влажности, затем определялась $c_{w(x)}$, соответствующей данному условию. Опыт повторяется применительно к 3-4 состояниям влажности.

Известно, что повышение влажности всегда связано с переходом грунта из одного (например, из пластичного в текучее) состояния в другое. Это, в свою очередь способствует ослаблению связности грунта до определенного момента, а затем происходит постепенное возрастание (c_w) за счет увеличения плотности грунта в соответствии с рисунком 3.16.

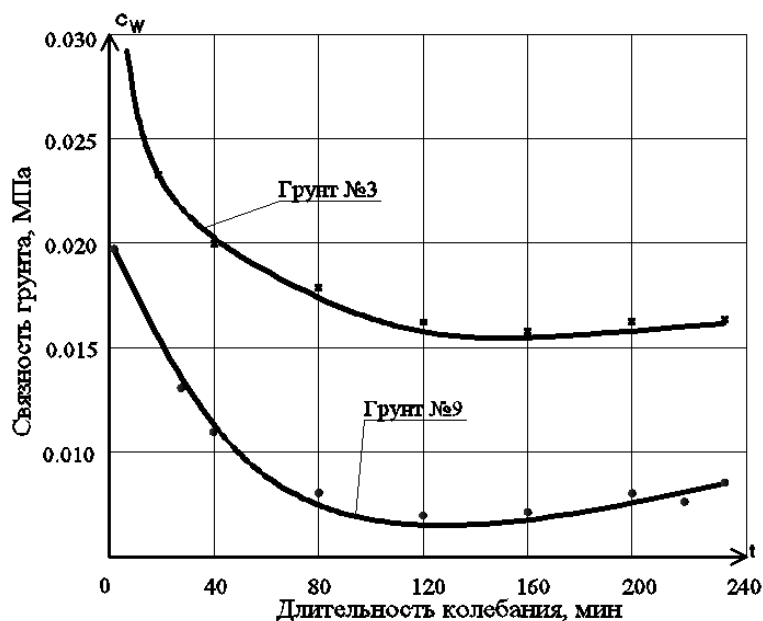


Рисунок 3.16-Характер изменения связности грунта во времени в процессе колебаний с ускорением $a_c=2000\text{мм/с}^2$

В соответствии с рисунком 3.16, по мере повышения влажности суглинистого грунта наблюдается снижение пластичной связности почти в два раза в течение 1,5÷2 часа. По истечении 10-12 часов наблюдается постепенное возрастание значения (c_w) . Это обстоятельство, по-видимому, связано с восстановлением течения времени разрушенной связности грунта.

Снижение начальной связности $(c_{w(H)})$ лессовых грунтов при сотрясении хорошо согласуется с эмпирической формулой Х.З.Расулова [76, с.49]:

$$c_w(t) = c_{w(k)} + [c_{w(H)} - c_{w(k)}] e^{-\mu t}, \quad (3.2)$$

где: $c_{w(H)}, c_{w(k)}, c_w(t)$ - пластичные связности, соответствующие начальному, конечному и любому моменту времени (t) ;

μ - определяемый опытным путем показатель, характеризующий состояния грунта, имеет соразмерность обратного времени, т.е. $1/t$.

Проведенные опыты показали снижение крутизны откоса по мере повышения влажности грунта. В то же время любое снижение крутизны откоса связано с увеличением объема строительных работ.

Угол внутреннего трения. Известно, что внутренние трения в грунтах обуславливаются в основном шероховатостью поверхности частиц. В результате соприкосновения и прижатия одной частицы к другой под воздействием внешней нагрузки или собственного веса грунта между ними возникают силы трения, сопротивляющиеся сдвигу частиц. Поэтому внутреннее трение оценивается вместе с сцеплением как показатель, обеспечивающий прочность грунта на сдвиг. По известным данным, величина внутреннего трения определяется формой поверхности частиц, внешней нагрузкой и составом (гранулометрическим) грунта.

Еще в 50-годах прошлого столетия проф. Н.Н.Маслов, изучая динамическую устойчивость песков, отмечал существенную роль формы поверхности частиц в устойчивости грунта [3, с.110]. Данный вопрос изучался и в дальнейшем многими исследователями [77, с.503;78-79], которые наряду с формой частиц, отмечали также роль гранулометрического состава грунта в динамической устойчивости структуры грунта.

На основании прежних выводов о положительной роли формы и грансостава в динамической устойчивости песка, мы проводили ряд опытов для выяснения этого обстоятельства в лессовых грунтах. Для этого были выбраны грунты за номерами 2, 5 и 8. Ввиду того, что эти грунты относились к различным происхождениям по генезису, (например, грунт (2) – аллювиальный, (5) - делювиальный и (8) - пролювиальный, шероховатость их поверхности была различной. Среди них грунт 5 характеризовался сравнительно гладкой поверхностью частиц, а грунт 8, наоборот, неровностью.

В соответствии с рисунком 3.17 иллюстрирована зависимость устойчивого откоса от формы поверхности частиц грунта. Как видно из рисунка, при одинаковых условиях колебаний, динамическая устойчивость откоса повышается с возрастанием шероховатости частиц грунта, что явствует из сравнительно высокого наклона откоса у пролювиального грунта, чем делювиальный.

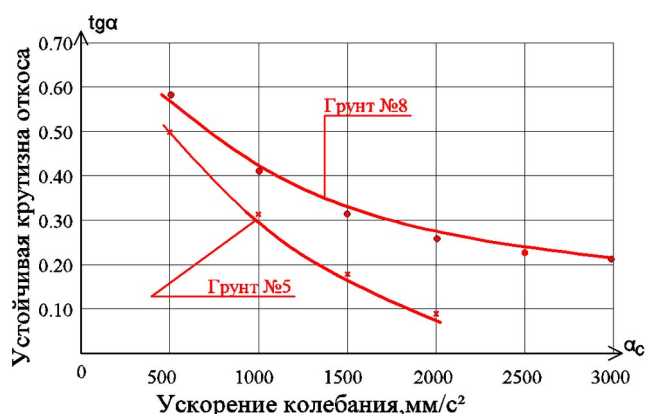


Рисунок 3.17-Зависимость устойчивой крутизны от откоса из грунтов 5 (окатанный) и 8 (не окатанный) от ускорения колебаний

Для выяснения роли гранулометрического состава грунта в устойчивой крутизне откоса были выбраны грунты различной крупности и состава. Из них грунты 2 и 7 представлены в природном залегании и два других 2^а и 7^а искусственно изготовлены на их базе с добавлением частиц различной крупности.

Следует отметить, что в составе природных лессов пылеватые частицы составляют 76,36-88%. Оставшаяся часть состоит из мелких песков и глинистых частиц. По гранулометрическому составу лессовые грунты считаются однородными. В отличие от них искусственно приготовленные грунты состоят из смеси различных фракций. Например, в составе грунта 7^а пылеватые частицы - 31%, мелкозернистые и тонкозернистые пески - 40%, среднезернистые пески - 17%, крупнозернистые пески - 14%, и оставшуюся часть составляют глинистые частицы. Этот грунт по гранулометрическому составу относится к неоднородному.

Роль внутреннего трения в динамической устойчивости откоса значительна, и она наблюдалась при первых же опытах, проведенных с различными песчаными грунтами (таблица 3.6).

Таблица 3.6 -Зависимость устойчивого наклона откоса от сил внутреннего трения грунта

Грунт	Угол внутреннего трения, град					
	34	36	38	40	42	44
Песок(п=41,7%)	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,46
Песок(п=46,4%)	0,22	0,28	0,30	0,31	0,33	0,36

В соответствии с рисунком 3.18 в качестве примера приводятся результаты опытов на грунтах с различными составами. Как следует из рисунка, откосы из природных грунтов (2 и 7) однородного состава характеризовались меньшей динамической устойчивостью, чем откосы из искусственно приготовленных грунтов (2^а, 7^а) неоднородного состава. Кроме того, нетрудно заметить

сравнительно высокую начальную пористость однородного лесса по сравнению с разнородным.

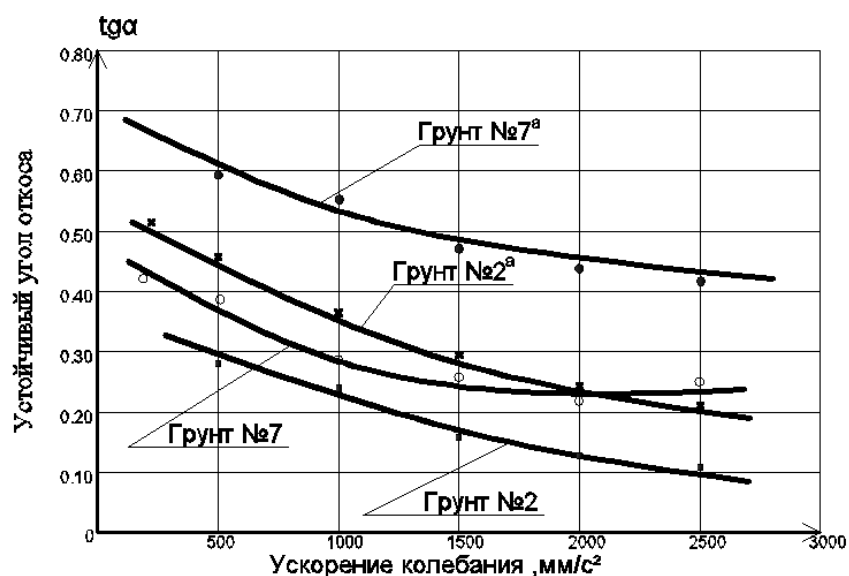


Рисунок 3.18-Изменение устойчивого угла откоса из грунтов 2,7 (однородный состав) и 2^a-7^a, (неоднородный состав) при колебаниях с различными ускорениями

Опыты также показали сравнительно меньшую роль силы внутреннего трения в прочности грунта по сравнению сил сцепления в соответствии с рисунками 3.19 и 3.20, что еще раз доказывает преимущественную роль сил сцепления в обеспечении динамической устойчивости откосов.

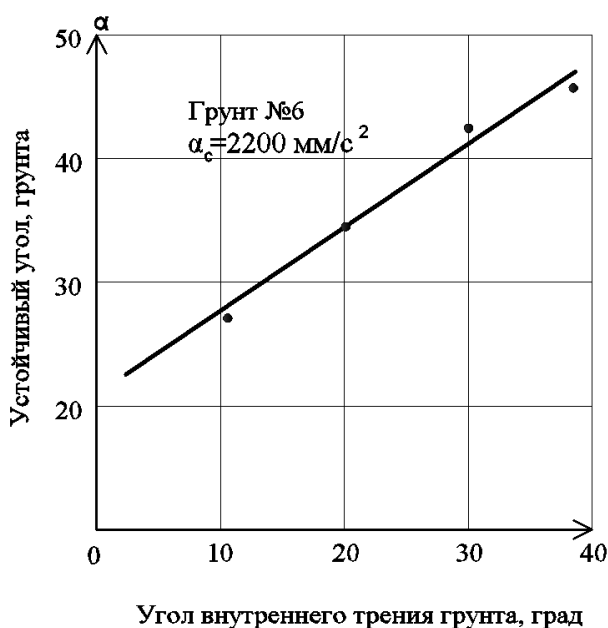


Рисунок 3.19-Характер зависимости устойчивого откоса от угла внутреннего трения

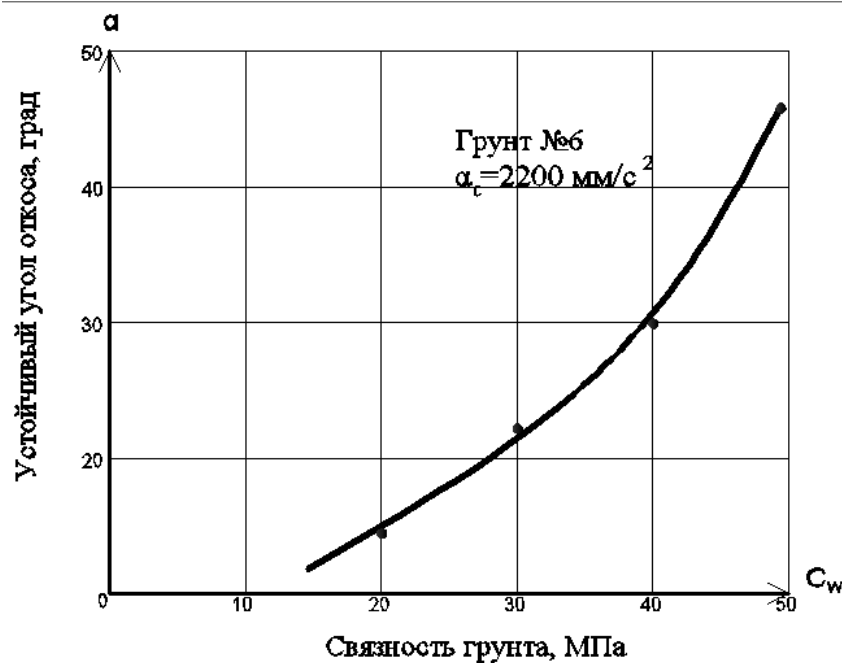


Рисунок 3.20-Характер изменения устойчивого угла откоса в зависимости от связности лессового грунта

Сцепление грунта. В 70-годах прошлого столетия Х.З.Расуловым была установлена различная скорость уплотнения (коэффициент динамического уплотнения) у грунтов, имеющих одинаковую плотность. Такое обстоятельство было объяснено природой связности грунта [80]. Так, было отмечено, что коэффициент динамического уплотнения, характеризующий скорость уплотнения грунта при сотрясении в сухих лессах, в основном, зависит от прочности связей, плотности и величины динамической нагрузки. У водонасыщенных лессов это обстоятельство оказалось намного сложнее, и главными являются факторы, определяющие прочность грунта. Степень уплотнения при этом зависит от разрушения во времени прочностных показателей грунта, что нередко наблюдалось в проведенных исследованиях на различных лессовых грунтах.

Одним из основных положений предложенной гипотезы о сейсмоустойчивой крутизне откоса, является формирование прочности грунта с сдвиговыми напряжениями, возникающими в грунтовой толще при распространении сейсмических волн. В таком случае нарушение устойчивости откоса происходит за счет снижения прочностных свойств грунта в рассматриваемых условиях. Устойчивость колеблющейся лессовой толщи, как было отмечено выше, в большей степени зависит от прочности сцепления грунта. В соответствии с этим можно предположить, что пока сохраняется сцепление грунта без изменения, откос будет колебаться с устойчивым наклоном. В этих условиях осадка грунта начинается только после нарушения силы сцепления.

Нами проведены ряд опытов, цель которых заключалась в выяснении зависимости между устойчивой крутизной откоса и сцеплением грунта.

Согласно выражению 2.38 сцепление грунта рассматривается как состоящее из двух видов: жесткое структурное сцепление кристаллического характера c_c , формирующее жесткое свойство грунта и пластичная связность, которая придает грунту пластичное свойство. Структурное сцепление (>5 МПа) после разрушения обратно не восстанавливается. Они в основном встречаются в скальных породах. По утверждению проф. Н.Н.Маслова, структурное сцепление возникает благодаря ионных связей на поверхности грунтовых частиц. Структурное сцепление, кроме скальных, может встречаться и в других грунтах, в плотном и маловлажном состоянии.

В сухих лессах структурное сцепление встречается в виде кристаллических солей, будучи неустойчивым по отношению к воде эти солевые связи в определенной степени придают сухим лессам свойства твердости. Этим и объясняется выдерживания вертикальных откосов лессов в сухом состоянии. Характерной особенностью динамического нарушения структуры сухих лессов является кратковременное завершение уплотнения.

Пластичная связность (c_w), представляющая вторым типом сцепления, свойственна всем глинистым грунтам (в т.ч. лессовым) в увлажненном состоянии. Пластичные связности в отличие от структурного сцепления имеют обратимый характер, т.е. после разрушения быстро восстанавливаются. Их природа обусловлена молекулярными силами притяжений в водных оболочках грунта. Поэтому эти силы связности придают грунтам водно-коллоидные свойства. Структурные особенности пластичных связей изучались многими специалистами [68,с.111;81-86]. Среди них заслуживает внимания электрокинетическая теория образования пластичных связей, предложенная Н.А.Цитовичем, согласно которой силы взаимного притяжения частиц грунта зависят от толщины водной оболочки частиц, и любое дополнительное увлажнение приводит к утолщению водных оболочек, снижая при этом силы молекулярного притяжения частиц. В результате этого частицы грунта отдаляются друг от друга, освобождаясь от сил молекулярного притяжения, что ослабляет пластичные связности.

Опыты, проведенные с водонасыщенными лессами, показали продолжительный процесс уплотнения грунта. Причем начало уплотнения происходит не сразу, а проявляется по истечении 20-30 с после приложения к грунту динамической нагрузки в соответствии с рисунком 3.21. Данный график составлен на основе таблицы 3.7, и соответствует колебаниям в пределах 3000-3200 мм/с², превышающих критические ускорения для данных грунтов ($a_{кр} = 1150-2300$ мм /с²).

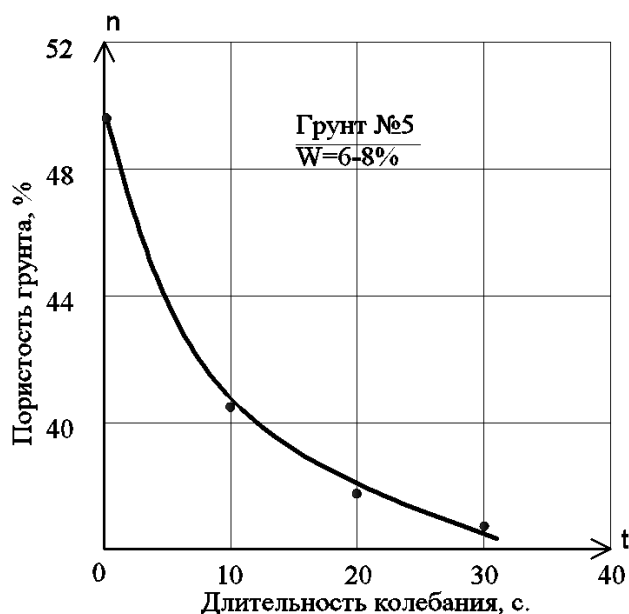


Рисунок 3.21 - Изменение пористости сухого грунта в процессе колебания при $\alpha_c=2200\text{мм/с}^2$

Таблица 3.7 - Уплотнение лёссовых грунтов различной пористости в условиях длительного колебания ($a_c = 3000 - 3200 \text{ мм/с}^2$)

Начальная пористость грунта, %	Длительность колебания, с							
	10	20	30	40	50	60	70	80
45,8	-	-	-	44,4	43,9	43,0	42,3	42,1
50,2	-	-	46,2	45,7	45,1	44,0	43,7	43,2
51,6	-	49,1	47,1	45,0	44,6	44,5	43,3	42,6

В соответствии с рабочей гипотезой, положенной в основу настоящих исследований, нарушение устойчивости откоса в условиях динамических воздействий происходит только после нарушения общего сцепления грунта, а в увлажненных лессах - пластичной связности.

В таком случае может возникнуть предположение о значительном влиянии влажности грунта при нарушении структуры увлажненных лессов. Взаимосвязь между влажностью и связностью в увлажненных лессах вытекает из следующего соображения. Известно, что изменение влажности в условиях сотрясений обычно происходит за счет вытеснения воды в процессе уплотнения частиц грунта. В то же время уплотнение грунта может произойти только лишь после нарушения структуры грунта. И, наконец, прочность структуры, обуславливаемая силами связности, зависит от влажности грунта.

Зависимость между устойчивой крутизной откоса и связностью грунта определяется в соответствии с рисунками 3.22 и 3.23.

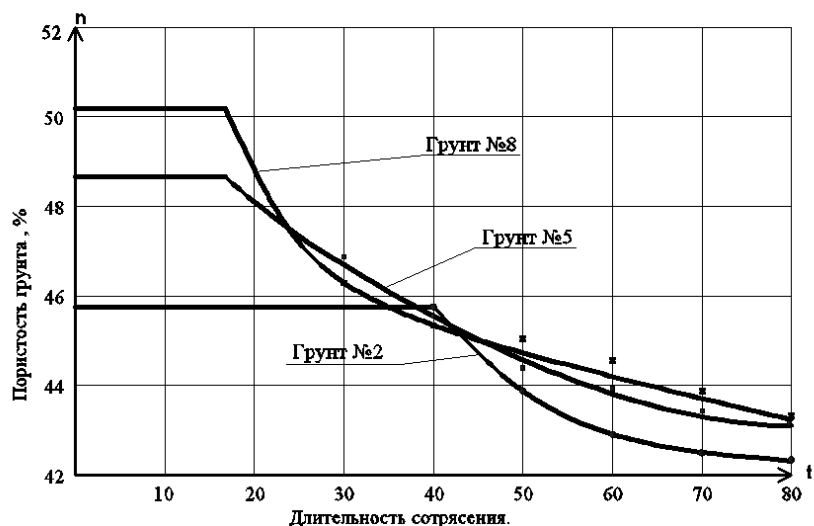


Рисунок 3.22-Характер изменения плотности увлажненных лессов во времени при $\alpha_c=2000-3000 \text{ мм/с}^2$

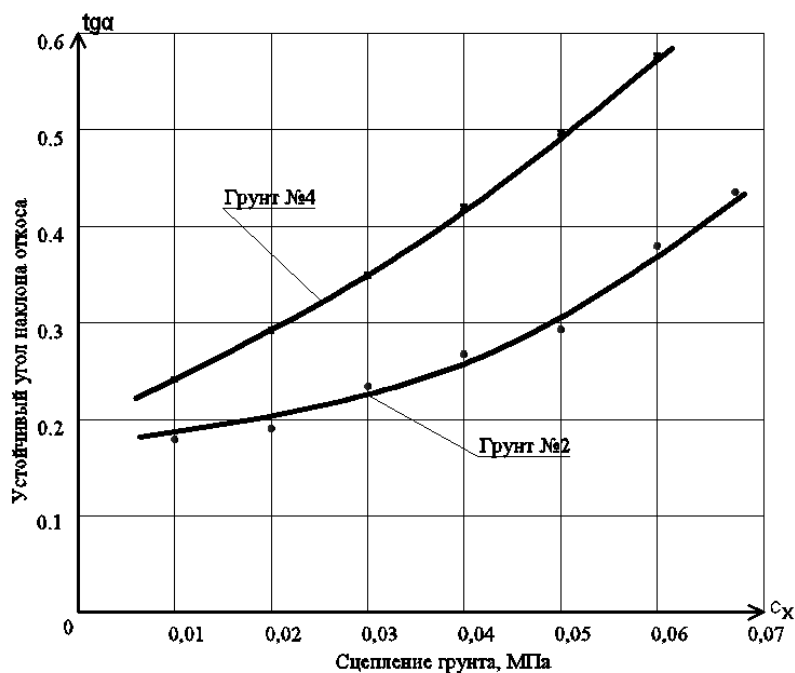


Рисунок 3.23-Зависимость устойчивого угла наклона откоса от сцепления грунта

В соответствии с рисунком 3.22 отражены колебания лессовых грунтов, пронумерованных 2,4 при ускорении 3000 мм/с^2 . В данном случае различные значения сцеплений получены путем повышения плотности грунта предварительным вибрированием образца. Как видно из таблицы, повышение сцепления грунта влечет за собой уменьшение крутизны откоса. Имеющий большое практическое значение, такой вывод получил своё подтверждение во многих опытах в соответствии с рисунком 3.23, таблицей 3.8.

Таблица 3.8 –Зависимость устойчивой крутизны откоса от сцепления грунта

Грунт	Общее сцепление, МПа						
	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07
№2	0,19	0,20	0,24	0,27	0,29	0,36	0,45
№4	0,25	0,30	0,35	0,41	0,48	0,58	-
№5	0,13	0,16	0,18	0,22	0,32	0,37	0,50
№7	0,09	0,14	0,21	0,31	0,40	0,47	0,60

Следует заметить, что любое повышение сцепления грунта способствует уменьшению крутизны откоса, благодаря возрастанию прочности грунта (критического ускорения) в этих условиях в соответствии с рисунком 3.24. На этом рисунке явно прослеживается роль сцепления грунта в устойчивой крутизне откоса.

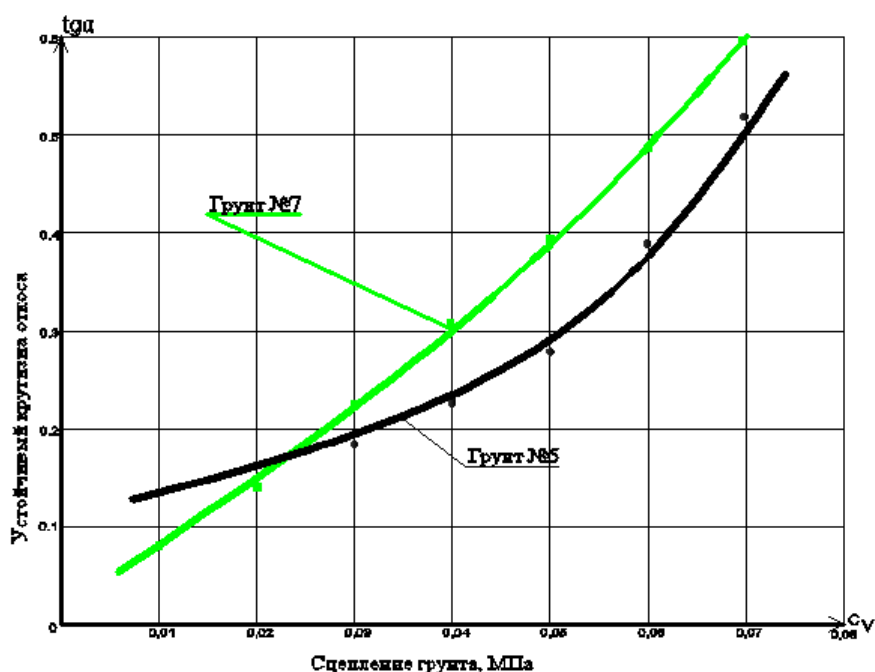


Рисунок 3.24-Зависимость устойчивой крутизны откоса от сцепления грунта

Повышение устойчивости крутизны откоса по мере увеличения глинистых частей в составе грунта было отмечено выше. Это обстоятельство получило неоднократное подтверждение в наших опытах, проведенных на искусственно созданных грунтах с различным количеством глинистых частиц.

Результаты опытов на грунтах, содержащих в различном количестве глинистые частицы, отражены в соответствии с рисунком 3.25. Так, например, откос, содержащий глинистые частицы 31,9% намного круче, чем откос с глинистыми частицами 15,08%. Аналогичный случай был иллюстрирован выше в рисунке 3.10.

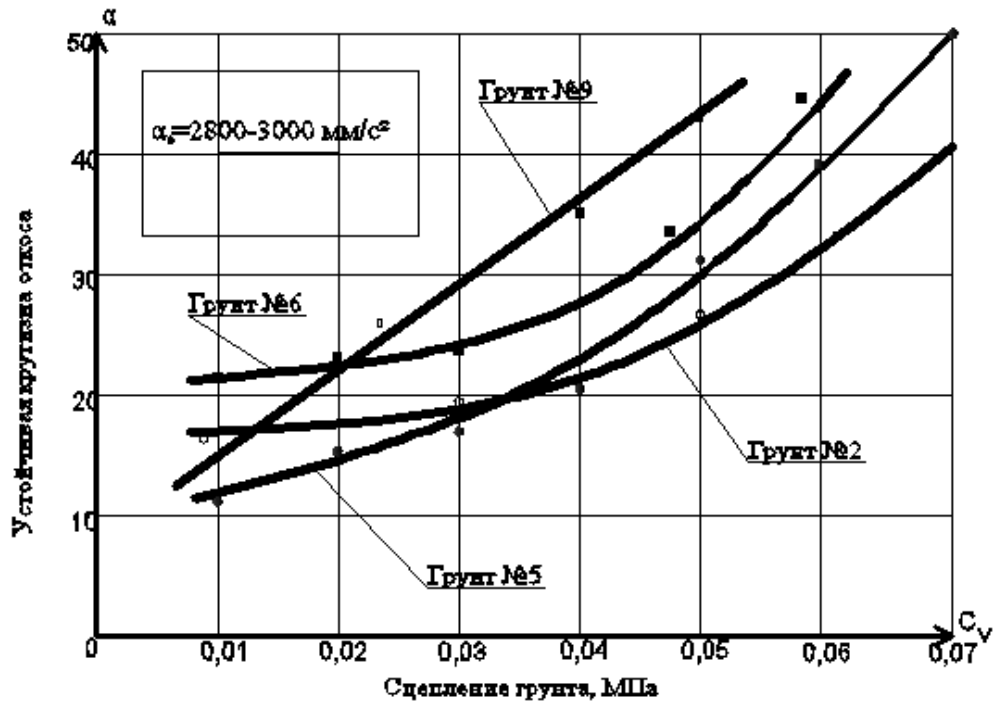


Рисунок 3.25-Обобщенный график зависимости устойчивого откоса от сцепления грунта

Анализ результатов исследований диктует об индивидуальном подходе к изучению устойчивости откосов в каждом частном случае в отдельности, с учетом составляющих откос грунтов, их гранулометрического состава, сил трения и сцепления и т.п. Аналог при этом не допускается.

3.3.2 Внешние факторы

Внешняя нагрузка. В наших исследованиях также было уделено внимание на роль внешней нагрузки в устойчивой крутизне откоса. Вопрос влияния внешней нагрузки на динамическую устойчивость грунтов был объектом исследований П.Л.Иванова [41, с.112], Н.Н.Маслова [3, с.115], Х.З.Расулова [10, с.105], Н.В.Seed [4, с.120], Yu P, Richart F.E. [87], Kokusho T. [88], Л.А.Эйслер [58, с.114], Ю.П.Шкицкого[29, с.122] и др. Они придерживались единого мнения в запросе о линейной зависимости между динамической устойчивостью грунта и внешней нагрузкой. Так, в работе [89] эта зависимость представлена в виде:

$$a_{кр} = a_{кр}^0 + a p_0, \quad (3.3)$$

здесь: $a_{кр}^0$ – критическое ускорение на поверхностном слое грунта;

p_0 – давление от внешней нагрузки;

a – коэффициент, зависящий от прочности грунта.

Зависимость критического ускорения от внешней нагрузки показана в рисунке 3.26.

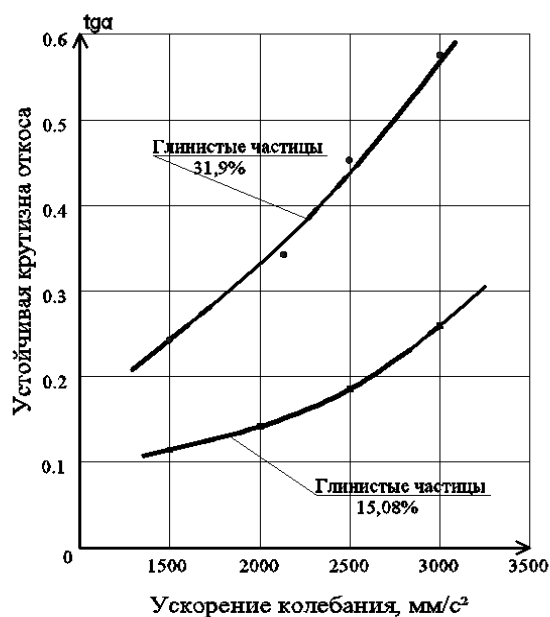


Рисунок 3.26 - Зависимость вида $tg\alpha=f(\alpha_c)$ для грунтов с различными содержаниями глинистых частиц

Исследования Н.Н.Маслова на водонасыщенных песках показали, что вес сухого грунта над водонасыщенным грунтом также оказывает влияние на внешнюю нагрузку. Аналогичный вывод был зафиксирован П.Л.Ивановым при проведении опытов на водонасыщенных крупнозернистых грунтах. В дальнейшем такой вывод был получен Vitman va Ortokozade Pablo при проведении опытов с сухими песками.

Опыты А.А.Мусаэляна на лессовых грунтах показали существенную роль внешней нагрузки в прочности грунта [28, с.70].

Важным также является стабиллометрические исследования Н.В.Sides на смещанных глинистыми частицами песках. В результате опытов автор установил прямую зависимость прочности грунта от внешней пригрузки. Однако, по мнению Н.В.Sid, положительное влияние внешней нагрузки на динамическую устойчивость структуры грунта падает при длительных колебаниях [4, с.123].

Одно из последних исследований, проведенное для выяснения влияния внешней нагрузки на устойчивость увлажненных лессовых грунтов, принадлежит Х.З.Расулову, который, наряду с внешней нагрузкой установил положительное влияние глубины заложения фундамента в данном процессе [89, с.26]. Это обстоятельство представлено им в виде зависимости:

$$a_{кр}^p(z) = a_{кр}^p(z_1) \left[\frac{\sigma_c}{\gamma_w(z-h_\phi)} + 1 \right] + a \cdot i a_c + \gamma_w z, \quad (3.4)$$

здесь: $a_{кр}^p(z)$ – критическое ускорение на глубине z под воздействием внешней нагрузки p ;

$a_{кр}^p(z_1)$ – критическое ускорение на поверхностном слое грунта под той же нагрузкой p ;

σ_c – инерционное воздействие внешней нагрузки на глубине z ;

- γ_w - плотность грунта;
- h_ϕ – глубина заложения фундамента;
- a – коэффициент как в формуле 3.1.

Нами также был проведен ряд опытов для изучения влияния внешней нагрузки на устойчивость откоса, некоторые результаты которых отражены в соответствии с рисунком 3.27. Как видно из данного рисунка, положительное влияние внешней нагрузки отражается и на устойчивости крутизны откоса (таблица 3.9).

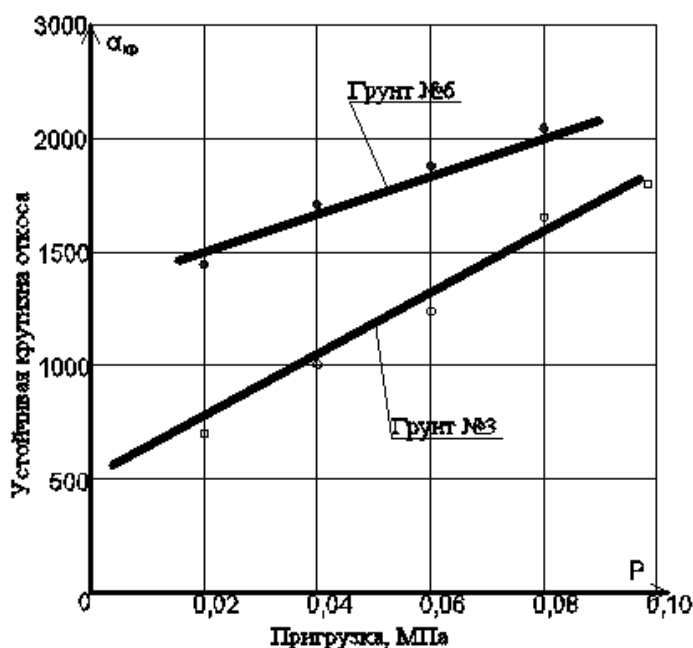


Рисунок 3.27-Зависимость критического ускорения $\alpha_{кр}$ от пригрузки откоса

Таблица 3.9 -Зависимость устойчивой крутизны откоса от внешней нагрузки ($a_c = 2689 \text{ мм/с}^2$)

Грунт	Величина внешней нагрузки, МПа					
	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0
№3	0,31	0,40	0,51	0,60	0,66	-
№6	0,44	0,46	0,53	0,57	0,63	0,68
№9	0,37	0,39	0,40	0,40	0,42	0,44

Как выяснилось, устойчивость крутизны откоса различна для разных грунтов, и она также сохраняется в условиях воздействия внешней нагрузки. Так, крутизна откоса из плотного грунта №9 в условиях одинаковой пригрузки с откосами из менее плотных грунтов №3 и №6 сохраняет своё устойчивое состояние.

В итоге можно сделать заключение о том, что внешняя пригрузка поверхности откоса во всех случаях оказывает положительное влияние на его

устойчивость при сотрясении. В связи с этим, целесообразным является использование пригрузки в качестве меры, обеспечивающей динамическую устойчивость откосов [90-95].

Динамическое воздействие. Одним из основных направлений наших исследований является выяснение роли динамического воздействия (a_c) и его составляющих по частоте (f) и амплитуде (A) на устойчивость наклона откоса (tga).

Опыты проводились в условиях воздействия различных колебательных движений на одинаковые по высоте откосы с неизменными прочностными характеристиками грунта (φ, c). Показателем динамического воздействия служило ускорение колебания (a_c), значение которого менялось за счет регулирования частоты колебания при постоянной амплитуде, или наоборот. В процессе опытов велись наблюдения за поведением откоса в целом и его крутизной. Наблюдение проводилось по методике одновременного наблюдения (регистрации) двух показаний:

-фиксация начала погружения репера, установленного на небольшой глубине поверхности откоса;

-фиксация начала подъема уровня воды (1-2 мм) в пьезометрической трубке, установленной на определенной глубине толщи откоса.

Динамическое воздействие, приводящее к отмеченным выше состояниям репера и уровня воды в пьезометре, принималось за верхний критерий ускорения (критическое ускорение), соответствующий предельно устойчивому состоянию крутизны откоса при данных его параметрах. Отсюда вытекает, что при всех ускорениях колебаний ниже этой величины колеблющегося откоса с соответствующей крутизной откос сохраняет свою статическую устойчивость, а в случаях, когда колебание будет больше этой величины, то откос потеряет устойчивость со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Зависимость устойчивой крутизны откоса от интенсивности сотрясений была выявлена еще на начальных этапах наших исследований. Не требующая никакого оспаривания эта зависимость имела место практически во всех опытах, проведенных с увлажненными лессами [96].

В соответствии 3.28 и 3.29 иллюстрированы зависимости устойчивой крутизны лессовых откосов от интенсивности колебаний, согласно которым эта зависимость проявляется в виде кривой в соответствии с рисунком 3.28. Вместе с тем немаловажна однородность грунта в динамическом уплотнении лесса в соответствии с рисунком 3.29.

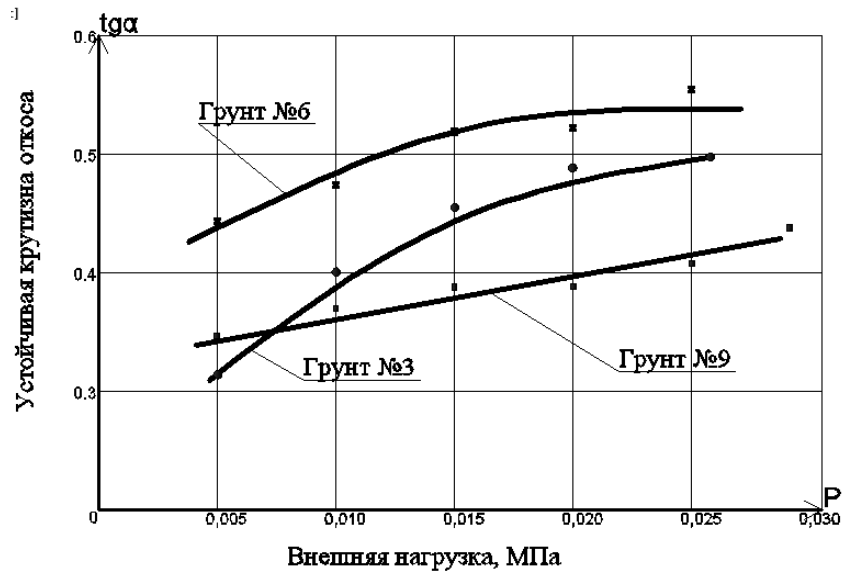


Рисунок 3.28-Зависимость вида $tg\alpha=f(p)$ для разных лессов

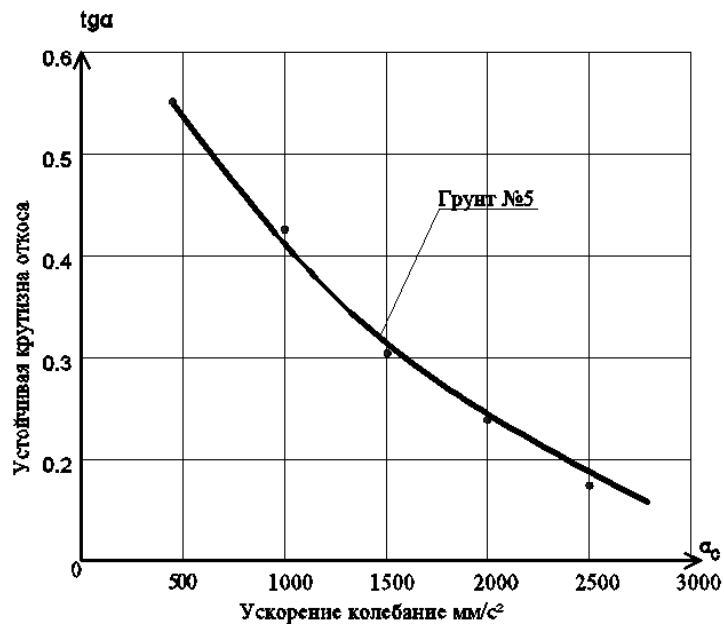


Рисунок 3.29-Зависимость устойчивой крутизны откоса от ускорения колебаний

Устойчивая крутизна однородных откосов, состоящих из пылеватых грунтов в зависимости от различных колебаний, приводится в таблице 3.10.

Таблица 3.10 - Зависимость устойчивой крутизны откоса от ускорения колебаний

Грунт	Ускорение колебаний, мм /с ²						
	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
№2	0,6	0,31	0,22	0,17	0,13	0,11	0,08
№7	-	0,46	0,34	0,26	0,13	0,05	-

Н.Н.Маслов [3, с.132] и Х.З.Расулов [97-99] отмечали особую роль частоты колебания в нарушении структуры грунта. По их утверждению, влияние частоты особенно проявляется в условиях резонанса.

С целью использования этих выводов нами были проведены ряд опытов на откосных сооружениях, в которых изменение ускорения колебания достигалось за счет частоты при неизменной амплитуде.

В соответствии с рисунком 3.30 график составлен по результатам опытов, проведенных в этом направлении. Как следует из графика, влияние частоты колебания в динамическом нарушении крутизны откоса существенно, так что в условиях сотрясения с ускорением 2880 мм/с^2 устойчивость наклона обеспечивается при частотах 4-6Гц, а по мере увеличения частоты процесс ускоряется.

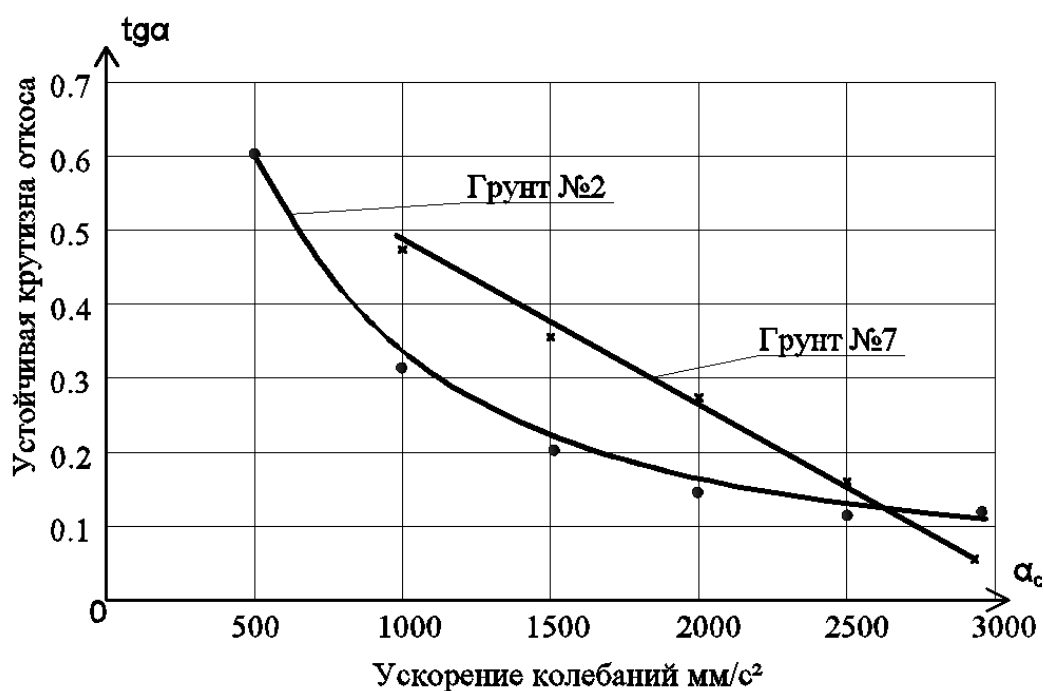


Рисунок 3.30 - Зависимость вида $tg\alpha=f(\alpha_c)$ для разных по однородности грунтов

Если учесть частоты собственного колебания увлажненных лессов (18-20Гц), то выводы вышеотмеченных авторов применительно к откосам, также находят свое применение [100]. Следует подчеркнуть весомую опасность резонансных явлений в устойчивости структуры грунта. Для изучения влияния частоты колебаний на устойчивую крутизну откоса были проведены более 20 опытов на чистых лессах в условиях гармонического колебания. В этих опытах пористость грунта сохранилась практически неизменной.

Результаты такого рода опытов показали изменение устойчивой крутизны откоса при различных частотах колебаний. Было отмечено также, сохранение устойчивой крутизны откоса при низкочастотных колебаниях, которое можно увидеть в соответствии с рисунком 3.31, где иллюстрирован характер изменения устойчивой крутизны откоса при частотах 2Гц, 5Гц, 7Гц и 12Гц.

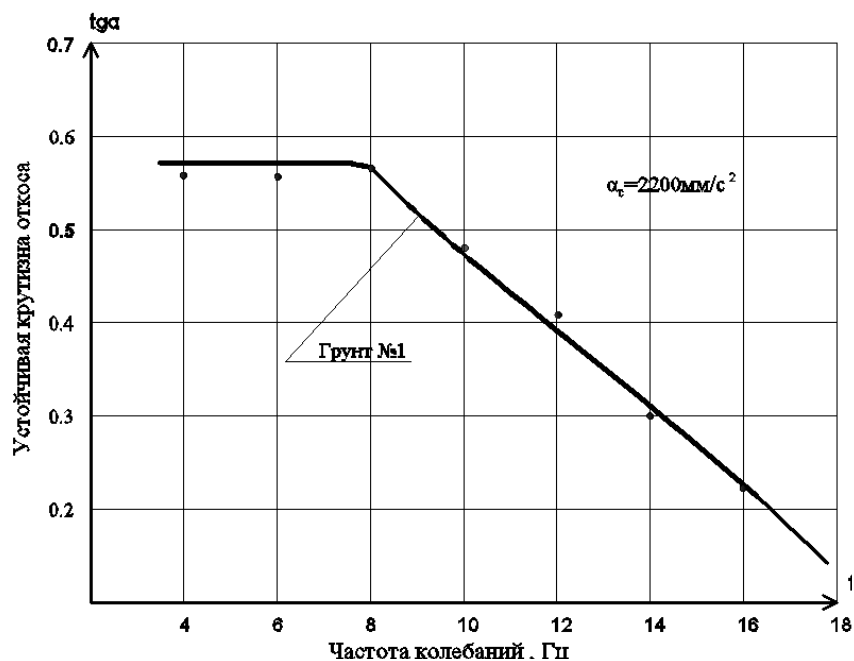


Рисунок 3.31-Зависимость устойчивой крутизны откоса от частоты колебания

Влияние амплитуды колебания на устойчивую крутизну откоса показано в соответствии с рисунком 3.32, где можно заметить слабые воздействия амплитуды по сравнению с частотой колебаний. Однако, если учесть достаточно широкий предел изменения амплитуды природных землетрясений, то ее роль также становится ощутимой.

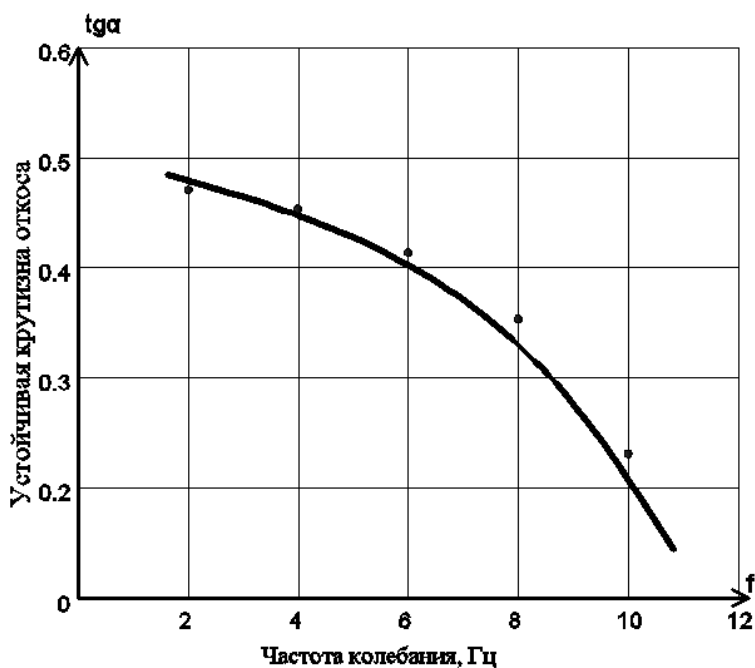


Рисунок 3.32-График изменения устойчивой крутизны откоса в зависимости от частоты колебания

В итоге, наряду с прочностью грунта следует подчеркнуть значительную роль ускорения колебаний в целом, и его составляющих (частоты и амплитуды), в частности, в обеспечении динамической устойчивости крутизны откосных сооружений.

Длительность сотрясения. Изменение прочности увлажненных лессов в процессе колебаний было отмечено выше [10, с. 134], причиной которого служит пластичная связность грунта, ее изменение в условиях сотрясения. Процесс снижения сил связности в условиях колебаний сопровождается уплотнением частиц, которое способствует возникновению динамического напора в поровой воде в случаях, когда грунт насыщен водой. Под воздействием динамического напора грунт переходит в разжиженное состояние с последующими неблагоприятными последствиями.

Были проведены опыты по изучению вышеизложенных явлений в условиях колебания откосов, анализ результатов которых показал действительное наличие вышеотмеченных явлений в процессе колебаний увлажненных лессов.

В соответствии с рисунком 3.33 иллюстрируется результат одного из опытов в условиях $a_c > a_{кр}$, по которому не трудно заметить снижение пластичной связности грунта от ускорения воздействующего колебания. Характерным в данном случае является то, что снижение пластичной связности грунта начинается не сразу с приложением динамической нагрузки на грунт, а с истечением некоторого количества времени после сотрясения. Отрезок времени, соответствующий началу снижения связности, различен для разных грунтов. Характерным является еще и то, что изменение связности в рассматриваемых условиях происходит при постоянном ускорении колебаний в соответствии с рисунком 3.34.

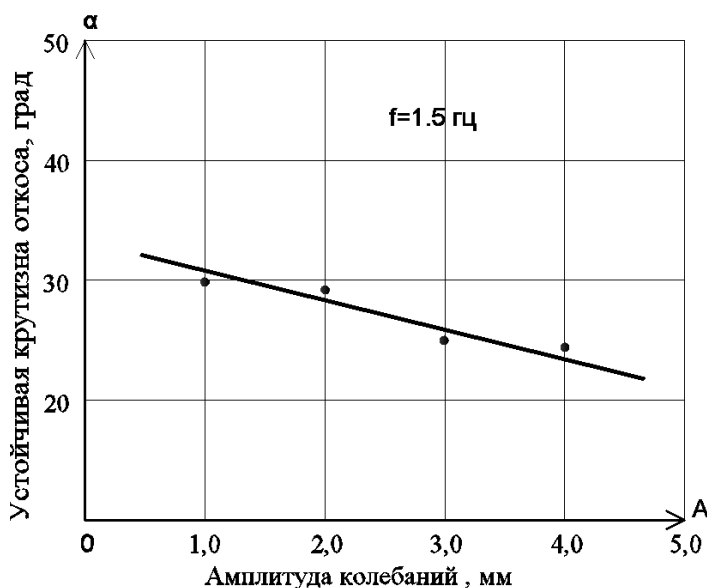


Рисунок 3.33-Зависимость устойчивой крутизны откоса от амплитуды колебания. Грунт – супесь

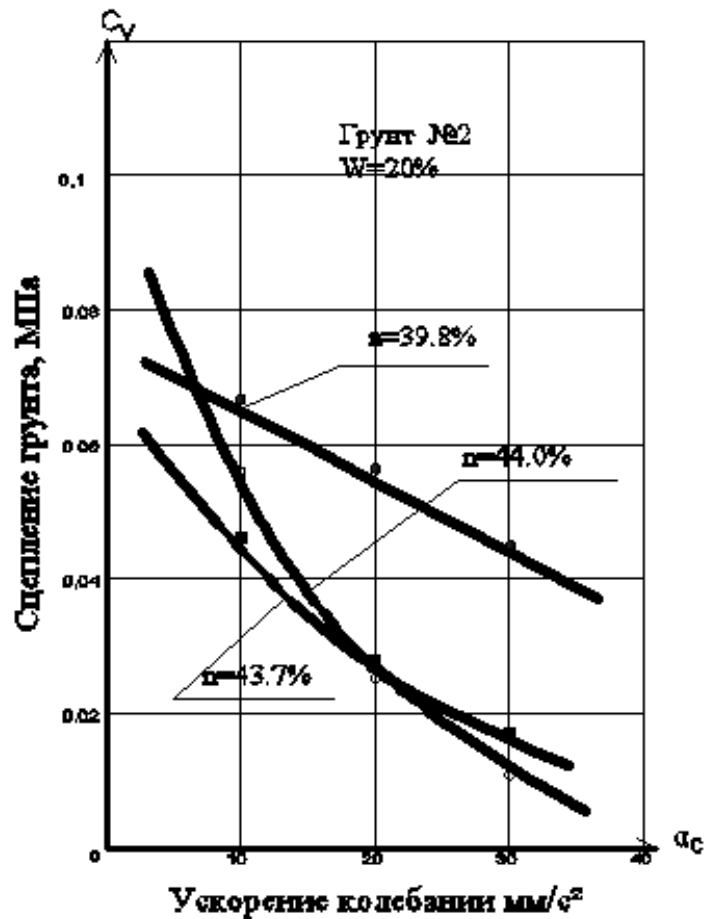


Рисунок 3.34-Изменение сцепления увлажненного грунта в зависимости от ускорения колебаний

Такое положение наблюдалось практически во всех опытах, проведенных с вибрацией увлажненных лессов. Отрезок времени к началу снижения пластичных связей в увлажненных лессах, по-видимому, зависит от прочности самих связей и величины динамической нагрузки. Немаловажную роль играют составляющие ускорения в данном процессе. При средней плотности лесса, отрезок времени до начала снижения связности составлял 30-50 секунд, а в плотных грунтах - 60-90 сек. Если сравнить этот отрезок с длительностью природных землетрясений порядка 10-20 сек (умеренные сотрясения) и 30-40 сек. (катастрофические), то можно считать, что многие откосы в этих условиях будут сохранять свою устойчивость [101-104]. Однако, как вытекает из приведенных в 1-ом разделе случаев последствий землетрясений, в действительности имеет место иная картина, по-видимому, связанная со сложным характером природных землетрясений.

Роль длительности колебаний в устойчивой крутизне откоса иллюстрируется в рисунках 3.35 и 3.36, где показана зависимость изменения крутизны откосов от плотности грунта (№9) и величины динамического воздействия (№4). Более устойчивое состояние крутизны откоса, состоящего из

плотного грунта, по сравнению с откосом меньшей плотности, следует также по выражению 2.60, указывая на ее практическую ценность.

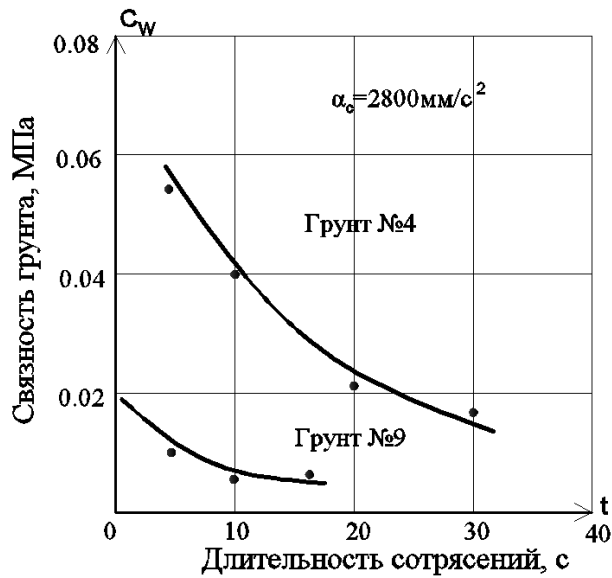


Рисунок 3.35-Зависимость вида $C_w=f(t)$ при неизменном ускорении колебаний

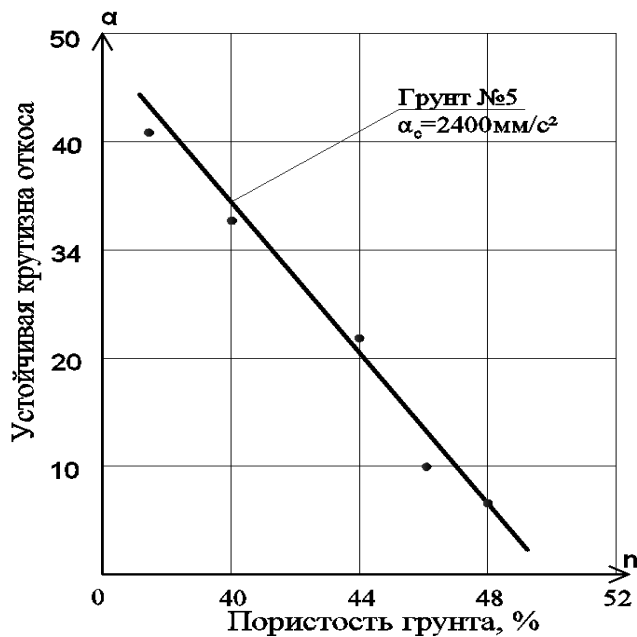


Рисунок 3.36-Зависимость устойчивой крутизны откоса от пористости лессового грунта

Динамический напор. Следует отметить, что многие из приведенных выше данных относятся колебанию откоса в условиях $a_c < a_{кр}$, и направлены на оценку устойчивой крутизны откосных сооружений при различных условиях сотрясений. Наряду с этим, небезынтересным является случай, когда величина сотрясений превышает критическое ускорение, т.е. $a_c > a_{кр}$. Очевидно, такие

случаи нередко имеют место в реальности, когда грунт, слагающий откос, представлен недостаточной прочностью, к тому же насыщен водой и подвергается сильному колебанию.

Несмотря на изученность явлений разжижения в слабых увлажненных грунтах, все же продолжают оползти в природных и искусственных откосах при сильных землетрясениях, что требует дополнительного исследования поведения увлажненных грунтов в условиях $a_c > a_{кр}$ с выяснением природы явлений, происходящих при их колебании.

В настоящее время можно считать установленным, что разжижение связного грунта возникает в результате взвешивающего воздействия динамического напора (h_z), возникающего при уплотнении разрушенных связей грунтовых частиц при сильных сотрясениях. В результате этого грунт теряет определенный вес и под воздействием избыточного давления воды приобретает способность текучести в качестве жидкой массы. Такой случай в откосных сооружениях проявляется в виде оползней и оплывун.

Нами проведен ряд опытов для выяснения вышеописанного случая в откосных сооружениях с целью оценки степени влияния динамических напоров на устойчивость крутизны откоса.

По отношению к данному вопросу необходимо отметить следующее. Любой искусственный откос с определенной крутизной должен возводиться при соблюдении условий $a_c < a_{кр}$, т.к. в отличие от природных откосов, управление и строительство последних в руках проектировщика и строителя. Поэтому соблюдение этого неравенства является наиболее целесообразным в рассматриваемом случае [105].

Однако, соблюдение $a_c < a_{кр}$ не всегда удается вследствие удорожания стоимости объекта, нехватки техники, водонасыщенность грунта и т.д. В данном случае немаловажным является неопределенность точных параметров будущих землетрясений и т.д.

В таких случаях может быть целесообразным назначать крутизну откоса с учетом динамического напора, возникающего в толще грунта. В наших исследованиях этому вопросу также уделено большое внимание.

Обратимся в соответствии с рисунком 3.37. Характерным на этом рисунке является постепенное возрастание динамического напора в толще водонасыщенного лесса. Возникновение динамического напора h_z в толще откоса, его возрастание в течение 3-10 с после приложения к грунту вибрации, очевидно, характеризует нарушения структуры и начало уплотнения грунта, что совпадает с выводами авторов [10, с.116; 105-106].

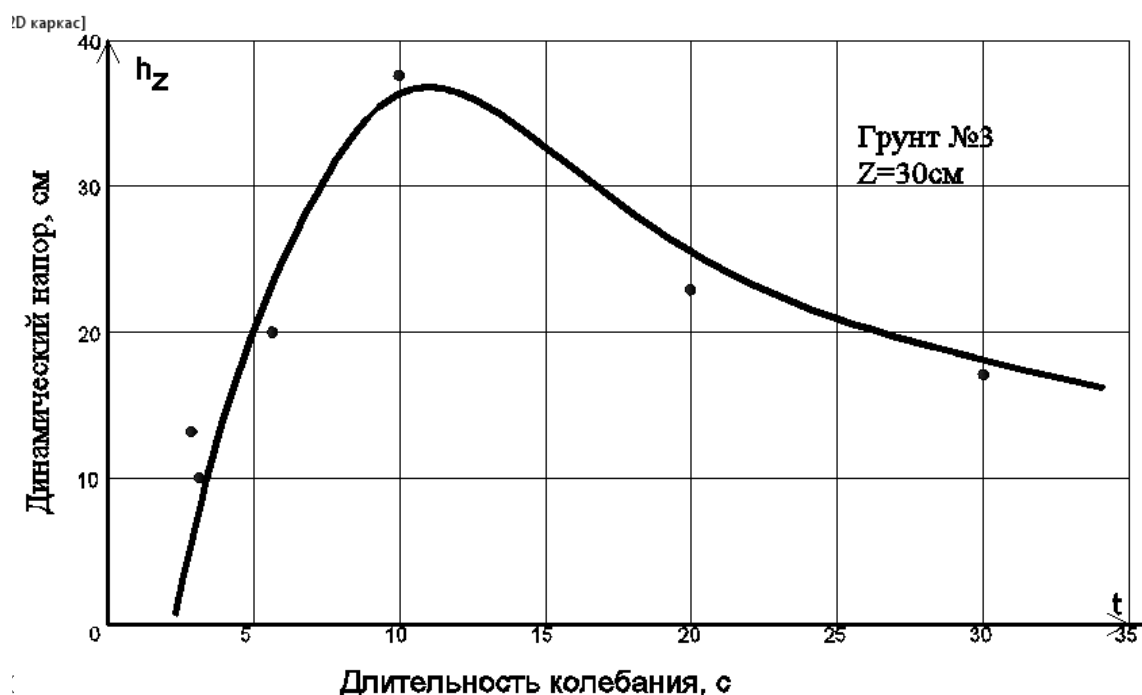


Рисунок 3.37-Изменение динамического напора на постоянном горизонте для лессовидной супеси $\alpha=2800$ мм/с²

Так, в работе [10, с.142] отмечается последовательное наличие следующих процессов в условиях $a_c < a_{кр}$ колебания лесса:

- а) постепенное нарушение пластичной связности грунта;
- б) возникновение динамического напора, связанного с уплотнением и фильтрационной способностью грунта;
- в) активизация ослабления прочности грунта вследствие взвешивающего воздействия динамического напора.

Такое влияние динамического напора на структуру колеблющегося грунта диктует рассмотрение h_z не только как фактор, разжижающий грунт, но и также одновременно влияющий на устойчивость откоса.

Изучением динамического напора занимались многие специалисты [3,с.113;4,с.125;6,с.75;9,с.89;58,с.127;77,с.93], которые установили зависимость h_z от гранулометрического состава грунта, его пористости, окатанной поверхности зерен, сил связности, внешней нагрузки, интенсивности динамического воздействия и т.п.

Опыты по выявлению влияния динамического напора на устойчивую крутизну откоса были проведены на грунтах нарушенной структуры. Возникновение h_z , процесс его изменения в глубине и во времени, а также дальнейшее его снижение измерялись с помощью тензометрического датчика давлений [107].

В соответствии с рисунком 3.38 в качестве примера представлен результат одного из такого рода опытов, на котором можно проследить увеличение динамического напора на определенной глубине толщи откоса и характер его снижения под воздействием гармонического колебания.

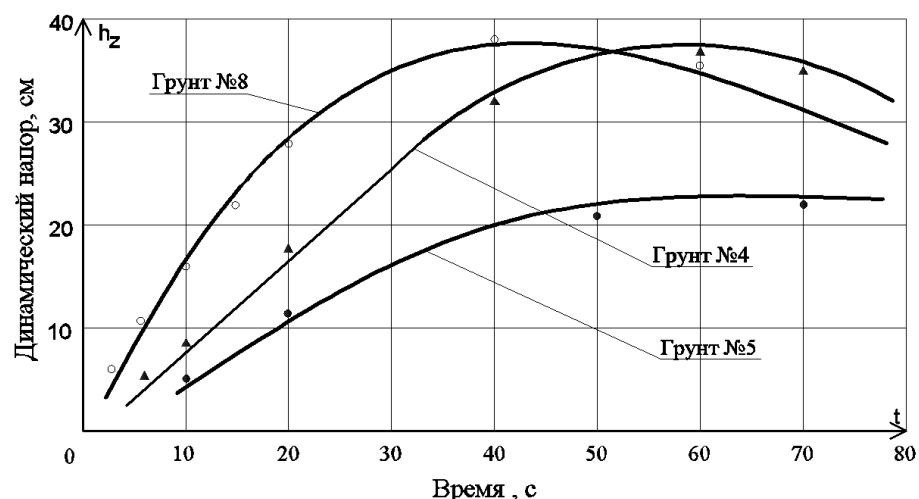


Рисунок 3.38-Зависимость вида $h_z=f(t)$ для лессовидных грунтов. Изменение производилось на глубине $z=30$ см.

График вида $h_z = f(t)$ в соответствии с рисунком 3.39 обобщает показания нескольких опытов. Сила сотрясения в виде ускорения колебаний на этих опытах измерялась в пределах 2800-3200 мм/с². Возрастание h_z во времени до определенного значения и затем постепенное снижение характерно для связных грунтов. В отличие от песков (у которых процесс роста динамического напора происходит практически мгновенно) в связных грунтах такой процесс объясняется природой нарушения связности грунта [108].

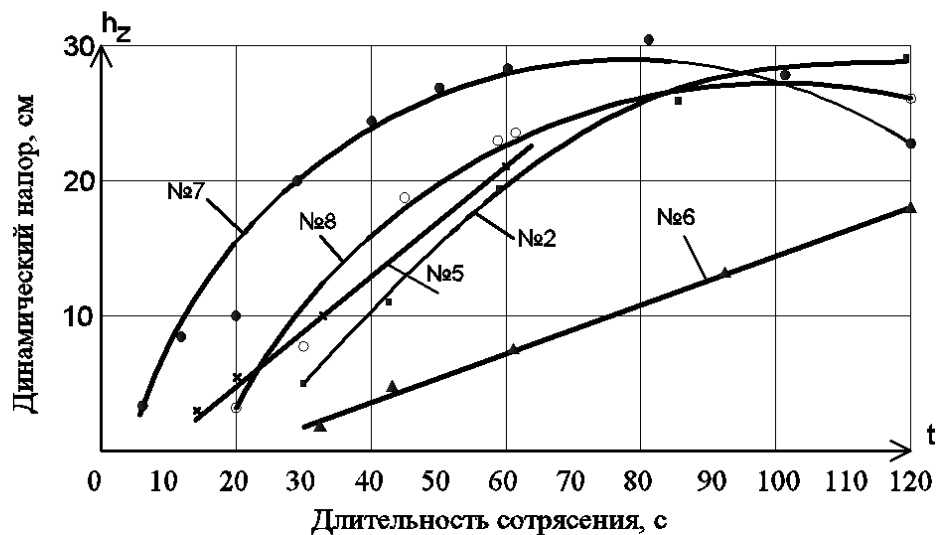


Рисунок 3.39-Зависимость вида $h_z=f(t)$ для лессовых грунтов (по данным Х.З.Расулова). Измерение динамических напоров производилось на глубине $z=30$ см. На кривых обозначены грунты №2,5,6,7,8.

Измерение производилось на глубине $z=30$ см. В соответствии с рисунком 3.40 представлен характер влияния динамического напора на устойчивость крутизны откоса. Для обеспечения устойчивой крутизны откоса под воздействием динамического напоров условиях колебания грунта №5

ускорением 2800 мм/с^2 приходится снизить его уклон на $z=30\text{см}$. Аналогичная картина видна и в таблице 3.11.

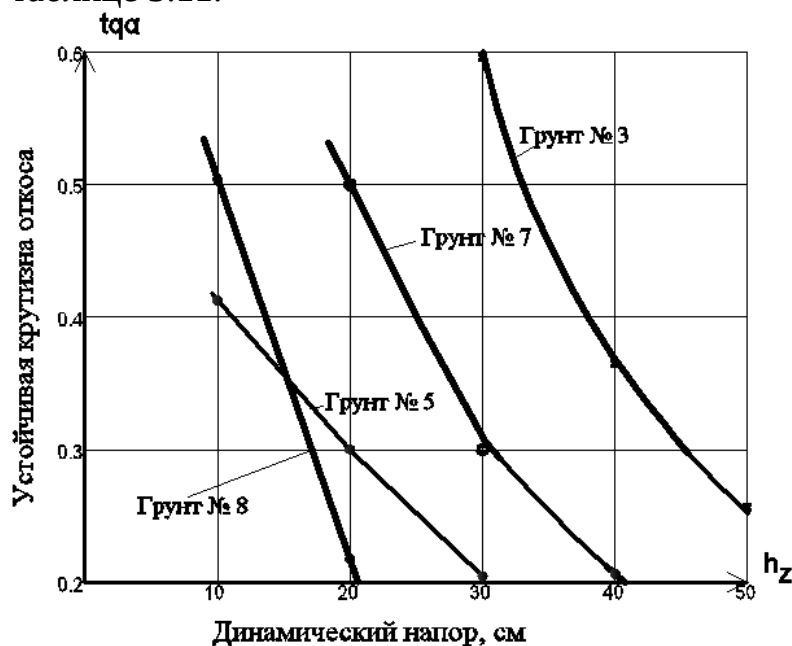


Рисунок 3.40—Влияние динамического напора на устойчивость крутизны откоса

Таблица 3.11 -Влияние динамического напора на крутизну откоса

Грунт	Динамический напор, см				
	10	20	30	40	60
№3	-	-	0,58	0,36	0,25
№5	0,43	0,30	0,19	0,10	0,06
№7	0,52	0,21	0,08	-	-
№8	-	0,50	0,30	0,21	0,19

В итоге проведенных опытов можно отметить, что возникновение динамического напора в водонасыщенных грунтах и его воздействие на откосные сооружения, объясняет многие оползневые явления, имевших место при натуральных землетрясениях [109-110]. Вместе с тем при любых случаях оказывается возможным обеспечить устойчивость откоса путем оположения. Однако, этот вопрос связан с экономикой строительства.

Выводы по разделу 3

1. В результате многочисленных опытов, проведенных на увлажненных лессовых грунтах, установлено, что сейсмоустойчивая крутизна откоса зависит от внутренних, как: прочностных показателей грунта, его плотности-влажности, динамического напора, и внешних, как: вертикального составляющего напряжений от собственного веса грунта и внешней нагрузки, ускорения колебательного движения и его составляющих факторов.

2. Плотность грунта и наличие в его составе глинистых частиц способствуют устойчивости крутизны откоса.

3. Любое повышение влажности грунта требует оположения откоса.

4. Влияние структурного сцепления и пластичной связности на устойчивую крутизну откоса различно. Структурное сцепление способствует сохранению вертикальности откоса, в то же время влияние пластичной связности зависит от состояния влажности грунта.

5. Содержание глинистых частиц способствует повышению сил сцепления, что связано с увеличением крутизны откоса.

6. Окатанность зерен также влияет на устойчивость откоса через угол внутреннего трения грунта.

7. Любая внешняя нагрузка на откос повышает его устойчивость.

8. Устойчивая крутизна откоса зависит от динамического воздействия (a_c), по мере увеличения которого требуется оположение откоса. Существенное влияние на устойчивость откоса оказывают также составляющие ускорения, таких как: частота (f) и амплитуда (A) и т.п.

9. Крутизна откоса уменьшается по мере увеличения продолжительности колебания.

10. Динамический напор в водонасыщенных грунтах способствует снижению устойчивости откоса и возникновению оползней и оплывунов при сильных землетрясениях.

4 МЕТОД СЕЙСМОУСТОЙЧИВОЙ КРУТИЗНЫ ОТКОСА В ПРАКТИКЕ СТРОИТЕЛЬСТВА

4.1 Указания по проектированию сейсмоустойчивых откосов насыпных сооружений

Вышеприведенные исследования позволили разработать указания по проектированию и строительству сейсмоустойчивой крутизны откосных сооружений.

Для обеспечения ясности и точности выполняемых работ пункты указаний изложены логически. В необходимых случаях отдельные пункты дополнены соответствующими примечаниями.

Основные положения указаний:

1. Оценка устойчивости крутизны искусственных откосов, возводимых в высокосейсмических районах требуется в следующих случаях, когда:

а) степень влажности слабых в динамическом отношении грунтов (пески, лессы и т.п.) в теле откоса больше 0,6;

б) плотность грунта в теле откоса не отвечает предъявляемым к ней сейсмическим требованиям. Примечание. Это требование не обязательно для откосов из сухих грунтов, если они не ответственные или не возводятся в условиях сложных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях.

2. Требования в пункте 1 настоящих указаний выполняются дополнительно к обязательным требованиям расчета откосов на прочность, устойчивость и инерционное воздействие.

3. Оценка сейсмоустойчивости крутизны откоса производится с учетом состояния грунта по отношению к ожидаемым землетрясениям. Степень сейсмоустойчивости крутизны откосных сооружений, которые могут испытывать динамические воздействия при их эксплуатации, должна определяться на основе анализа состояния аналогичных сооружений при прошлых землетрясениях.

Примечания:

1. Этот пункт указания, кроме воздействия землетрясений, предусматривает также воздействия колебаний гидротехнических, железнодорожных и автодорожных и др.

2. Сила динамического воздействия формируется в виде ускорения (a_c), амплитуды (A), частоты (f) и одной фазой динамического проявления сейсмике (t_c).

3. При пользовании пункта 2 настоящего примечания берутся максимальные значения показателей.

4. Влияние землетрясений и других источников колебаний на откосные сооружения производится через расчетное значение, например, для ускорения a_p в виде [97, с.12]:

$$a_p = \mu a_c, \quad (4.1)$$

где: a_c – максимальное сейсмическое ускорение;

μ – коэффициент запаса, учитывающий неравномерность колебательного движения, который назначается в пределах 1,5-2,0 в зависимости от степени капитальности сооружения [69, с.194].

5. В рассматриваемых условиях требования к сейсмоустойчивой крутизне откосных сооружений исходит из того, что значение расчетного сейсмического ускорения a_p в любой точке откоса не должно превышать критического ускорения $a_{кр}$, свойственного к грунтам откоса, т.е.:

$$a_p < a_{кр}. \quad (4.2)$$

Примечание. Сопоставление значений по 4.2 должно производиться при равных частотах и амплитудах колебаний.

6. Удовлетворяющий условия 4.2 сейсмоустойчивый уклон откоса определяется по формуле:

$$tg\alpha = i\bar{i}, \quad (4.3)$$

или, для не нагруженных откосов:

$$tg\alpha = \frac{tg\varphi_w}{0,64k_c} \left(tg\varphi_w + \frac{c_v}{\gamma_w H} \right). \quad (4.4)$$

7. При использовании выражений 4.3 и 4.4 следует учесть, что составляющие динамических воздействий (ускорение, частота, амплитуда, период и т.п.) должны соответствовать показаниям записей (акселерограмм, сейсмограмм, показания частот и т.п.) землетрясений, свойственных для данной территории.

8. В случаях отсутствия записей землетрясений требуются проведения динамических исследований по определению сейсмоустойчивой крутизны откоса с учетом инженерно-геологических, гидрогеологических, сейсмологических и др. условий района строительства. При этом должны быть установлены зависимости: $tga = f(n)$, $tga = f(D)$, $tga = f(p)$, $tga = f(f)$, $tga = f(A)$ и т.д.

Примечание. В расчетах целесообразно пользоваться показателем относительной плотности (D) вместо пористости грунта (n).

9. Выбор прочных по отношению к сейсмике грунтов, составление правильного и качественного проекта по их использованию имеют существенное значение при возведении сейсмоустойчивых откосных сооружений.

10. При подборе материала для откоса важным является всестороннее изучение физико-механических и динамических свойств грунтов в карьере, а также определение запаса грунтов, способных обеспечить динамическую устойчивость сооружения.

11. Визуальная оценка прочности грунта по сейсмическим отношениям должна основываться на следующие показатели грунта:

- крупность размеров частиц;

- наличие глинистых частиц в составе грунта;
- неоднородность грунта;
- окатанность поверхности частиц.

12. Окончательный вывод об устойчивости грунта по отношению к сейсмическим воздействиям достигается после соответствующих исследований грунтов в лабораторных условиях, в которых выявляются: динамическое воздействие, способное нарушать структуры грунта; изменение плотности грунта; возникновение динамических напоров и др. факторов, оказывающих влияние на нарушение прочности грунта.

13. Не допускаются изменения при колебании плотности лесса, т.к. оно отрицательно влияет на устойчивость откоса.

Примечание. Сказанное базируется на резком снижении устойчивости откосов в случаях уменьшения плотности увлажненных лессов.

14. Нецелесообразно использование лессов, содержащих более 2% в составе органических веществ (хлоридов, сульфатов, разных карбонатов) в качестве материала для возведения откосов в сейсмических районах.

Примечание. Данное требование важно для предотвращения дополнительного уплотнения грунта из-за растворения неводоустойчивых солей.

15. В случаях отсутствия вблизи строительной площадки грунтов, отмеченных в пункте 12 настоящих указаний, использование других грунтов должно осуществляться на основании лабораторных исследований и расчетных доказательств.

Примечание. Предлагается определить в лабораторных условиях следующее:

- степень агрессивности подземных вод;
- состояние изменчивости плотности грунта;
- критическое ускорение с учетом растворения солей и способности грунта при этом к дополнительному уплотнению.

16. Одним из основных требований к выбранному карьере для отбора грунта для возведения откосных сооружений является оценка осредненного значения гранулометрического состава грунта. Для этого, в соответствии с указаниями нормативных документов, требуется отбор образца по форме «сетки».

17. Осредненные значения грунтов по гранулометрическому составу в карьере и показания плотности грунта определяются путем использования методов математической статистики.

Примечания:

1. Одним из основных причин использования методов математической статистики при обработке данных является широкий предел изменения физико-механических показателей грунта в природном их залегании.

2. Для статической обработки результатов опытных данных рекомендуется метод математической статистики. С помощью Microsoft Excel решение практических задач компьютерной программы.

Программа Microsoft Excel производит расчеты и управляет электронными таблицами.

Электронная таблица - главный способ, применяемый в обработке числовых данных вычисляемой техникой.

Электронные таблицы объединены с числовыми либо экономическими операциями, кроме того, они имеют все шансы применяться в решении вопросов, рассмотрения и вычисления расчетов и составления графика.

Книжка равномерно рассчитывает диаграммы, слова, таблицы, картинки, считается превосходной программой.

4. Надежность накопленных величин, согласно методу «Степень надежности накопленных величин», выражается показателем обеспеченности (λ_m) всех накопленных величин по отношению к общему количеству экспериментальных исследований. Если считать, что $\lambda_m=99\%$, то состояние надежности накопленных величин можно определить по таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Надежность результатов исследований

Величина, выявленная опытом	Величина	Степень надежности, %
1	< 10	100
2	10-15	90
3	15-20	85
4	20-25	80
5	25-35	75
6	35-50	70
7	50-75	65
8	>75	60

18. Следует уделить особое внимание на гранулометрический состав грунта, учитывая его важное значение в устойчивости крутизны откосов.

Примечания.1. Назначение крутизны откоса без учета минералогического и гранулометрического составов грунта, а также окатанности поверхности частиц в сейсмических районах, может не оправдать себя.

2. Плотность грунта в теле откоса в каждом конкретном случае должна назначаться на основе лабораторных или полевых исследований (таблица 4.2).

19. Следует внимательно отнестись к определению вертикально составляющего напряжения (σ) от веса внешней нагрузки и собственного веса грунта при расчете устойчивости крутизны откосных сооружений по формулам 4.3 и 4.4.

20. В случаях необходимости оценки сейсмоустойчивости крутизны откоса в условиях воздействия динамического напора h_z , формулу 4.3 следует представить в виде:

$$tg\alpha = \dot{\dot{i}}, \quad (4.5)$$

где: γ_c - плотность воды.

Таблица 4.2 -Влияние динамического напора h_z на устойчивый уклон откоса при различных динамических воздействиях a_c

Динамический напор, см	Устойчивый уклон откоса под воздействием вибрации (H=2 м)					
	500	1000	1500	2000	3000	4000
0	75°18 ¹	63°10 ¹	52°36 ¹	44°30 ¹	33°	26°10 ¹
500	73°44 ¹	59°40 ¹	48°46 ¹	40°36 ¹	29°40 ¹	22°40 ¹
1000	71°12 ¹	55°48 ¹	44°24 ¹	37°10 ¹	26°10 ¹	19°48 ¹
1500	65°50 ¹	50°42 ¹	39°05 ¹	31°30 ¹	21°48 ¹	16°42 ¹
2000	63°	44°30 ¹	33°12 ¹	26°10 ¹	17°45 ¹	13°30 ¹

21. После выполнения вышеотмеченных указаний относительно крутизны откоса можно будет рассуждать о сейсмической устойчивости откосных сооружений в целом.

22. Одним из способов обеспечения сейсмически устойчивой крутизны откоса является замена грунта наиболее прочной разновидностью, что связано с наличием заменного карьера.

Примечание. Замена слабого грунта наиболее прочными является наиболее простым способом решения вопроса.

23. В случае отсутствия в районе строительства карьера с прочными грунтами, можно пользоваться другим способом, т.е. уплотнением поверхностных слоев откоса. При этом важным является определение толщины уплотняемого слоя с учетом динамического напора, при котором обеспечивается статическая устойчивость откоса [12, с.116].

24. Сейсмоустойчивую крутизну откоса также можно обеспечить путем покрытия поверхности откоса уплотненными крупнообломочными грунтами (крупнозернистый песок, гравий, галечник ит.п.).

Примечание. В данном случае также важным является вопрос определения толщины покрываемого слоя, исследованием которого занимались ряд специалистов [9,с. 116;12,с. 127; 35, с.86]. По их мнению, толщина покрываемого слоя откоса (h) должна определяться из условия:

$$a_{кр} = f(n \cdot p), \quad (4.6)$$

где: $a_{кр}$ – критическое ускорение;

n – плотность грунта;

p – величина нагрузки, передаваемой от слоя высотой h .

Толщину покрываемого откосного слоя рекомендуется определять по формуле, предложенной А.Х.Садыковым [70, р.120]:

$$h = \frac{1}{6} \cdot \frac{\gamma_c}{\gamma_w} \cdot \frac{1}{\cos\beta} \cdot \frac{\gamma_w}{k_\phi} \cdot \dot{\epsilon}, \quad (4.7)$$

где: γ_w – плотность грунта;

- γ_c – плотность воды;
- β - уклон откоса;
- k_ϕ - коэффициент фильтрации грунта;
- σ – вес покрывающего слоя;
- φ_w - угол внутреннего трения грунта;
- c_v - сцепление грунта.

25. При использовании способов повышения сейсмической устойчивости откосов немаловажным является экономическая сторона вопроса, которая достигается при сопоставлении нескольких вариантов и мероприятий.

4.2 Решение практических задач с помощью компьютерной программы

Excel дает возможность осуществлять непростые вычисления, и имеются все шансы применять сведения, находящиеся в различных сферах электронной таблицы также сопряженные между собою конкретной связью. С целью выполнения подобных расчетов программ в Excel есть вероятность внедрять разнообразные составы ячеек таблицы. Excel осуществляет расчеты, а также отражает итоги формулами. Приемлемый спектр формул с обычного строения и вычитания вплоть до экономических и статистических вычислений в соответствии с рисунками 4.1-4.27 и таблица 4.3.

На базе равенств (2.51) и (2.58) сейсмоустойчивую крутизну β колеблющегося откоса можно определить в виде:

$$\operatorname{tg} \alpha = i i$$

Угол внутреннего трения: $\varphi=15-35^\circ$. Сцепление $c=10-50$ кН/м². Напряжение у основания насыпей зависит от их высоты и колеблется: 10-40 кН/м²

Таблица 4.3 - Динамическое напряжение $\sigma_{дин}$

Коэффициент сейсмичности	В баллах	Значение коэффициента
$K_c=$	9 балл	0,1
$K_c=$	8 балл	0,075
$K_c=$	7 балл	0,05
$K_c=$	6 балл	0,025

Динамическое напряжение $\sigma_{дин}$ определяется следующим образом:

$$\sigma_{дин} = \sigma_{ст} - \gamma_w h_z$$

(где γ_w - плотность воды, равняется 1т/м³ и h_z - динамический напора, м., изменяется от 0 до единицы 1, при $h_z=0$ то нагрузка, действующая на откос будет равняться статической величине $\sigma_{дин} = \sigma_{ст}$, а при $h_z=1$ – динамическое напряжение уменьшается на 1. Это связано с взвешивающим воздействием

динамического напора в процессе разрушения структуры грунтовых частиц в теле откоса.

$$tg \alpha = \dot{i} \dot{i}.$$

Значение K_c -коэффициент сейсмичности, зависящий от балльности сейсмике и $tg \alpha$

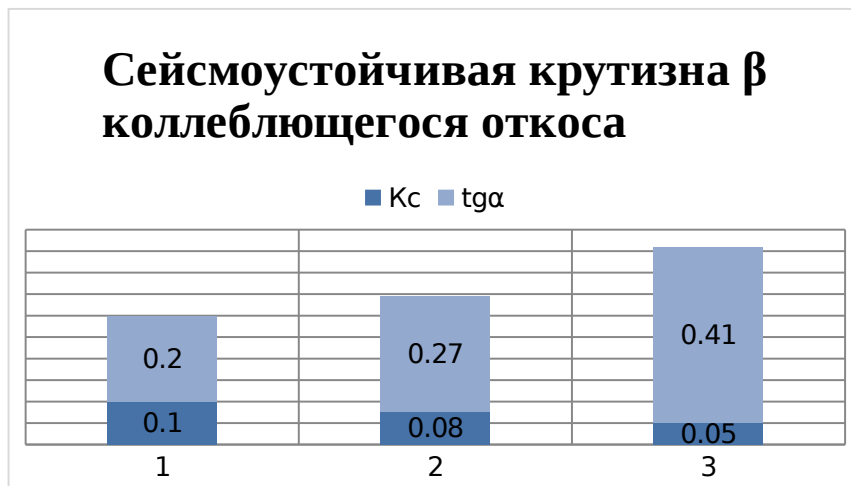


Рисунок 4.1-Сейсмоустойчивая крутизна β колеблющегося откоса на $tg \phi_w = 0,26795$

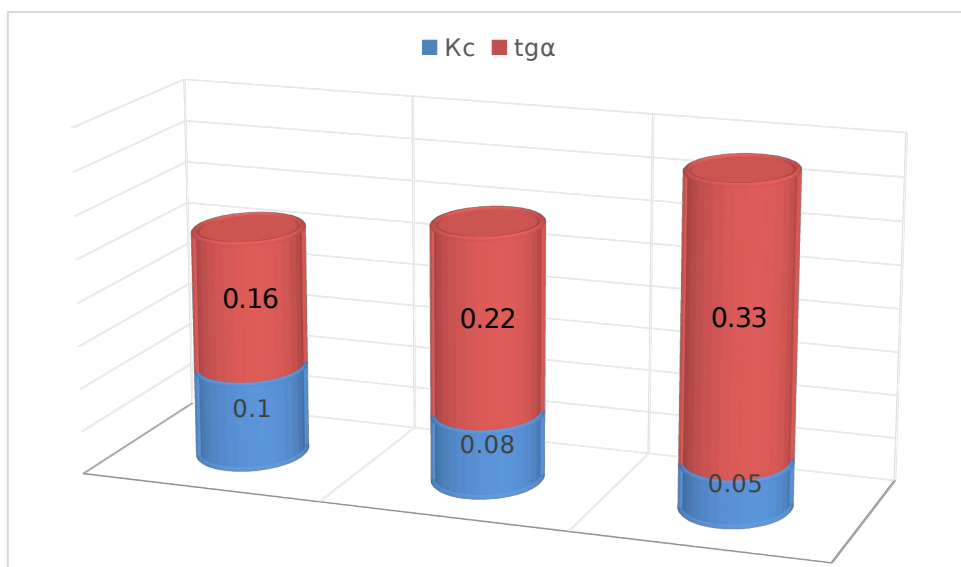


Рисунок 4.2-Сейсмоустойчивая крутизна β колеблющегося откоса на $tg \phi_w = 0.36397$

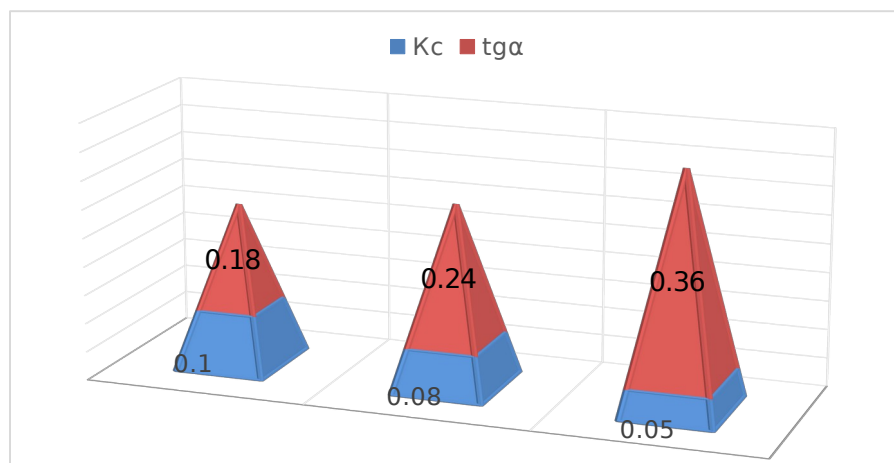


Рисунок 4.3-Сейсмостойчивая крутизна β колеблющегося откоса на $tg\phi_w= 0.48773$

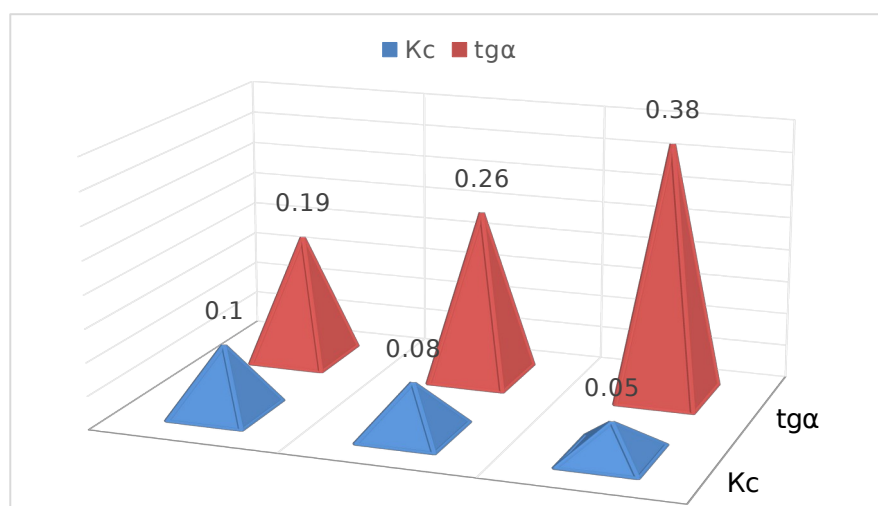


Рисунок 4.4-Сейсмостойчивая крутизна β колеблющегося откоса на $tg\phi_w= 0.62487$

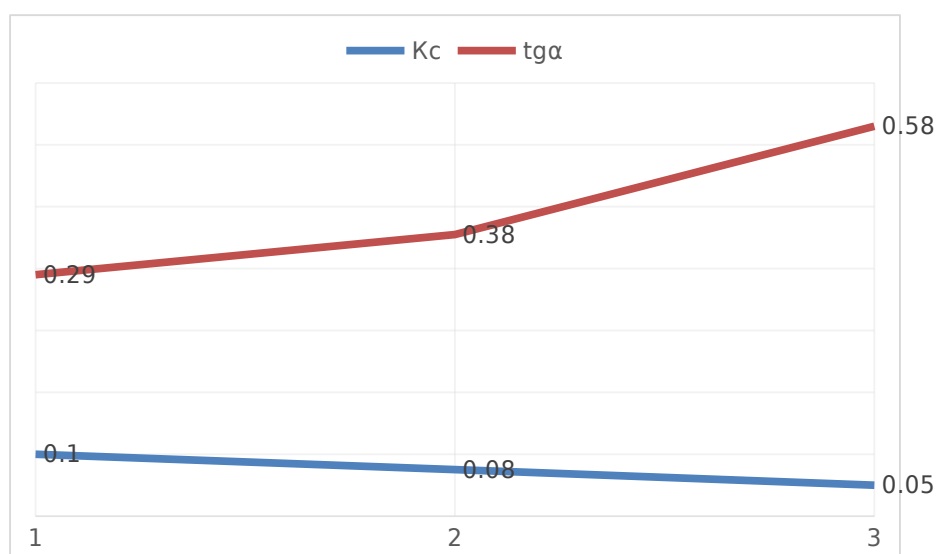


Рисунок 4.5-Сейсмостойчивая крутизна β колеблющегося откоса на $tg\phi_w=0,26795$

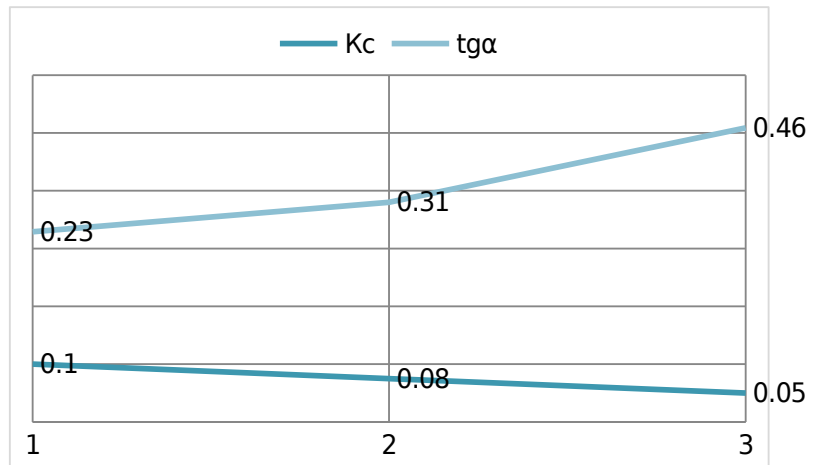


Рисунок 4.6-Сейсмоустойчивая крутизна β колеблющегося откоса на $tg\phi_w=0.36397$

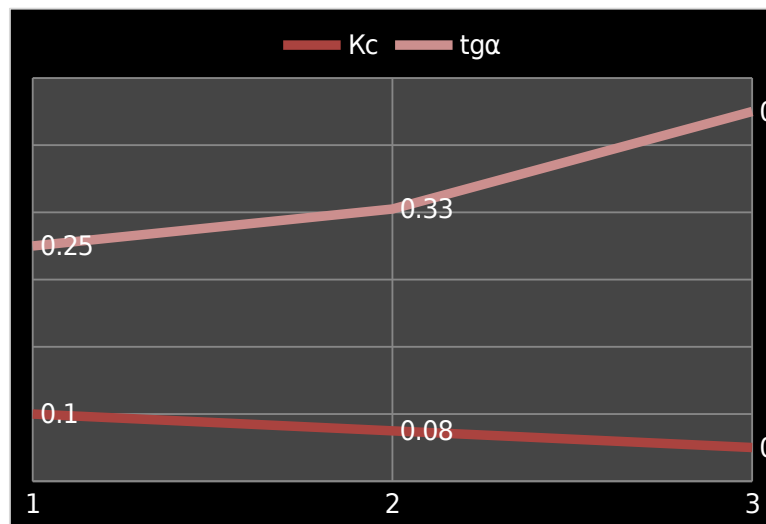


Рисунок 4.7-Сейсмоустойчивая крутизна β колеблющегося откоса на $tg\phi_w= 0.48773$

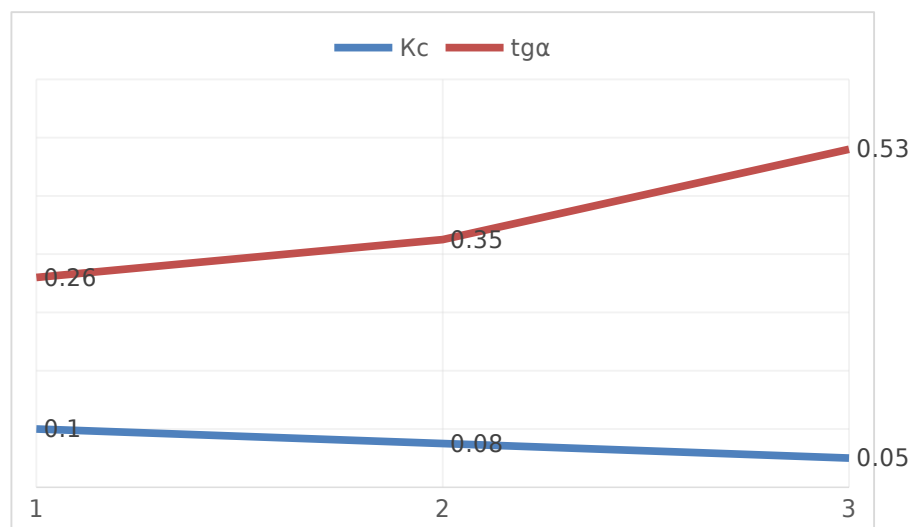


Рисунок 4.8-Сейсмоустойчивая крутизна β колеблющегося откоса на $tg\phi_w= 0.62487$

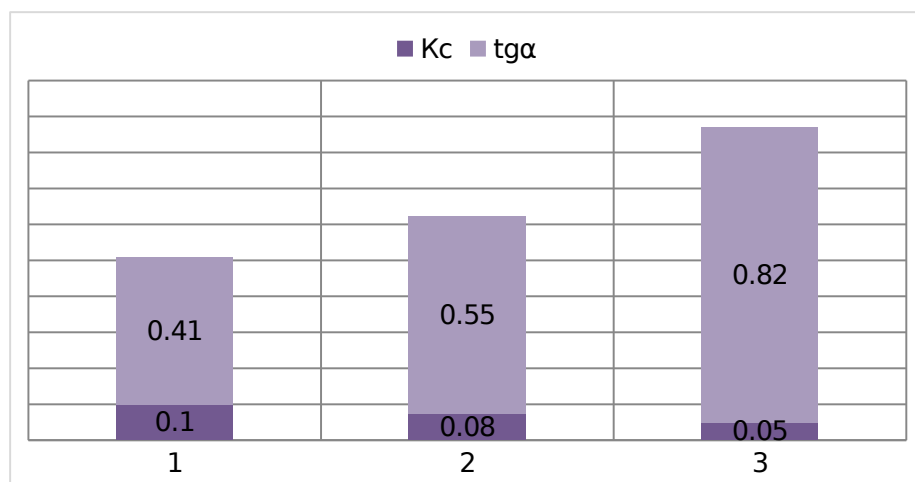


Рисунок 4.9-Сейсмостойчивая крутизна β колеблющегося откоса на $tg\phi_w=0,26795$

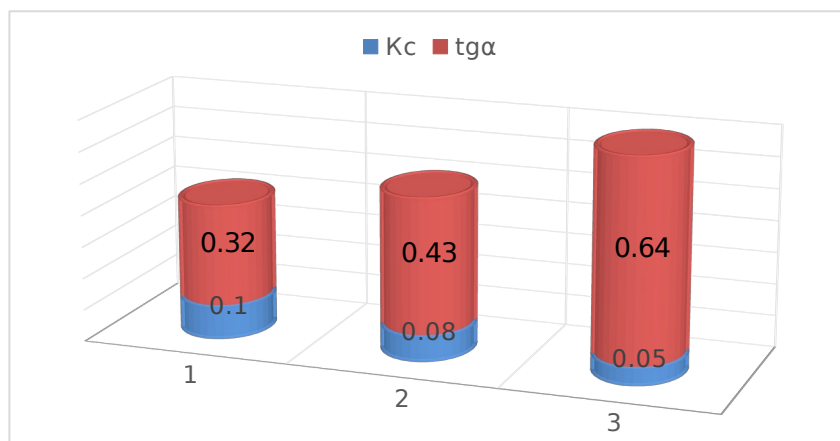


Рисунок 4.10-Сейсмостойчивая крутизна β колеблющегося откоса на $tg\phi_w=0.36397$

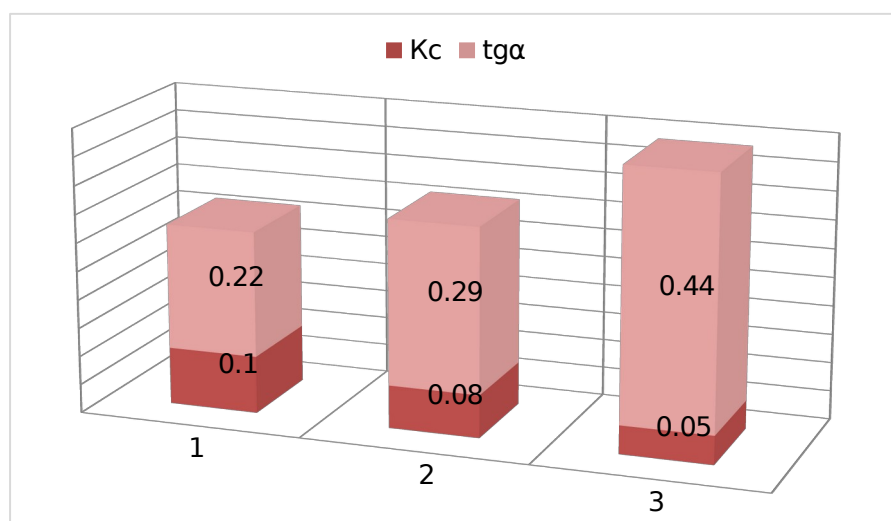


Рисунок 4.11-Сейсмостойчивая крутизна β колеблющегося откоса на $tg\phi_w= 0.48773$

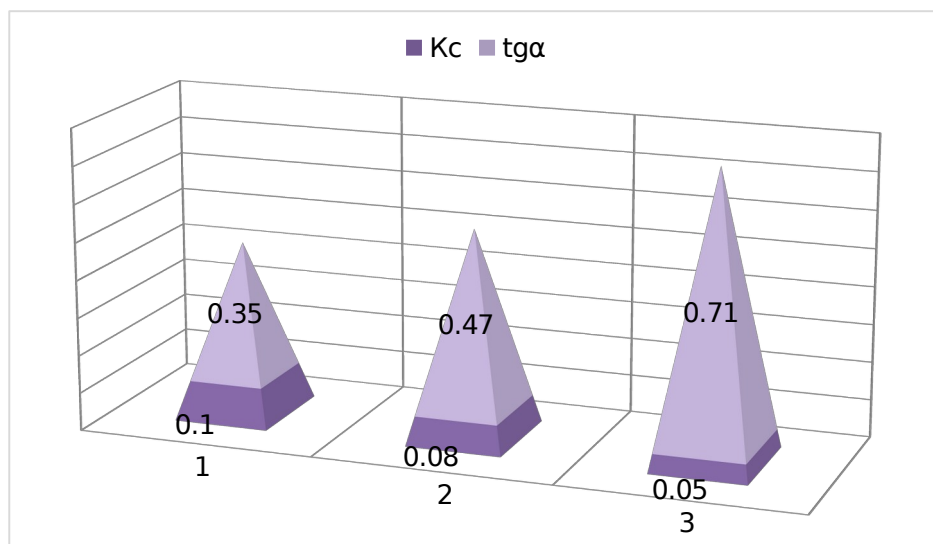


Рисунок 4.12-Сейсмоустойчивая крутизна β колеблющегося откоса на $tg\phi_w = 0.62487$

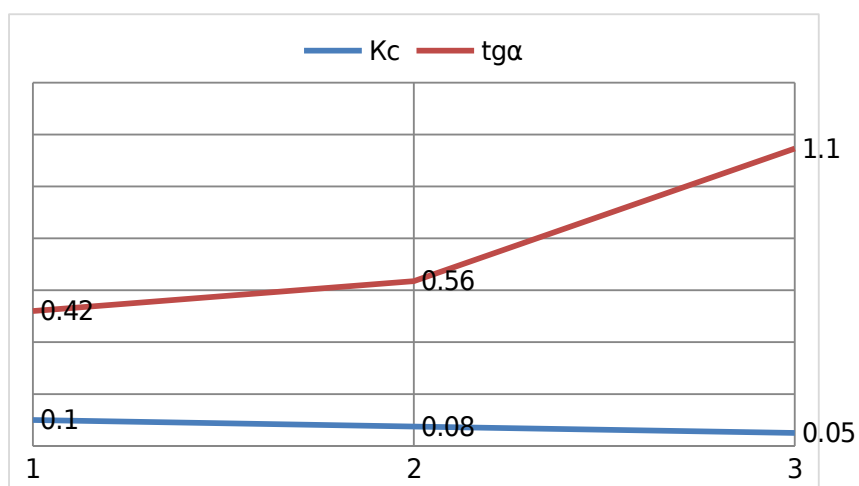


Рисунок 4.13 Сейсмоустойчивая крутизна β колеблющегося откоса на $tg\phi_w = 0.36397$

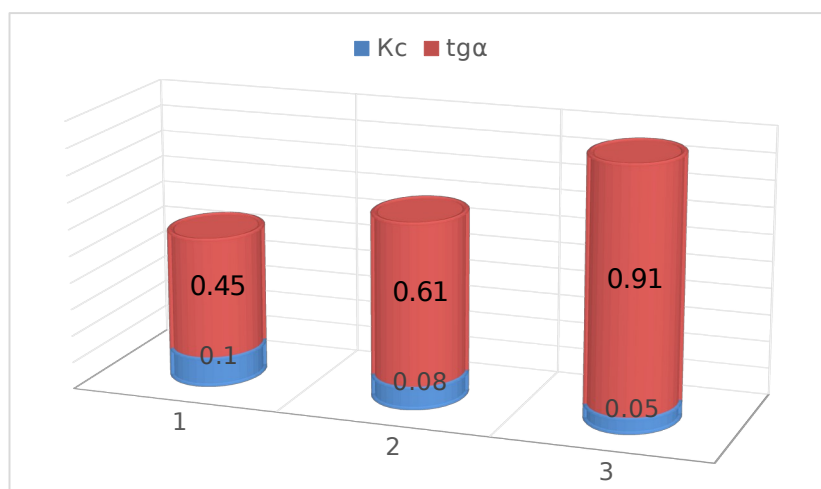


Рисунок 4.14-Сейсмоустойчивая крутизна β колеблющегося откоса на $tg\phi_w = 0.48773$

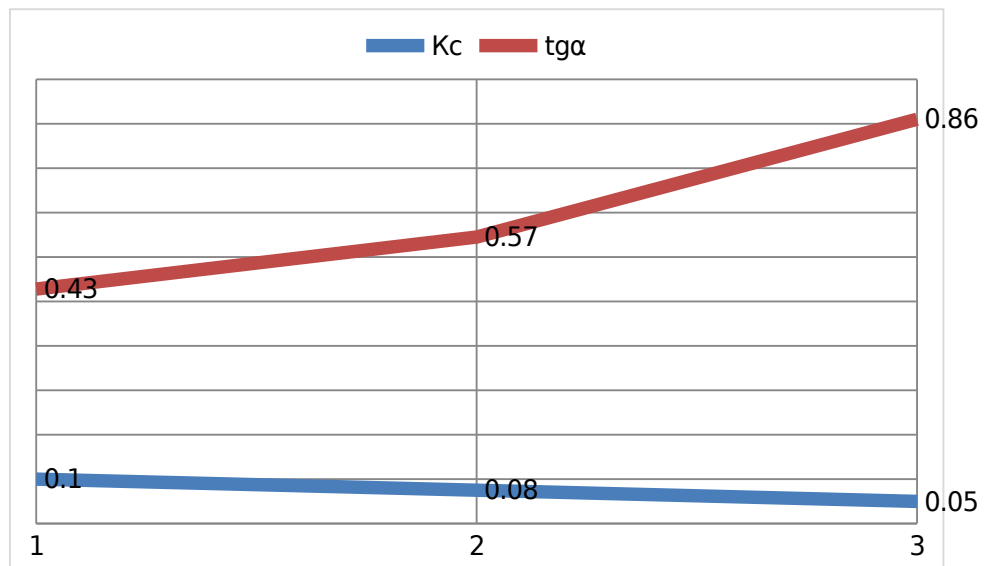


Рисунок 4.15-Сейсмостойчивая крутизна β колеблющегося откоса на $\text{tg}\phi_w = 0.62487$

Выражение 2.59 позволяет определить сейсмостойчивую крутизну откоса в условиях сейсмических колебаний. При этом любая крутизна, которая меньше значения, вычисленного по формуле (2.59), сможет выстоять под воздействием соответствующего сейсмического колебания, обеспечивая устойчивость самого откосного сооружения.

В соответствии с выражением (2.59), сейсмостойчивая крутизна откоса в общем случае, зависит от интенсивности воздействующего землетрясения (k_c) и прочностных характеристик грунтов (ϕ_w). Вторая часть зависимости указывает на возможность обеспечения устойчивости сооружения при данной крутизне, путем увеличения прочностных показателей грунта.

В случаях, когда на поверхности откоса отсутствует пригрузка, т.е. при $P_0 = 0$ (2.59) формула приобретает вид:

$$\text{tg}\alpha = \frac{\text{tg}\phi_w}{0,64k_c} \left(\text{tg}\phi_w + \frac{c_v}{\gamma_w H} \right).$$

PLAXIS — наиболее широко применяемая программа, делает расчеты дамбы, плотины, основание, фундаменты, откосы и т.д. В основном делается задачи инженерной геологии и геотехники. Делаются различные проекты инженерных зданий сооружений в любом сложном строительстве и по этой программе можно сравнить и рассчитать любые сложности объектов. Мы выбрали эту программу для того, чтобы все решения по откосным сооружениям были проанализированы по этой программе.

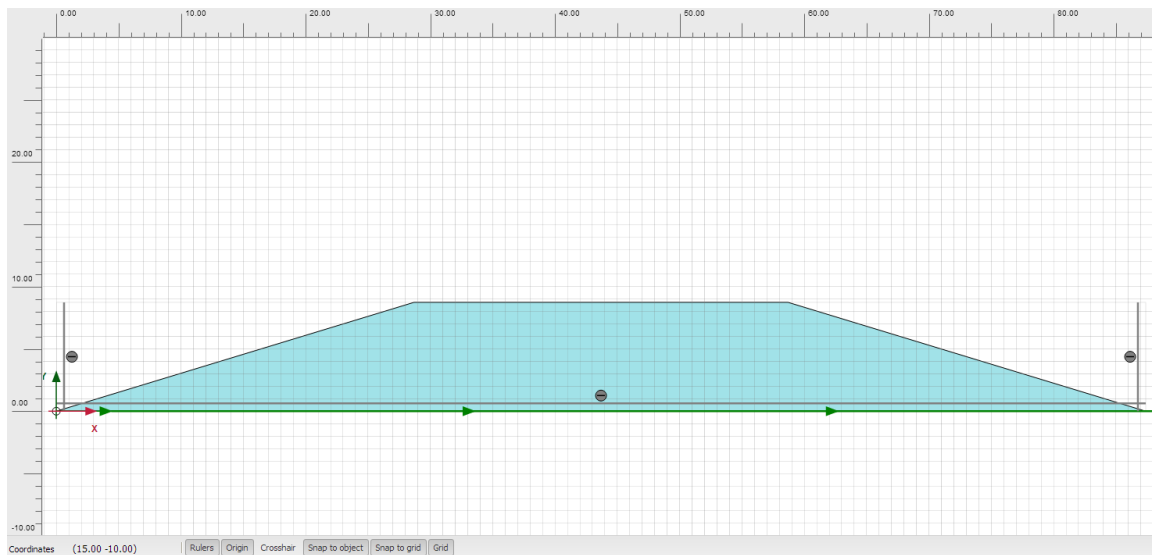


Рисунок 4.16 - Расчетная схема. Откос с углом 11°

1) Характеристики грунта согласно строке 8 соответствующей таблицы

Output Version 2019.0.0.0

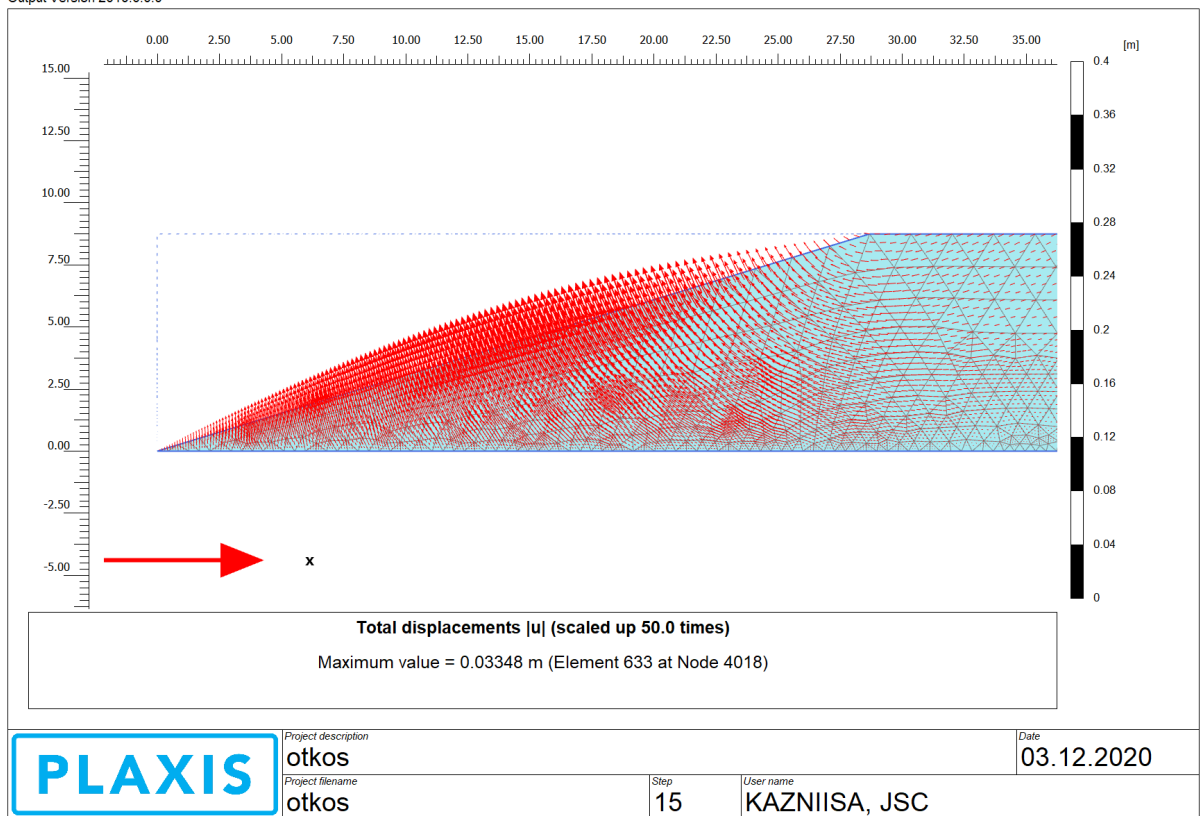


Рисунок 4.17 - Полные перемещения при статике

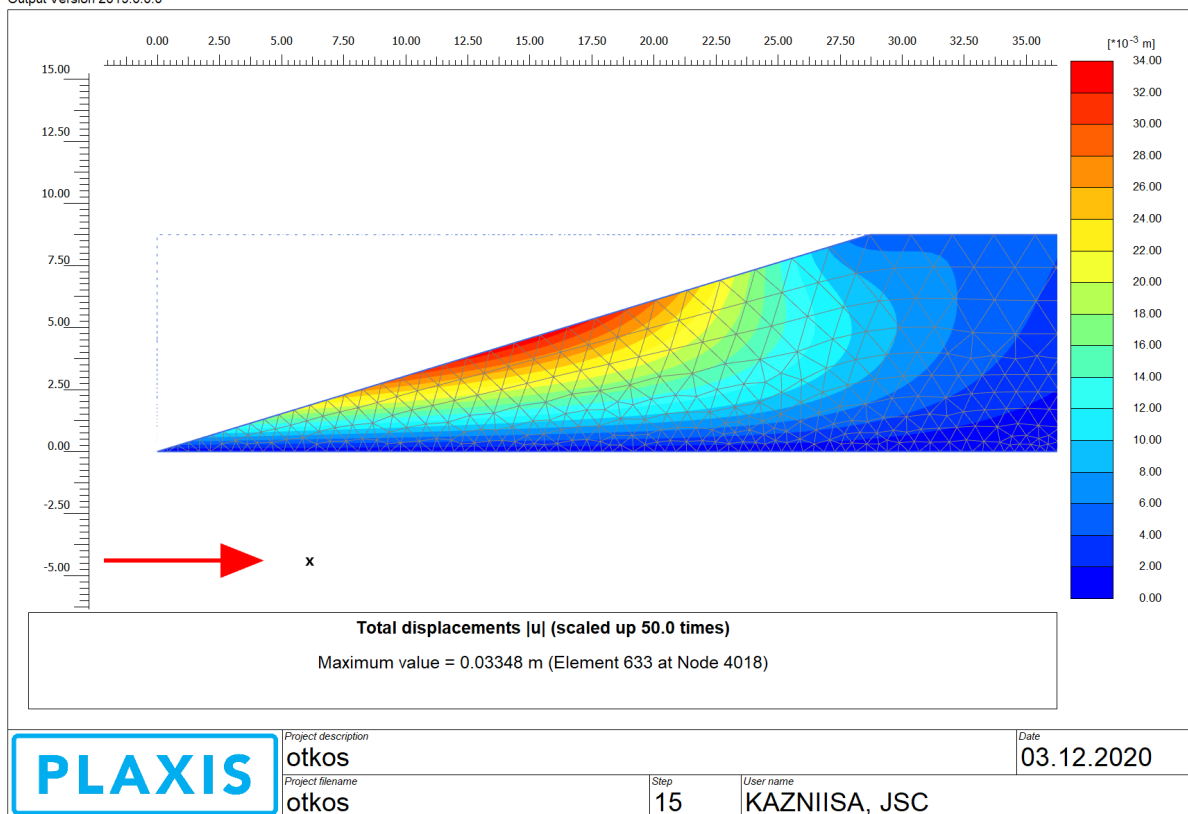


Рисунок 4.18 - Полные перемещения при статике

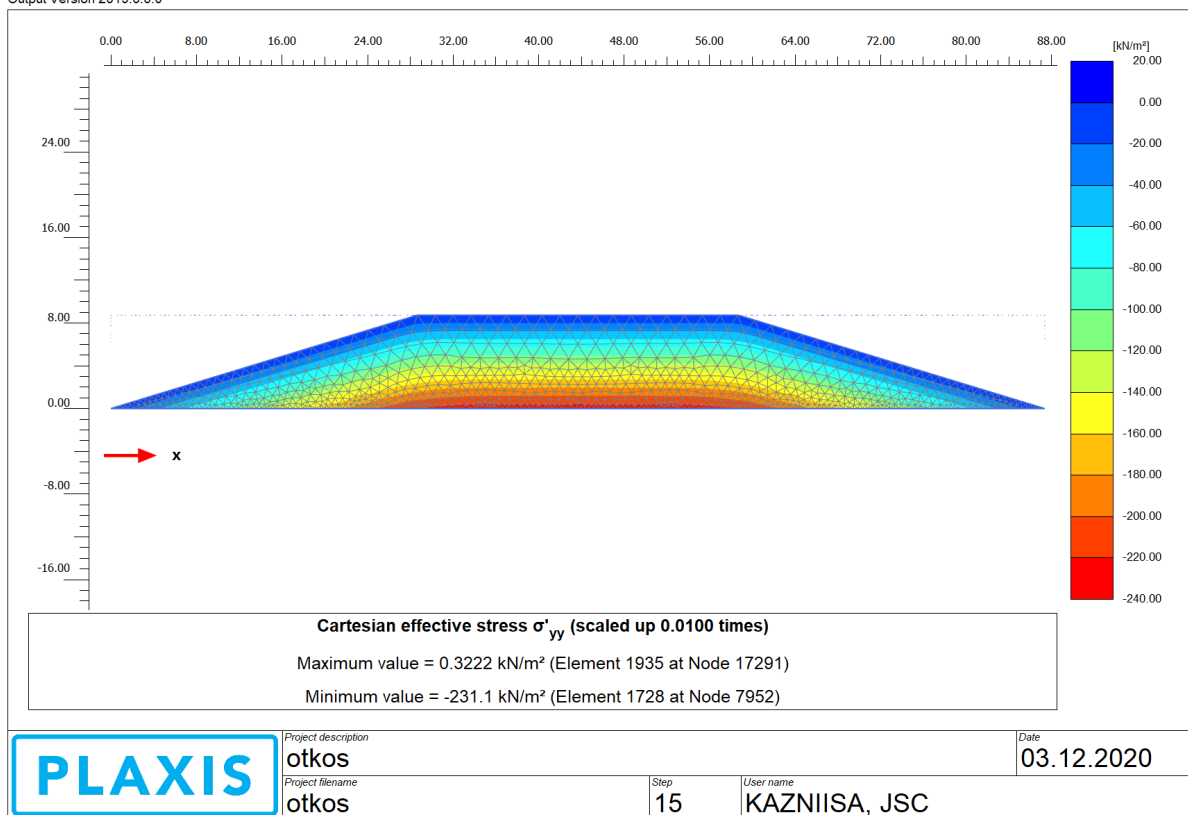


Рисунок 4.19 - Вертикальные напряжения

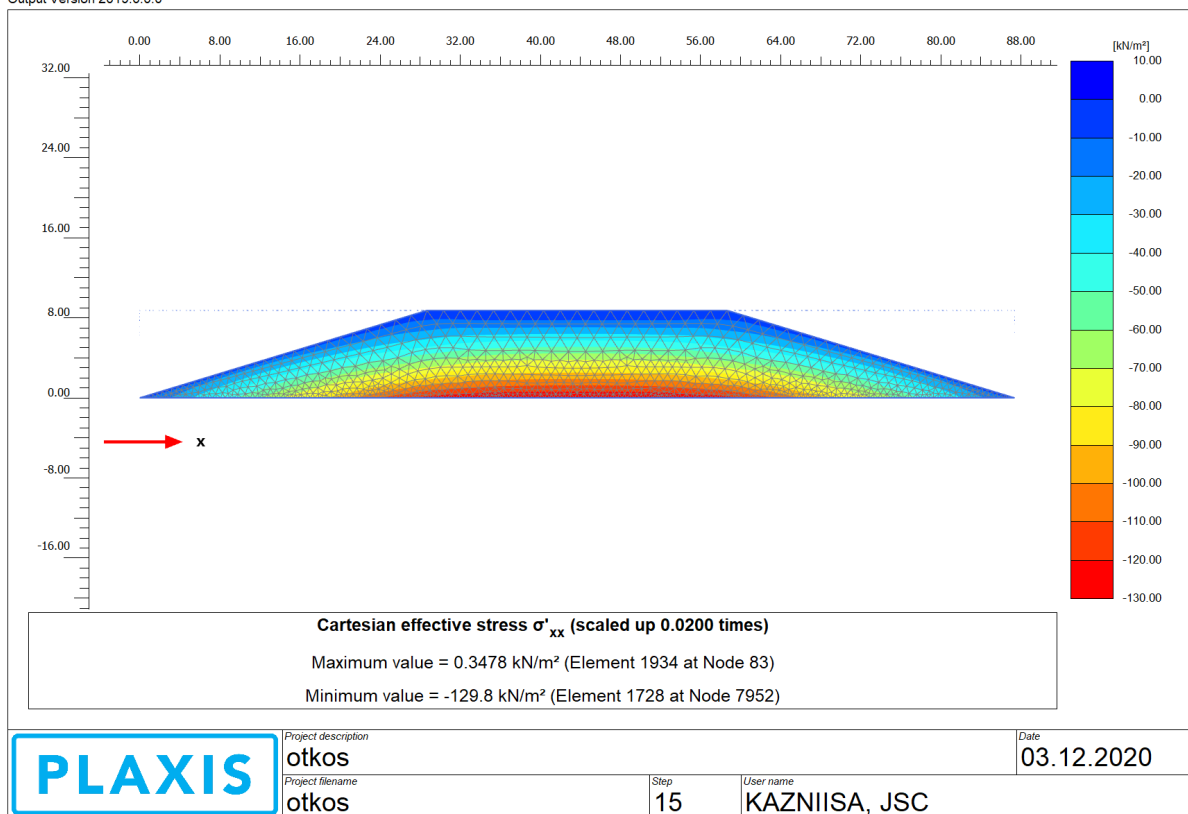


Рисунок 4.20 - Горизонтальные перемещения

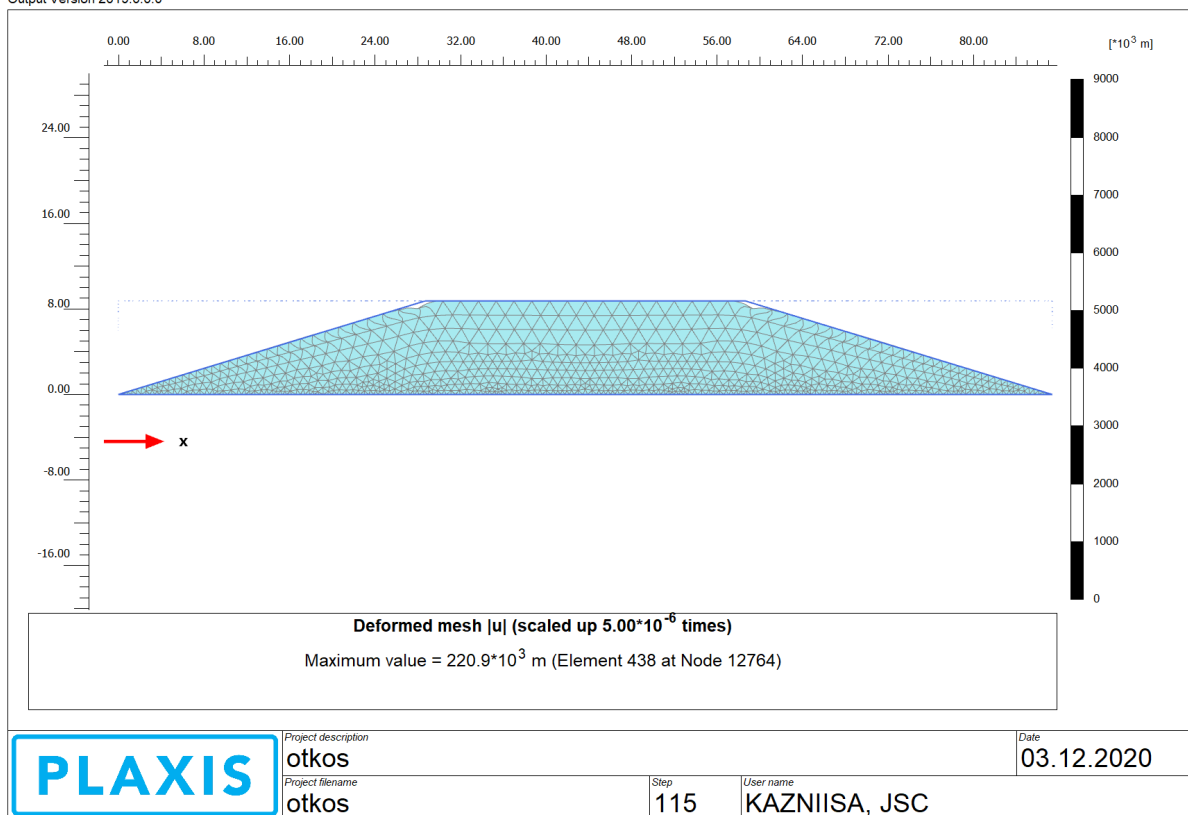


Рисунок 4.21 - Предельное состояние, при котором происходит разрушение откоса. Коэффициент устойчивости 1.37

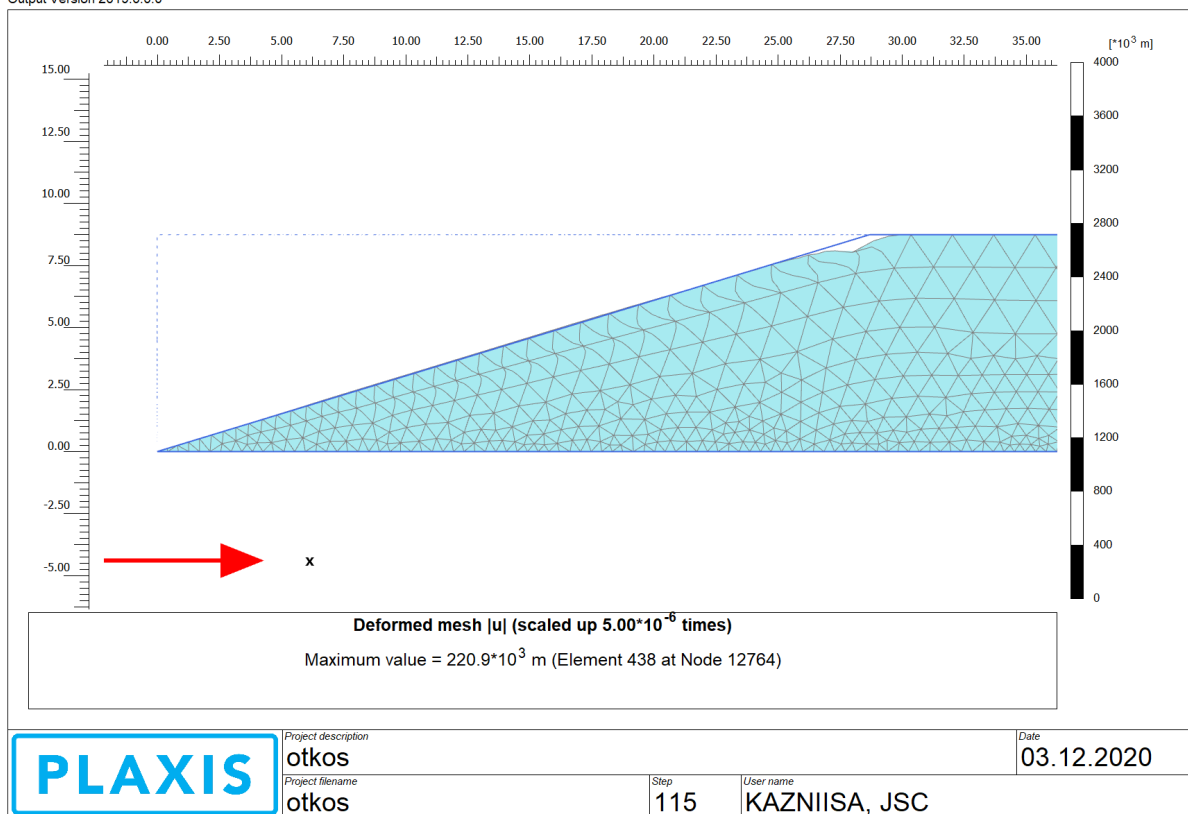


Рисунок 4.22– Деформированная сетка

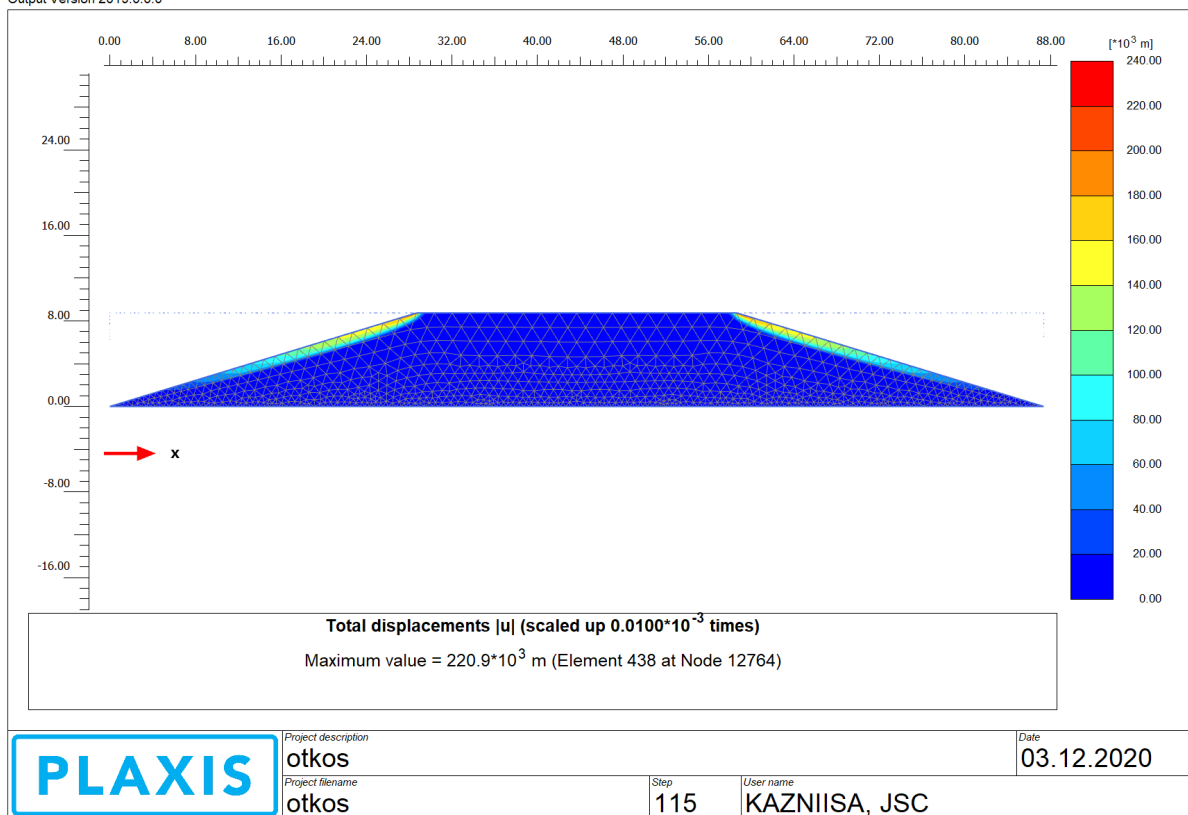


Рисунок 4.23 - Цветовая мозаика перемещений предельного состояния

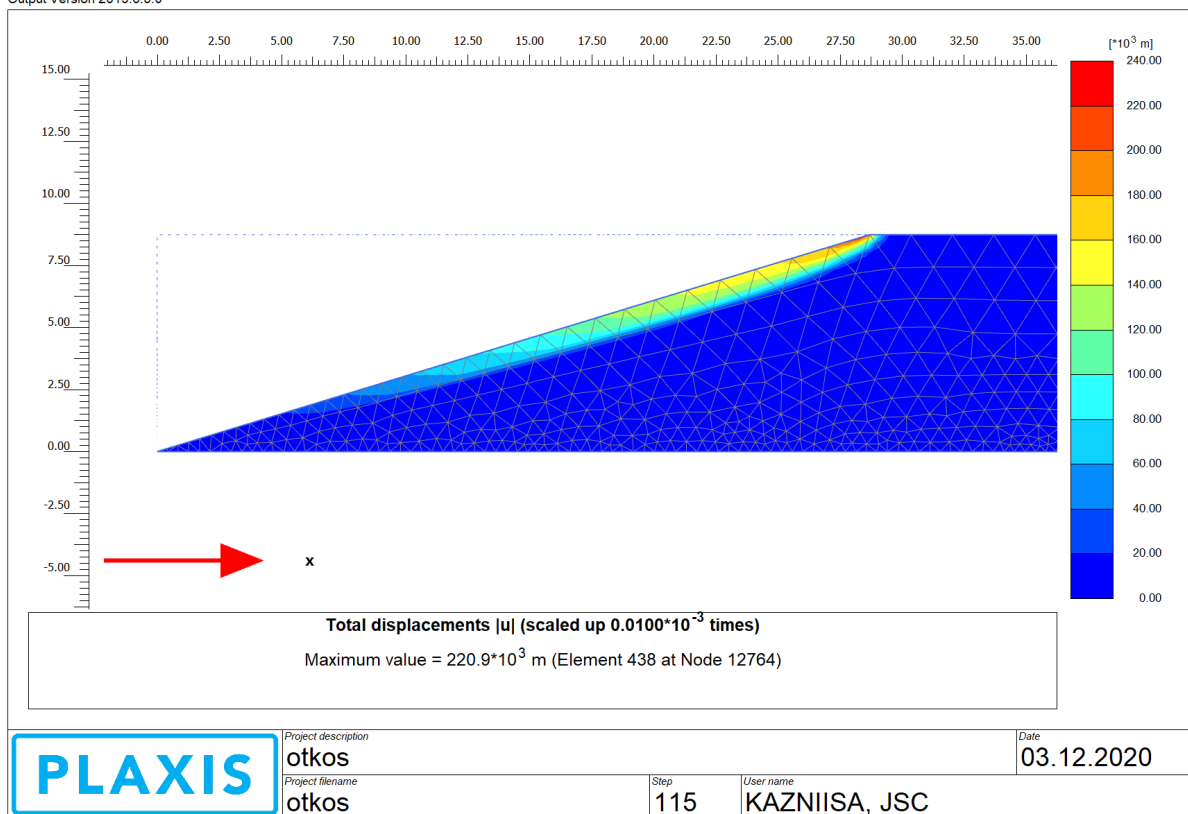


Рисунок 4.24– Общие перемещения

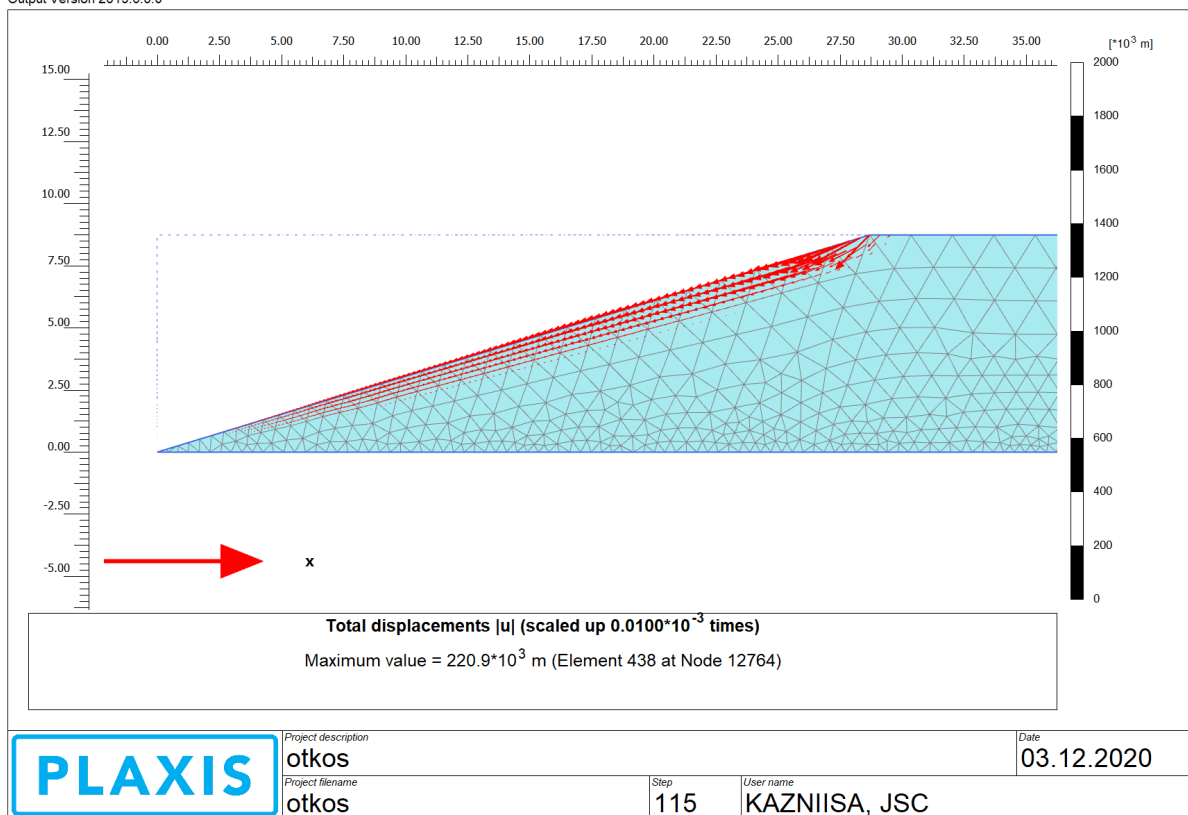


Рисунок 4.25 - Векторная мозаика перемещений предельного состояния

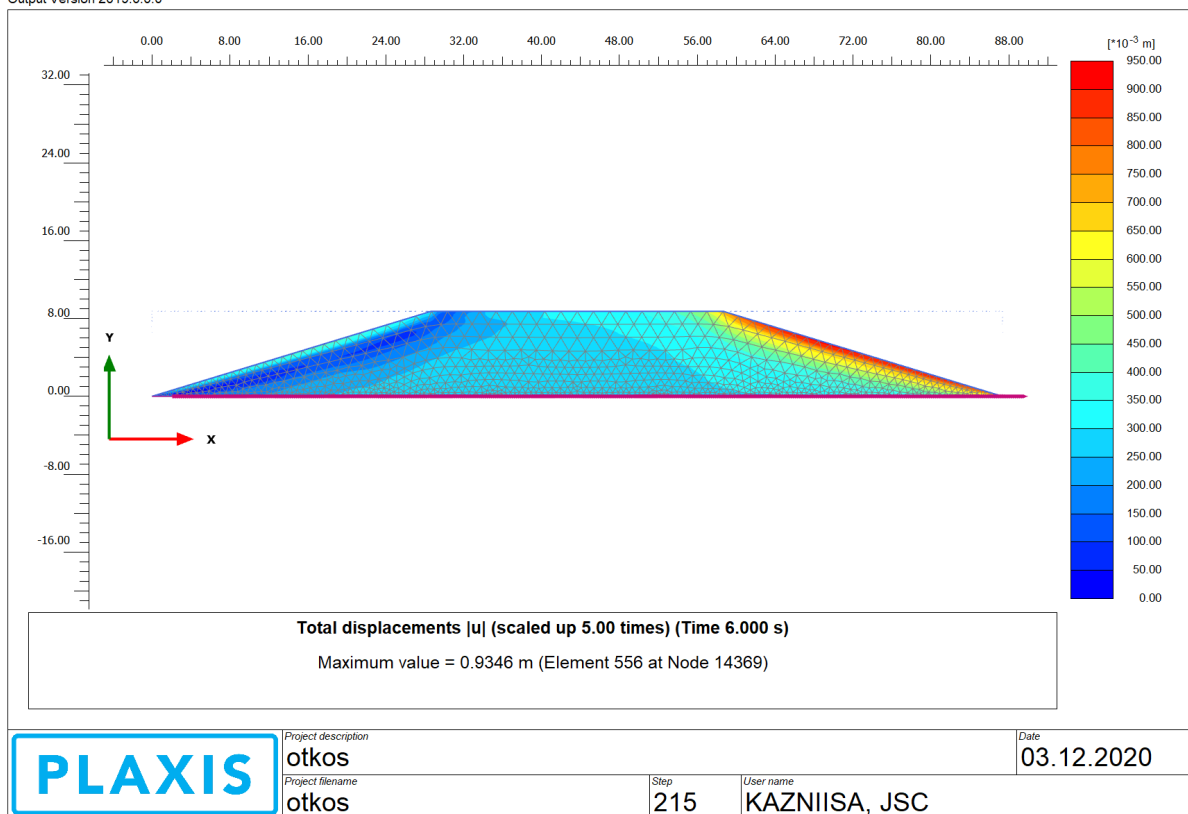


Рисунок 4.26 - Перемещения при сейсмике

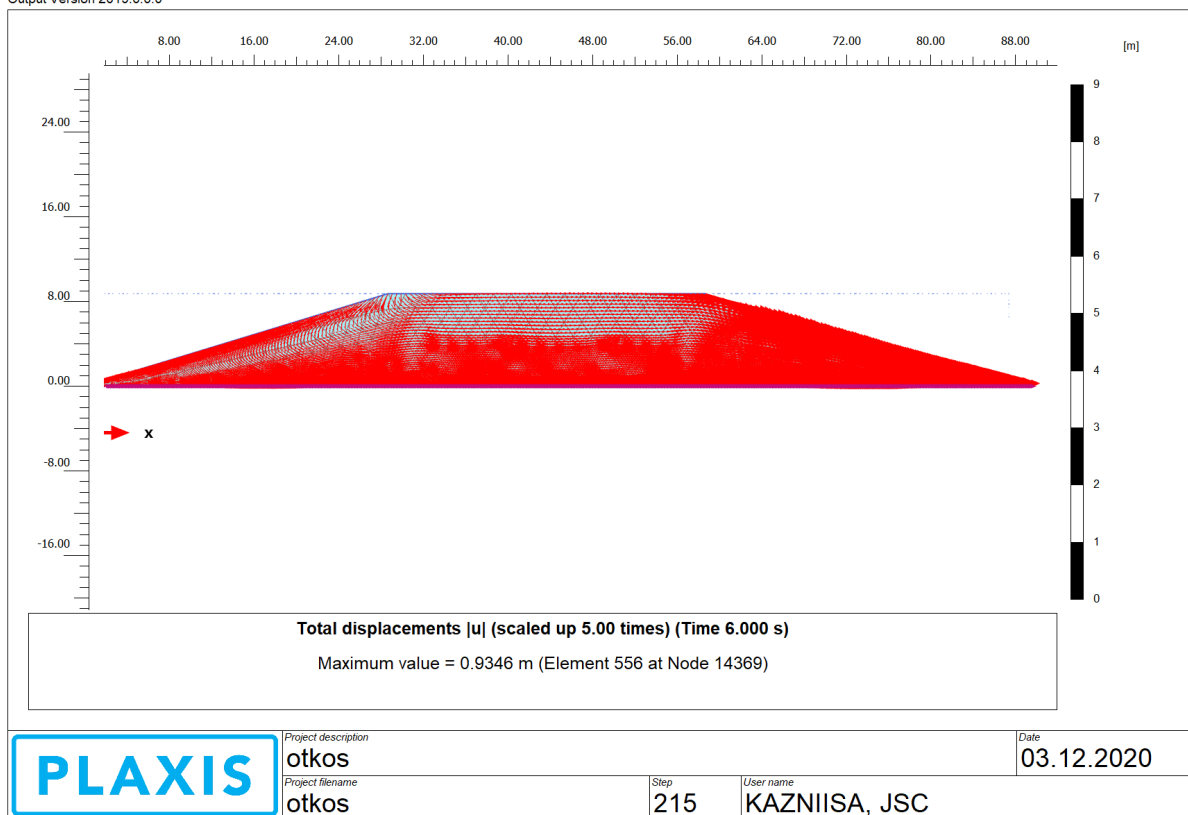


Рисунок 4.27 - Перемещения при сейсмике (векторные)

2) Характеристики грунта согласно строке 9 соответствующей таблицы

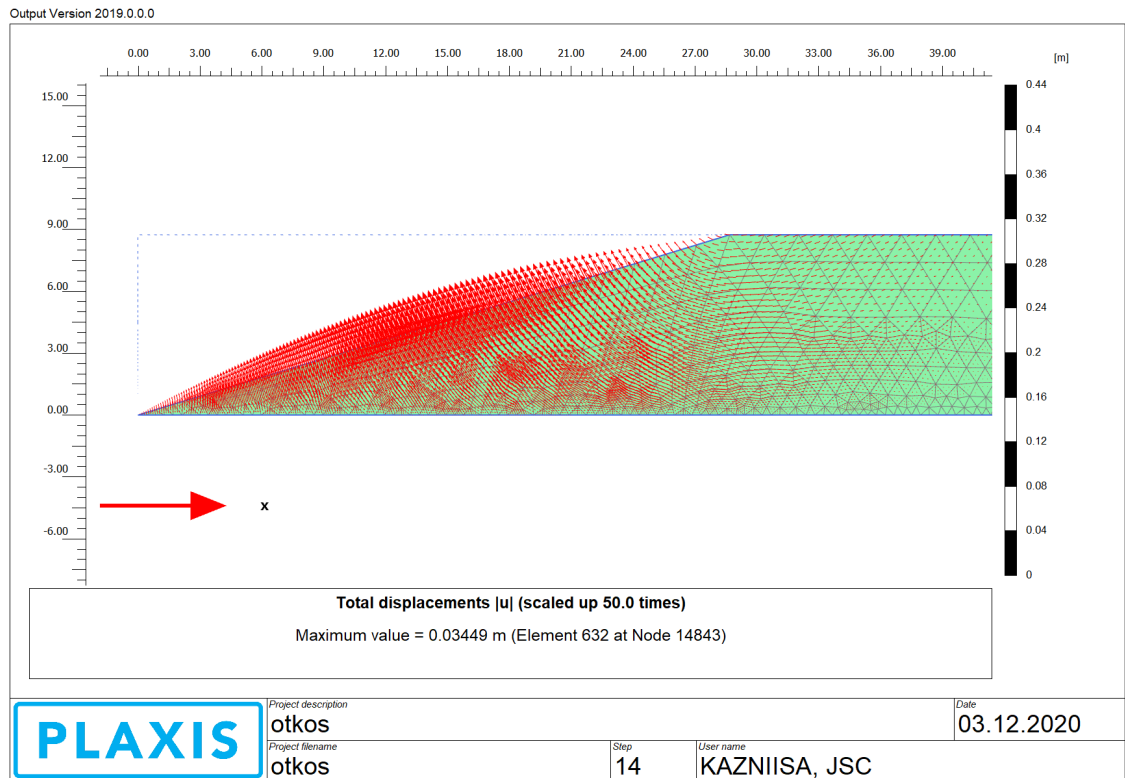


Рисунок 4.28 - Полные перемещения при статике

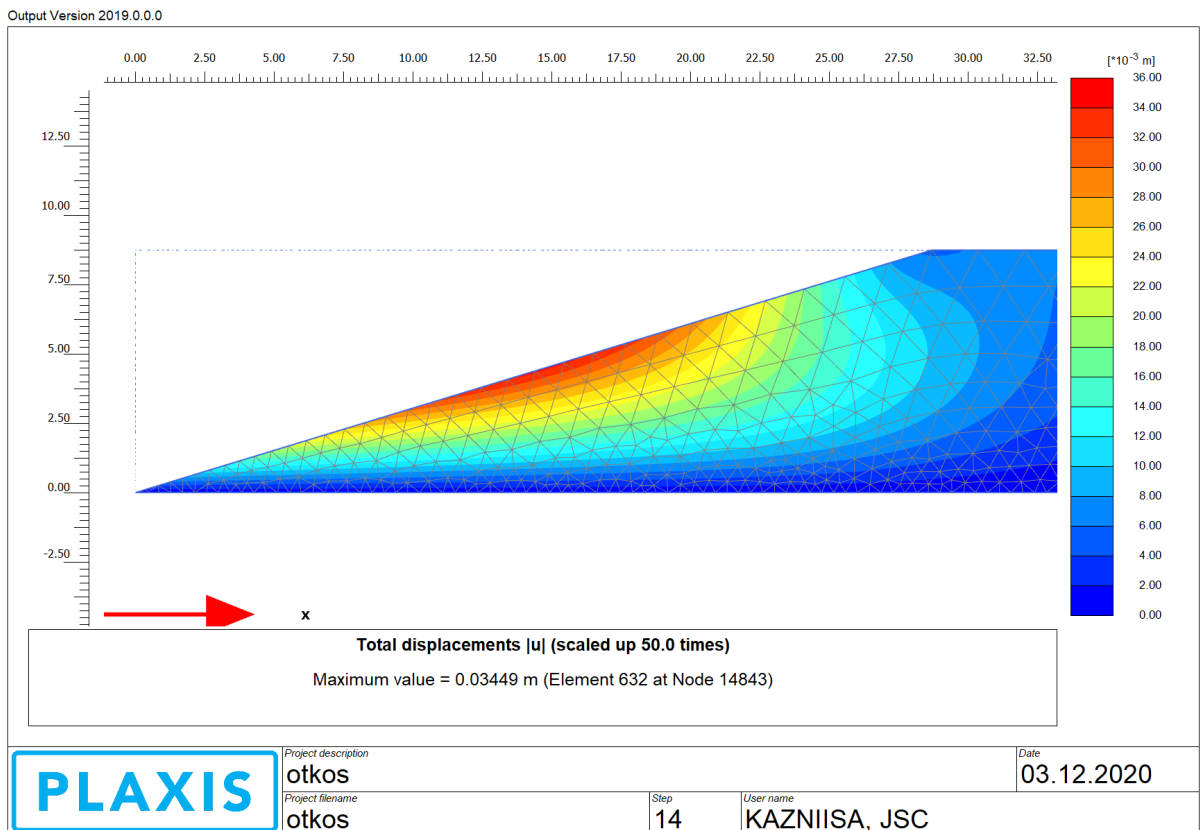


Рисунок 4.29 - Полные перемещения цветовая мозаика

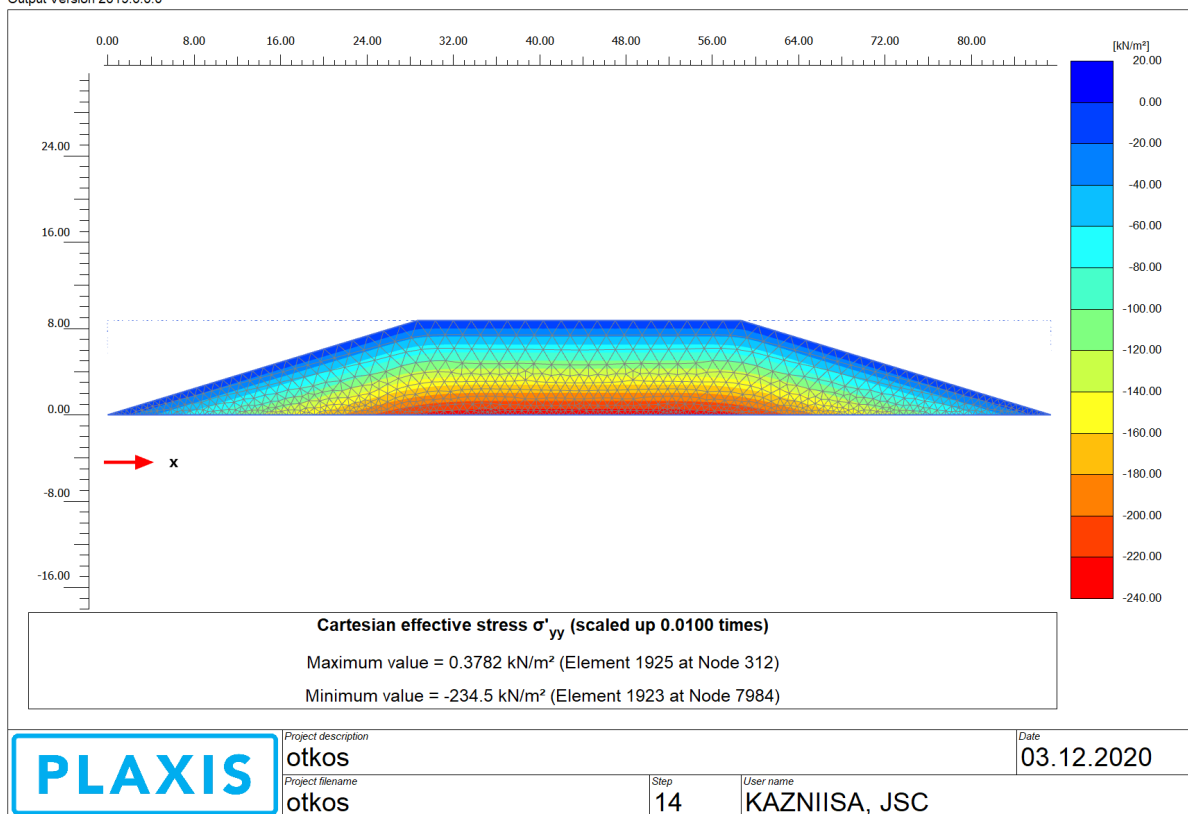


Рисунок 4.30 -Вертикальные напряжения

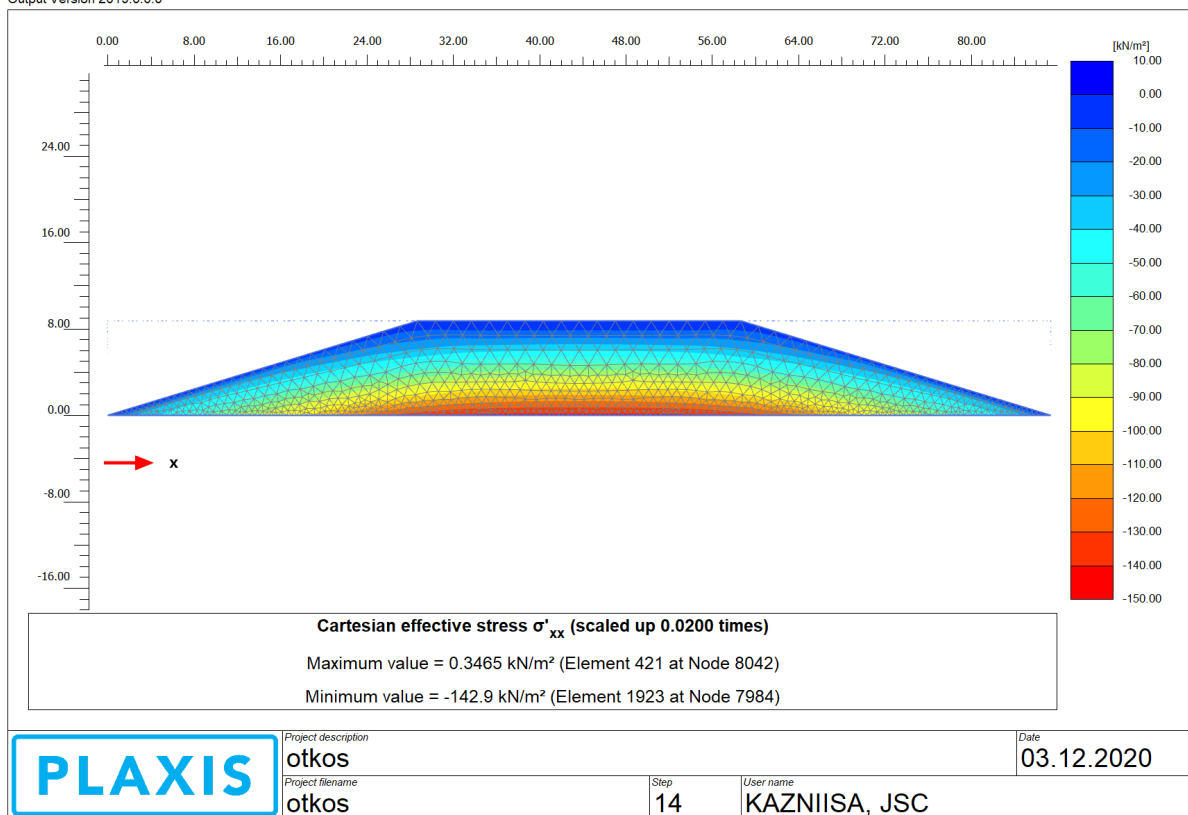


Рисунок 4.31 - Горизонтальные напряжения

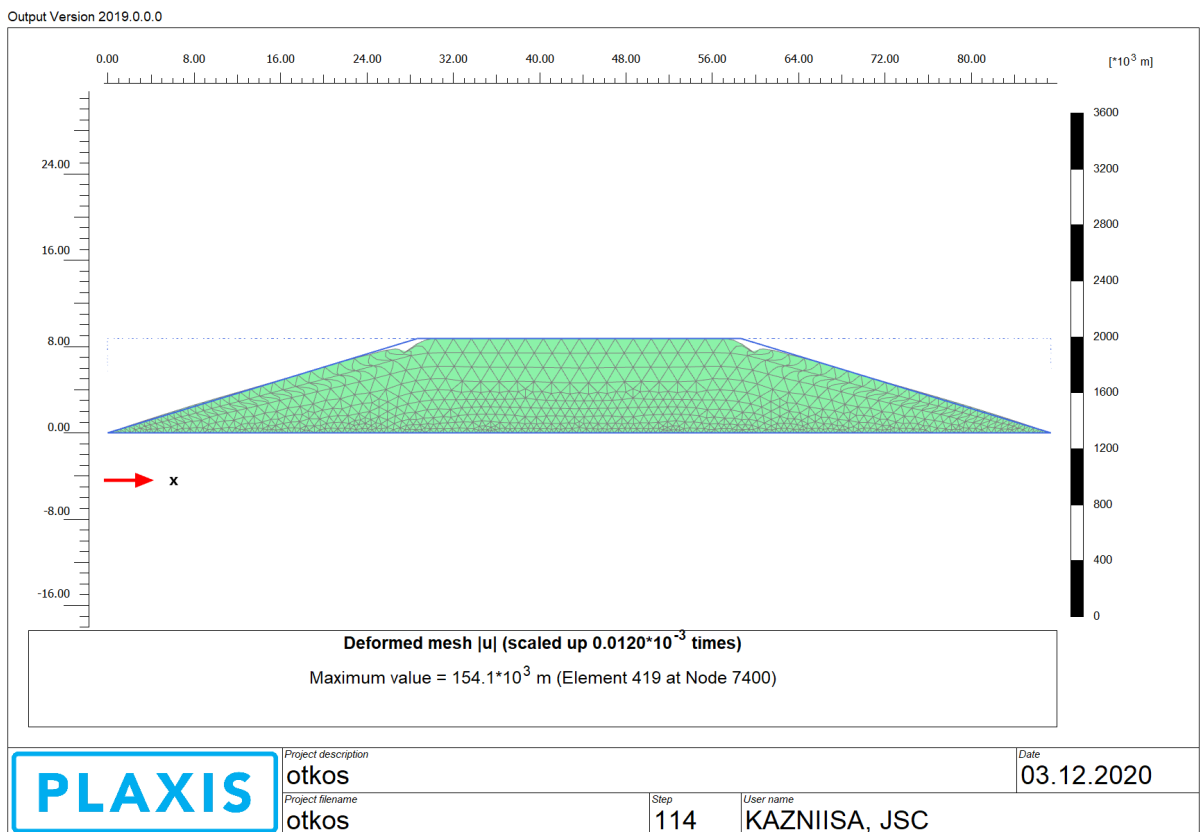


Рисунок 4.32 - Предельное состояние, при котором происходит разрушение откоса. Коэффициент устойчивости 1.39

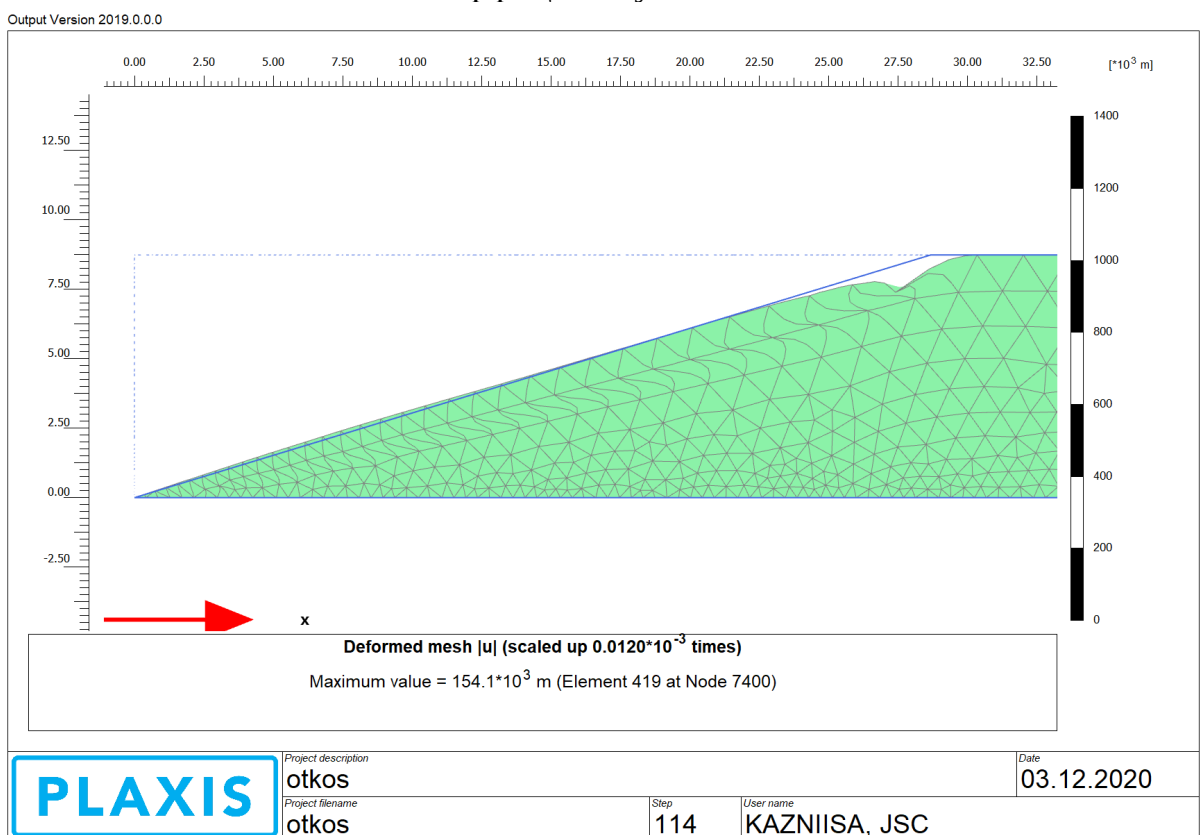


Рисунок 4.33—Отложенная сетка откоса

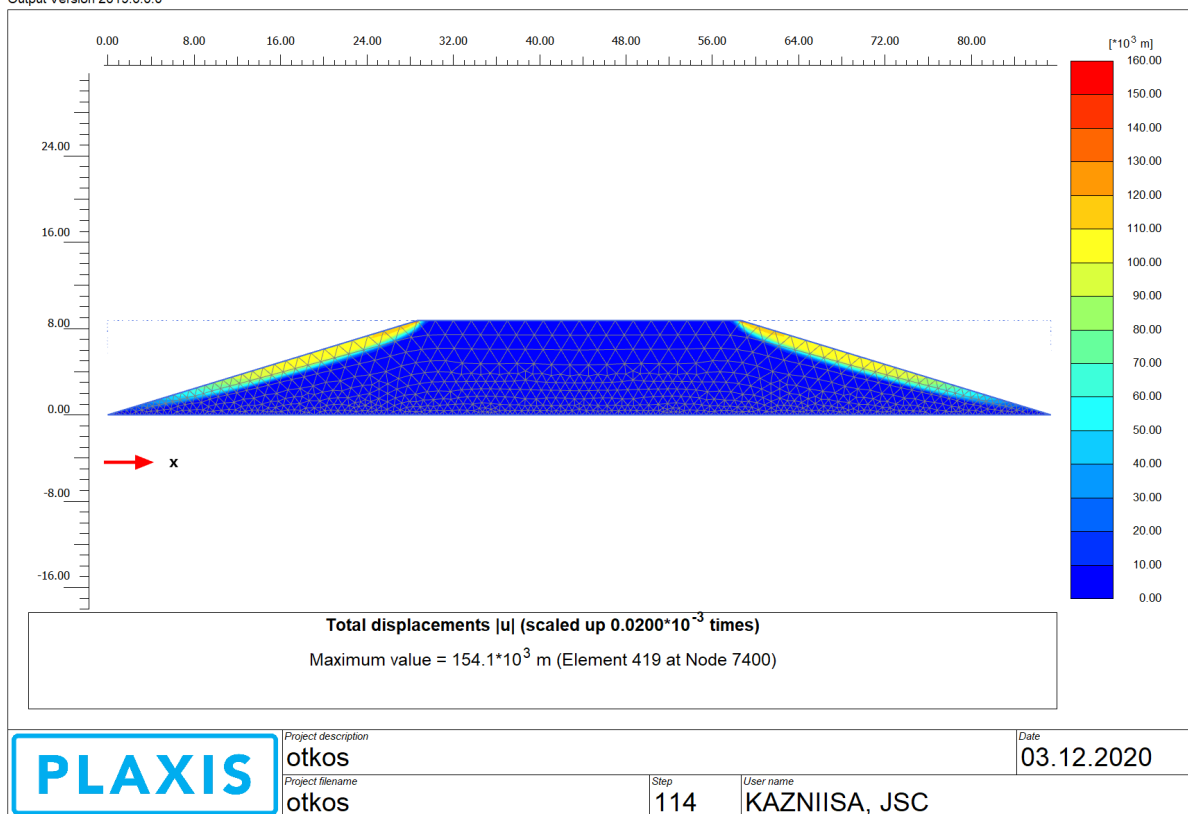


Рисунок 4.34 - Цветовая мозаика перемещений предельного состояния

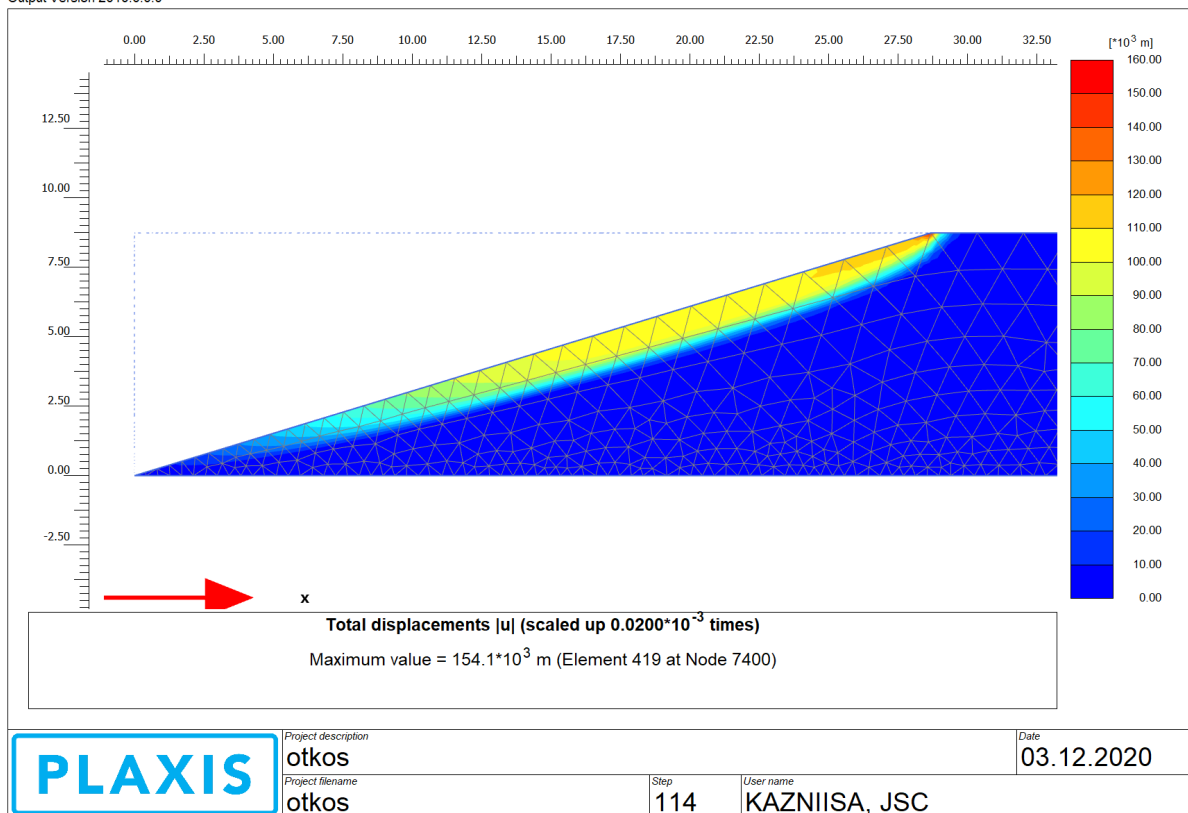


Рисунок 4.35–Общее перемещение откосов

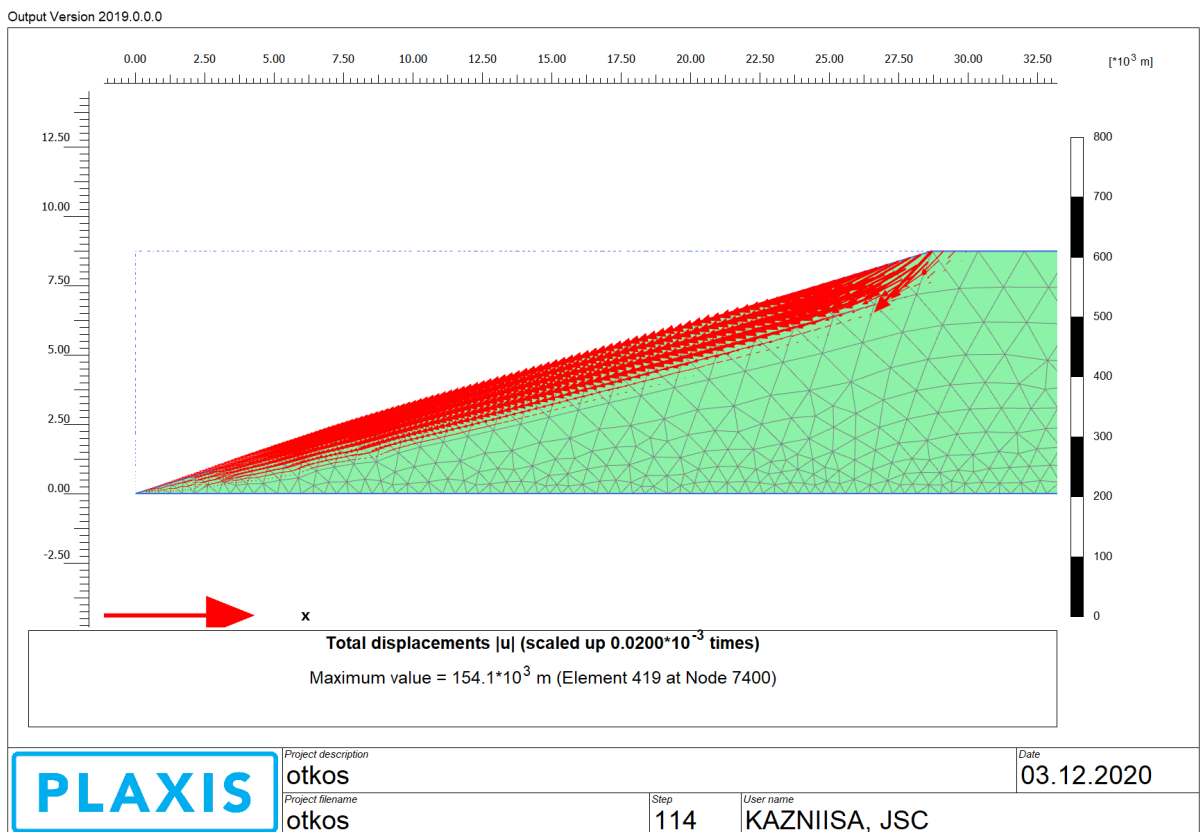


Рисунок 4.36 - Векторная мозаика перемещений предельного состояния

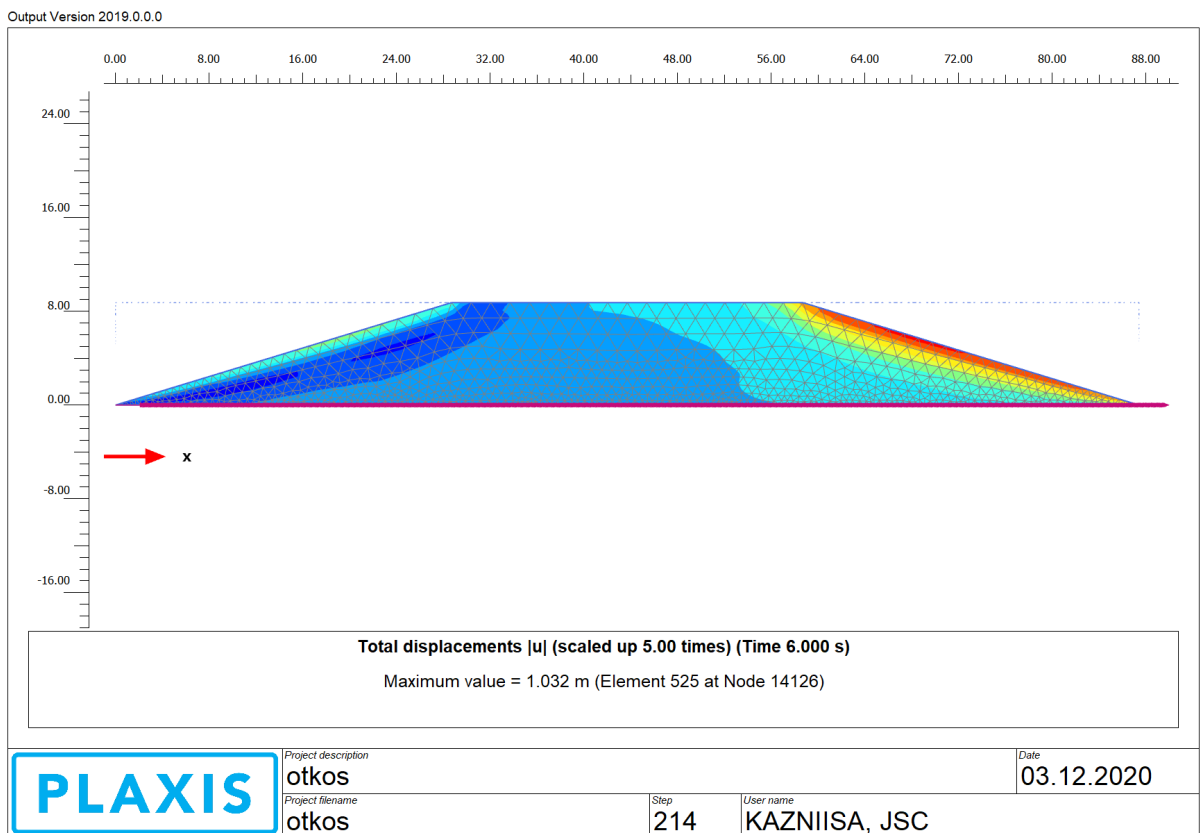


Рисунок 4.37 - Перемещения при сейсмике

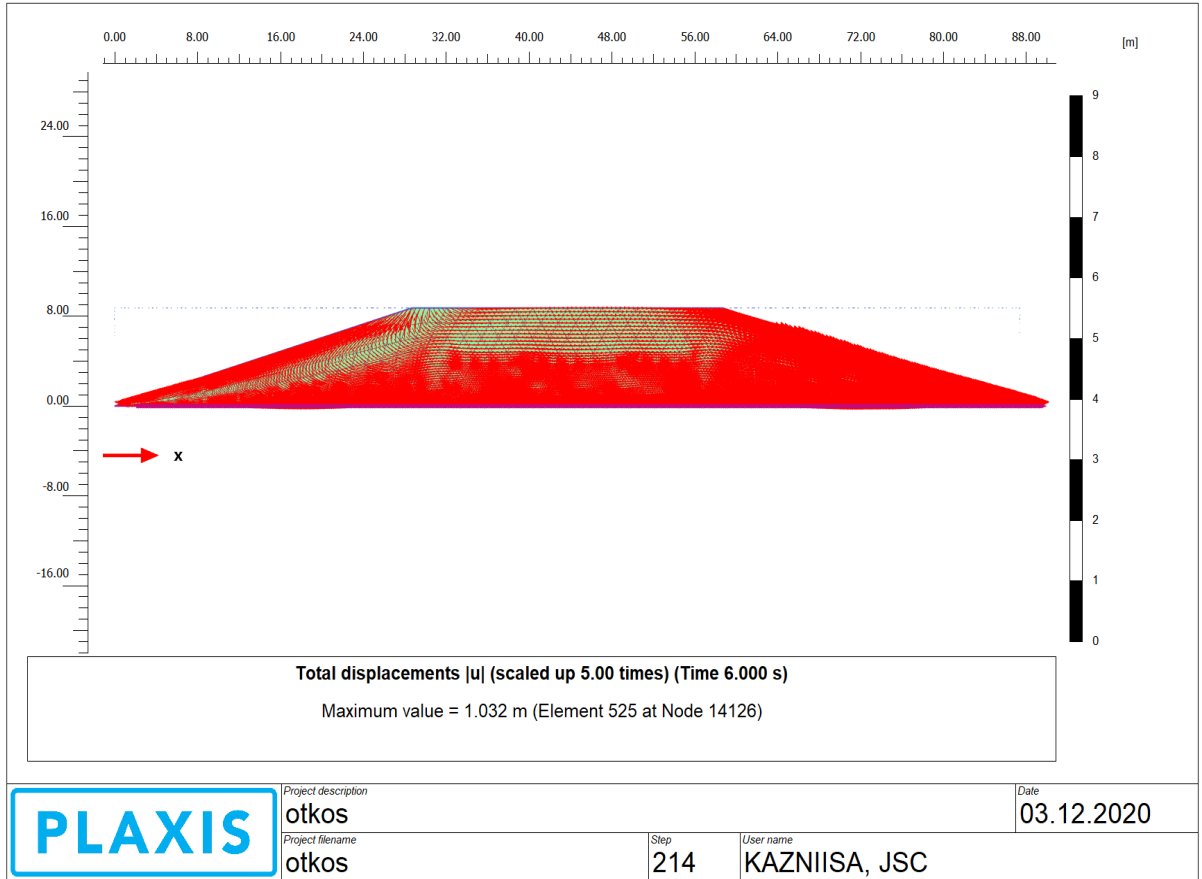


Рисунок 4.38 - Перемещения при сейсмике (векторные)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В практике эксплуатации откосных сооружений (плотины ГЭС, автомобильные и железнодорожные насыпи, дамбы и т.п.) немало случаев повреждения их при сильных землетрясениях с большим ущербом народному хозяйству. Анализ большинства защитных мероприятий, направленных на обеспечение устойчивости откоса, не полностью дают ожидаемые результаты из-за ограничения условий использования, недостаточного развития технологии возведения и т.п.

2. В работе развит метод оположения откоса с учетом поведения грунта при сейсмических воздействиях, сущность которого сводится к правильному назначению крутизны откоса, от которой зависит не только статическая, но и динамическая устойчивость его на весь период эксплуатации.

3. Сущность метода «Сейсмоустойчивая крутизна откосных сооружений» сводится к следующему:

- сейсмоустойчивая крутизна откоса α в первую очередь зависит от величины и составляющих сейсмического ускорения, по мере возрастания которого снижается крутизна откоса.

- существенное значение в сейсмоустойчивости крутизны откоса имеет прочность грунтов (φ, c, \dot{v}, t) .

- напряжения $(\sigma_{дин}, \dot{v})$, возникающие в толще от веса внешней нагрузки (p) и собственного веса грунта $(\gamma_w \cdot H)$ оказывают положительное влияние на сейсмоустойчивую крутизну откоса. По мере возрастания величина $(\sigma_{дин}, \dot{v})$ откоса становится круче.

- динамический напор $h_{z,t}$ также влияет на устойчивость откоса. В случаях когда $h_{z,t} = \sigma_{дин}$ грунты в откосе полностью переходят в разжиженное состояние с проявлением оползней.

4. Положения в пункте 3 подтверждены экспериментальными исследованиями, проведенными нами на увлажненных лессовых грунтах, где установлена зависимость крутизны откоса от прочности грунта, его плотности-влажности, динамического напора, напряжения от собственного веса грунта и внешней нагрузки, ускорения колебательного движения и его составляющих.

5. Плотность грунта и наличия в его составе глинистых частиц способствуют устойчивости крутизны откоса. Любое повышение влажности грунта и повышение окатанности зерен ослабляют динамическую устойчивость откоса. Сцепление грунта и содержание глинистых частиц способствуют сохранению вертикальности откоса, а у пластичной связности это обстоятельство зависит от состояния влажности. Любая внешняя нагрузка на откос также повышает его устойчивость.

6. Устойчивая крутизна откоса зависит от динамического воздействия (a_c) по мере увеличения которого требуется оположение откоса. Существенное влияние на устойчивость откоса оказывают также составляющие ускорения, таких, как: частота (f) и амплитуда (A) и т.п. В то же время крутизна откоса уменьшается по мере увеличения продолжительности колебания.

7. Возникновение динамического напора в теле водонасыщенного грунта способствует снижению устойчивости откоса, которое способствует возникновению оползней и оплывунов при сильных землетрясениях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Стратегии и программы Республики Казахстан - akorda-kz https://www.akorda.kz/ru/official_documents/strategies_and_programs. 24.11.2010г.
- 2 Указ Президента Республики Казахстан от 19 марта 2010 года № 957 «Об утверждении Перечня государственных программ», https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31497811#pos=1;-16. 31.03.2014г.
- 3 Маслов Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов. - М.: Высшая школа, 1982. – 571 с.
- 4 Seed H.B., Harder L.F. SPT-based analysis of cyclic pore pressure generation and undrained residual strength // Proceedings of the B. Seed memorial Symposium. – 1990. - Vol.2. - P. 351-376.
- 5 Бауск Е.А., Головки С.И., Швец В.Б. Влияние динамических воздействий на устойчивость склона // Динамика оснований и фундаментов и подземных сооружений: тезисы VII конф. – Днепропетровск, 1989. - С. 148-149.
- 6 Гольдштейн М.Н. Исследование устойчивости оползневых масс и способы ее повышения // В кн.: Борьба с оползнями, обвалами и размывами на железных дорогах Кавказа. – М.: ДИИТ, 1971. – С.15-32.
- 7 Денисов Д.Я. Основные причины возникновения оползней и меры борьбы с ними // В кн.: Борьба с оползнями, обвалами и размывами на железных дорогах Кавказа. – М.: ДИИТ, 1971. – С.44-49.
- 8 Мартемьянов А.И. Инженерный анализ последствий землетрясений. – Ташкент: Изд-во «Фан», 1976. - 214 с.
- 9 Маслов Н.Н. Условия устойчивости водонасыщенных песков. – М.: Госэнергоиздат, 1961. - 328 с.
- 10 Расулов Х.З. Сейсмостойкость лессовых оснований зданий и сооружений. – Ташкент: Изд-во «Узбекистан», 1977. -163 с.
- 11 Поляков С.В. Последствия сильных землетрясений. - М.: Стройиздат, 1978. -311 с.
- 12 Расулов Х.З. Сейсмостойкость грунтовых оснований. –Ташкент: Изд-во «Узбекистан», 1984. -192 с.
- 13 Окомото Ш. Сейсмостойкость инженерных сооружений. –М.: Стройиздат, 1980. – 241 с.
- 14 Описание землетрясения на сайте геофизической службы США – USGS. <https://www.usgs.gov/news/urban-growth-southeastern-us-potentially-threatens-health-small-streams> 21.11.2019.
- 15 Мощное землетрясение в Чили - последние новости сегодня ria.ru/20100227/211238940. www.ria.ru/earthquake_chile_27.02.2010
- 16 Уломов В.И. Исфара - Баткенское и Таваксайское землетрясения 1977 года. – Ташкент: Изд-во «Фан», 1981. – 152 с.
- 17 Джураев А. Влияние просадочности лессовых грунтов территории Назарбека на сейсмический эффект при Назарбекском землетрясении 1986 года // Научные и прикладные основы решения актуальных проблем сейсмологии: матер.конф. – Ташкент: 2006. – С.282-285.

- 18 Котилья М.О. Землетрясение разрушило исторический центр Сантьяго // В мире. -GZT.RU.-2010.www.sibran.ru > upload > iblock.
- 19 Betsy M. Chile earth quake moved city of Concepcion 10ft to the west.- London: Telegraph.www.telegraph.co.uk > news. 03.08.2010.
- 20 М 7-8 – 29 km ESE of hamjung Nepal // United States Geological Survey. www.earthquake.usgs.gov > us2000...25.05.2015.
- 21 Землетрясения с информацией от властей Непала // EarthquakeReliefPortal. www.ru.wikipedia.org > wiki > 18.01.2018.
- 22 Response spectrum of 2015 Gorkha earthquake (Mw 7.8) recorded at DMG (soil) site. National Seismological Center-Национальный сейсмологический центр Непала. www.earth-planets-space.springeropen.com > ...13.02.2017.
- 23 Ниязов Р.А. Оползни Узбекистана. – Ташкент: Изд-во «ГИДРОИНГЕО», 2009. – 207 с.
- 24 Антоненко, Э. М. Комплексное микросейсмораионирование территории города Алма-Аты с использованием высокочастотных микросейсм: Автореферат дис. на соискание учен. степени кандидата геол.-минералогич. наук / Акад. наук КазССР. Ин-т геол. наук. - Алма-Ата : [б. и.], 1962. - 23 с.;
- 25 Цой Н. Дрожь Земли // Газета «Новое поколение». – 2010. - № 12.
- 26 Турсунов А. Земля гудела и тряслась // Газета «Новое поколение». – 2013. - № 25.
- 27 Велли Ю.Я. К вопросу о сейсмической устойчивости намывных ядерных плотин // Вопросы механики грунтов: сб. науч. тр. ЛИСИ. – 1968. - Вып.28. – С.54-68.
- 28 Мусаэлян А.А. Некоторые результаты исследования просадочности грунтов при циклических нагрузках // Докл. АН Таджикистана. – Душанбе, 1965. - Т. VIII, №11. – С.67-74.
- 29 Шкицкий Ю.П. Некоторые вопросы оценки и обеспечения гидродинамической устойчивости затопленных откосов, сложенных несвязными грунтами в сейсмических условиях // Труды МАДИ. – 1978. - Вып.62. – С.48-54.
- 30 Частоедов Ю.Н. Количественная оценка динамической структуры водонасыщенных песков: дис. ... канд.геол.-минер.наук: 25.00.08. – М.: ПНИИС, 1989. - 176 с.
- 31 Штейнбругге К., Моран Д. Инженерный анализ последствий землетрясений 1952 года в Южной Калифорнии. – М.: Госстройиздат, 1957. – 269 с.
- 32 Gulatilake P. Development of a new peak shear strength criterion for anisotropic soils joints // Proc. of the First Central Asian Geotechnical Symposium. – Astana, 2000. – Vol. 1. – P. 319-331.
- 33 Оразымбетов Н.О., Сердюков М.М., Шанин С.А. Ашхабадское землетрясение 1948 года. – М.: Госстройиздат, 1960. – 307 с.
- 34 Tanaka Y., Kudo Y., Yoshida Y. A study on the mechanical properties of Sandy gravel dynamic properties of reconstituted sample // Report U 87019 / Central Research Institute of Electric Power Industry. - 1987. — P.77- 82.

35 Иинов П.Л. Уплотнение малосвязных грунтов взрывами. – М.: Стройиздат, 1983. -218 с.

36 Мирзаахмадий М. О модели гипотетического грунта Герсеванова и его применении при расчете устойчивости откосов // Труды 1-го Центрально-Азиатского геотехнического симпозиума. – Астана, 2000. - Т.1. – С. 243-246.

37 Ниязов Р.А. Оползни в лессовых породах. –Ташкент: Изд-во «Фан», 1974. – 127 с.

38 Байнатов Ж.Б. Графаналитический метод определения устойчивости откосов // Труды 1-го Центрально-Азиатского геотехнического симпозиума. – Астана, 2000. - Т.1. – С.149-153.

39 Дранников А.М. Расчетные методы для определения причин, вызывающих оползни // Материалы совещания по вопросам изучения оползней и меры борьбы с ними. – Киев, 1974. – С.29-34.

40 Жусупбеков А. Ж. Влияние порового давления на устойчивости откоса намывных плотин // Труды 1-го Центрально-Азиатского геотехнического симпозиума. – Астана, 2000. - Т.1. – С.176-187.

41 Иванов П.Л. Уплотнение малосвязных грунтов взрывами. – М.: Стройиздат, 1983. – 218 с.

42 Казиев А.С. Влияние внешней нагрузки на устойчивость откосов водонапорных сооружений // Вопросы гидротехники: тр. ВНИИГ им.Веденеева. – М., 1984. – С.182-187.

43 Садыков А.Х. Обеспечение сейсмической устойчивости откосов путем их пригрузки // Узбекистонэкологии кахборотномаси. - 2011. - №5-6. –С.23-24.

44 Туровская А.Я., Тимофеев Т.А. К вопросу об эффективности противооползневых мероприятий на участке активного оползня Черноморского побережья Кавказа // Вопросы геомеханики. – 1989. - №16. – С.58-66.

45 Расулов Х.З., Ташходжаев А.У. Условия образования оползневых процессов при землетрясениях // Проблемы оценки сейсмической опасности и снижения последствий землетрясений: матер. междунар. конф. –Ташкент, 2008, №5. – С.240-242.

46 Байбаков Н.А. Последствия землетрясения в Киргизии 5 июня 1970 г // В кн.: Проектирование и строительство сейсмостойких зданий и сооружений. – М.: АСВ, 1971. - С. 97-104.

47 Лим В.В., Винниченко С.М. Современные оползневые катастрофы в Таджикистане // Геориск: оценка и уменьшение: матер.конф. – Ташкент: Гидроингео, 2003. – С.154-156.

48 Викторов А.С. Оценка природных рисков на основе моделей морфологических структур // Научные и прикладные основы решения актуальных проблем сейсмологии: матер. конф., посв. 40 летию Института Сейсмологии им Г.А.Мавлянова. –Ташкент, 2012. - №3. – С. 21-27.

49 Шерматов М.Ш. Унаследованность вторичных оползневых процессов в древних оползневых очагах // Проблемы оценки сейсмической опасности и снижения последствий землетрясений: матер. междунар. конф. –Ташкент, 2008. – С.245 - 249.

50 Мавлянов Г.А. Генетические типы лессов и лессовидных пород в Центральной и южной части Средней Азии и их инженерно-геологические свойства. –Ташкент: Изд-во «Фан», 1968. - 606 с.

51 Медведев С.В., Шебалин Н.В. С землетрясением можно спорить. - М.: Наука, 1967. – 129 с.

52 Ляхов Г.М. Ударные волны в грунте разжижение водонасыщенного песка // ПМТФ. – 1963. - №4. – С. 210-228.

53 Огурцев К.И. Количественные исследования волновых процессов в упругом полупространстве при различных типах воздействия. – М.: МГУ, 1986. - Вып. 30, №208. – С. 82-96.

54 Рахматулин Х.А., Сагомоян А.Я., Алексеев Н.А. Вопросы динамики грунтов. –М.: Изд-во МГУ, 1963. - №4. – 274 с.

55. Саиренский Е.Ф. Сейсмические волны. – М.: Недра, 1972. – 229 с.

56 Петрашень Г.И. Основы математической теории распространения сейсмических волн // В сб.: Вопросы динамической теории распространения сейсмических волн. – М: Наука, 1978. - Вып.XVIII. – С.53-68.

57 Петрашень Г.И. Распространение сейсмических волновых полей в слоистых средах // Зап. научн. сем. ПОМИ. – СПб.: Отд. матем. им. В.А.Стеклова РАН, 2001. – Ч.1, II. – С. 297-300.

58 Эйслер Л.А. К расчету эффективных напряжений в водонасыщенном грунте при динамических воздействиях // Труды Координационного совещания по гидротехнике. - Л.:Изд-во «Энергия», 1973. - Вып. 80. – С. 151-156.

59 Okamura M., Abdoum T.N., Dobry R. Effect soft sand permeability and weak after shockson Earthquake – induced lateral speading // J Soil sand Foundations. – 2001. - Vol.41(36). – P.166-169.

60 Тер-Степанян Г.И. Использование наблюдений за деформациям склона для анализа механизма оползня // Проблемы геомеханики. – 1977. - №1. – С.24-56.

61 Медведев С.В., Карапетян Б.К., Быховский В.А. Сейсмические воздействия на здания и сооружения. – М.: Стройиздат, 1968. -340 с.

62 Расулов Х.З., Садилов А. Прогноз оползневых явлений в природных склонах и откосах // Архитектура, строительство и дизайн. –Ташкент: Изд-во ТАСИ, 2009. –С. 45-49.

63 Intraratna B., Redana I.W., Salim W. Modeling of behavior of vertical drains in soft clay // Proc. of the First Central Asian Geotechnical Symposium. – Astana, 2000. – Vol. 1. – P. 79-98.

64 Расулов Х.З., Садилов А.Х., Расулов Р.Х. Оползень разжижения в лессовых склонах и откосах: монография. – Ташкент: Издательство «CREDO PRINT», 2014.-172с.

65 Расулов Х.З., Расулов Р.Х., Артыкбаев Д.Ж., БайболовК.С.Натурные исследования сеймопросадочной деформации лессовых грунтов // Вестник КазНИТУ. – Алматы,2019. - №6 (136). - 5 с.

66 Расулов Х.З., Артыкбаев Д.Ж. Предельная нагрузка на основание плотин при сейсмическом колебании // Сборник статей по материалам XXI

международной научно-практической конференции «Технические науки: проблемы и решения». – М., 2019. - №3 (19).- 4 с.

67 Артыкбаев Д.Ж., Байболов К.С., Расулов Х.З. Критерии устойчивости откосов при сейсмических условиях // Вестник Кызылординского государственного университета имени КоркытАта. – 2019. - №2 (53). - 5 с.

68 Цытович Н.А. Механика грунтов (краткий курс). –М.: Высшая школа, 1983. – 288 с.

69 Пильгунова З.В. Метод математической статистики и установлении среднего значения сопротивления сдвигу глинистых пород // Труды лаборатории гидрогеологических проблем Академии наук. – М., 1958. - Т.XIV. – С.192-196.

70 Rasulov H.Z., Tashxodjayev A.U. Change of dept of the diluted zone at concussion of water sated loess // J. European Science Review Austria – Venna, 2017. - №3.–P.1076.

71 Садыков А.Х. Экспериментальные исследования факторов, влияющих на критическое ускорение лессовых грунтов склона // Проблемы архитектуры и строительства. – Самарканд, 2010. - №1. –С. 10-14.

72 Расулов Х.З. Прогноз деформации сооружений в результате пластического течения грунтов при землетрясениях // Труды 1-го Центрально-Азиатского геотехнического симпозиума. – Астана, 2000. - Т.1. – С. 266-270.

73 Расулов Х.З., Артыкбаев Д.Ж., Байболов К.С. Порог сеймопросадочности как критерий устойчивости структуры лессовых грунтов // Вестник Казахстано-Британского технического университета. – 2019. –Т.16, вып. 2. - 5 с.

74Расулов Х.З., Садилов А.Х. Критерия оползневой устойчивости лессовых склонов при сейсмических воздействиях // Меъморчилик и курилишмуаммолари. – Самарканд, 2009. - №4. – С.50-53.

75ҚМҚ 2.01.03-96. Строительство в сейсмических районах. – Ташкент: Комитет Республики Узбекистан по архитектуре и строительству, 1996. – 48 с.

76Расулов Х.З., Артыкбаев Д.Ж., Байболов К.С. Порог сеймопросадочности как критерий устойчивости структуры лессовых грунтов // Вестник Казахско-Британского технического университета. – 2019. - №2. – С.49.

77Маслов Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов. –М.: Высшая школа, 1982. – 503 с.

78Григорян С.С., Ляхов Г.М. Взрывные волны в лессовидном грунте // ПМТФ. – 1963. - №4. – 74 с.

79Qu G., Zi Y., Ning B. Development of Earthquake disaster Emergency managements in China and disaster assessments of South Asia Earthquake // Problems of Seismology in Uzbekistan: proceeding of World Conference. – Tashkent, 2006. - P. 248 - 253.

80Расулов Р.Х. Сеймопросадочная деформация увлажненных лессов и оценка устойчивости оснований: дис. ... докт.техн. наук: 05.09.02. – Ташкент: ТИАС, 2018. - 184 с.

81Абелев М.Ю. Строительство промышленных и гражданских сооружений на слабых водонасыщенных грунтах. – М.: Стройиздат, 1983. - 431 с.

82Емельяной Е.П. Основные закономерности оползневых процессов. – М.: Недра, 1972. – 310 с.

83Rasulov H.Z., Artykbayev D.Zh. Critical of Slopes Stability at Seismic Flactuation // OEAPS: Fundamental find applied scientific research, International scientific and practical conference. - Berlin, 2019. – P. 68-71.

84Расулов Х. Критическое ускорение колебания грунта // Проблемы механики и строительства транспортных сооружений: тр. II-й междунар. науч.-практ. конф. – Алматы: Изд-во «КазАТК», 2015. – С.136-140.

85Артыкбаев Д.Ж. Изменение параметров прочности грунта в теле откоса при динамических воздействиях // Вестник КазНИТУ. – Алматы, 2018. - №6(130).– С. 217-221.

86Ставницер Л.Р. Об опасности разжижения водонасыщенных грунтов при динамических воздействиях // Сейсмология и геоинженерия: матер.междунар. науч.-техн. конф. – Тюмень, 2007. – С.77-78.

87 Richart F.E. Vibrations of Soils and Foundations (Prentice-Hall International Series in Theoretical and Applied Mechanics). - 1970. – 414 p.

88Kokusho T.,H. Hazarika Geotechnical characterization of an unsaturated residual soil of granite // 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. –Alexandria, 2009. –5p.

89Расулов Х.З., Артыкбаев Д.Ж., Байболов К.С. Сейсмоустойчивая крутизна откосов // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. Тынышпаева. – 2018. - №3(106). - С.17-21.

90Vaid Y.R., Thomas J. Post liquefaction behavior of sand // Proceedings of the 13 th International Conference on Soil mechanics and Foundation Engineering. - New-Delhi,1994. - Vol 1. - P. 1310-1314.

91Stokoe K.N., Wright S.G., Bay J.A., Roesset J.M. Characterization of geotechnical sites by SASW method. – New Delhi: Geotechnical Characterization of Sity, 1994. – Spec. Vol. 10. - P. 15- 25.

92Vucric M. Cyclic Characterization for Seismic Degions Based on PL // Proceedings of the 13th International Conference on Soil Mechanic and Foundation Engineering. - 1994. - Vol.1.- P.329-332.

93Ташходжаев А.У. Глубина активной зоны при колебании лессовых грунтов // Проблемы архитектуры и строительства. – Самарканд, 2011. - №14. – С. 9-12.

94Rahard J.H., Santoso V.A., Leono E.S. Numerical analyses and monitoring performance of residual soil slopes // J Soil and Foundation. – 2011. - Vol. 51, №3. – P.471-482.

95Kokusho T. Cyclic triaxial test of dynamics soil properties for wide strain range // J Soils and Foundations. - 1980. – Vol.20(2). - P. 45-60.

96Rasulov H.Z., Tashxodjayev A.U. Dept of diluted zone in the humidified loess bases under shaking conditions // European Science Review. – Venna, 2017. – Vol.3. – P.1076.

97 Artykbaev D.Zh., Baibolov K.S., Rasulov H.Z. Stability Analysis of fine soils from a road project, M32 Samara-Shymkent (Russia-Kazakhstan) // International Journal of geomate. – 2020. - №19 (76). - P. 205-212.

98 Rasulov H., Rasulov R. Increment of seismicity of the building area depending on soil conditions // Extended Abstracts of the 15 th Asian Regional Conference on soil mechanics and Geotechnical Engineering. – Tokyo, 2015. – P. 88.

99 Расулов Х.З., Ташходжаев А.У. Условия образования оползневых процессов при землетрясениях // Проблемы оценки сейсмической опасности и снижения последствий землетрясений: матер.международ. конф. – Ташкент, 2008. - №5. - С.240-242.

100 Ташходжаев А.У. Изменение глубины активной зоны при колебании водонасыщенных лессов // Проблемы архитектуры и строительства. – Самарканд, 2011. – С.9-12.

101 Artykbaev D.Zh., Rasulov H.Z., Baibolov K.S. Influence of Soil Density and Moisture on Seismic Stability of Slope Structures // International Journal of Engineering Research and Technology. – 2019. -Vol.12, Iss. 8. – P. 1259-1262.

102 Rasulov H.Z., Artykbaev D.Zh. Criteria of slopes stability at seismic fluctuation // OEAPS: Fundamental and applied scientific research: International scientific and practical conference. - Berlin, 2019. – P.68-71.

103 Artykbaev D.Zh., Baibolov K.S. Seismic subsidence deformations of loess soils and their studies // ICITE-2019: Industrial technologies and engineering: VI International annual conference. – Shymkent, 2019. – P.199-204.

104 Расулов Х.З., Расулов Р.Х., Артыкбаев Д.Ж. Деформация увлажненных лессов при сейсмических воздействиях // Механика деформируемых твердых тел: сб. докл. для респуб. науч.-практ. конф. – Ташкент, 2018. – С.312-315.

105 Мажидов И.У., Расулов Р.Х. Изменение сейсмопросадочной деформация лессов по глубине толщи в свете полевых исследований.- Самарканд: Издательство СамГАСИ, 2016. - №2. - С.22-25.

106 Artykbaev D. Zh. Violation of dynamic stability of slopes // International scientific and practical conference fundamental and applied scientific research. - Berlin, 2019.- 48-53с.

107 Kadyraliev G.A., Nikolskaya O.V. The influence of seasonal fluctuations in air temperature on the strength properties of slopes of mountain roads. // Proceedings of the NAS KR.-Bishkek:Him, 2013. -№2.– P. 25-29.

108 Nizhne-Svirskaya hydroelectric power station on the official website of the Lengidproekt Institute. 08.02.2015.

109 Karryev B. Here came the earthquake: Hypotheses, Facts, Causes and Consequences.....-SIBIS, 2017. -519p.

110 Hay T., Kanamori H., Ammon C.Y. The great Sumatra-Andaman Earthquake of December 26, 2004 // Science. - 2005. - Vol.308. -P. 1127-1133.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Акт внедрения результатов НИР в учебный процесс

Ф.7.07-14

«Согласовано»
Проректор по НИИ
Сатаев М.И.
«10» 10 2019г.

«Утверждаю»
Проректор по УиУМР
Байболов К.С.
«10» 10 2019г.

АКТ

Внедрения Б16-04-12 «Перспективы внедрения свайных фундаментов на юге Казахстана» в учебный процесс.

Настоящий акт составлен по итогам НИР, выполненной на кафедре «Промышленное, гражданское и дорожное строительство» в 2018-19 учебном году.

Настоящим актом подтверждается, что результаты научно-исследовательской работы «Сейсмоустойчивая крутизна откосных сооружений» выполненный Южно-Казахстанским государственным университетом внедрены в учебный процесс университета.

- 1. Вид внедренных результатов:** Исследования сейсмической устойчивости лессовых грунтов в составе откосных сооружений и метод «Сейсмоустойчивая крутизна откоса» в качестве обеспечивающего сейсмоустойчивость насыпных сооружений.
- 2. Характеристика масштаба внедрения:** уникальное.
- 3. Форма внедрения:** Использован в учебной программе магистров по специальности 6М072900 – «Строительство»
- 4. Методика (метод) внедрения:** чтение лекции по спец. Курсу «Геотехника». «Современные методы лабораторных и полевых исследования по механике грунтов».
- 5. Новизна результатов научно-исследовательских работ:** Метод «Сейсмоустойчивая крутизна откоса» в качестве расчета грунтовых сооружений на сейсмическую устойчивость внедряется в учебный процесс впервые.
- 6. Внедрены:** Включен в раздел «Расчета и проектирования земляных дорожных сооружений» в качестве дополнительного материала, содержащего результаты современных исследований.
- 7. Социальный и научно-технический эффект:** Использование результатов исследований в учебный процесс для подготовки специалистов-строителей имеет не только социальный эффект, но и может рассматриваться как совершенствование учебного процесса путем внедрения достижений научно-технических разработок.

Данные результаты НИР отражены в статье «Сейсмоустойчивая крутизна откоса», опубликованной в научном журнале Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций имени М.Тынышпаева Вестник КазНУТУ №3 (106) 2018г.

Выполненный докторантом Артыкбаевым Д.Ж.

под руководством к.т.н., доцент. Ибрагимова К.И. внедрены в учебный процесс:

в лекционные занятия дисциплины «Современные методы лабораторных и полевых исследования по механике грунтов», по теме «Исследование деформируемости лессовых грунтов», группы МСМ-18-3нр;

в практические занятия _____

в дипломное проектирование - _____

Научный руководитель
темы Байболов К.С.

Зам.директора ДАВ Пернебеков С.С.

Начальник отдела
технических наук НИУ
Серкебаев М.К.

Директор НИУ Назарбек У.Б.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Акт внедрения результатов НИОКР



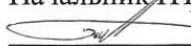
АКТ

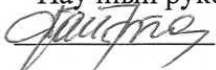
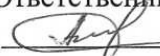
Внедрение результатов технологии, научно-исследовательских и опытно-промышленных работ.

Сотрудники ТОО “Казақавтожол” с сотрудниками ЮКТУ им. Ауезова составили настоящий акт о том, что результаты научно-исследовательских работ приняты на внедрения:

- метод “сейсмоустойчивой крутизны откоса”, позволяющий оценить устойчивость откосов при различных сейсмических воздействиях;
- указания по проектированию сейсмоустойчивых откосов насыпных сооружений;
- рекомендация по рациональному выбору параметров откосных сооружений с учетом сейсмических воздействий.

Результаты научно-исследовательских работ будут использованы при проектировании автомобильных дорог по трассе М32 Самара-Шымкент и способствуют повышению сейсмостойкости дорожных насыпей при обеспеченной устойчивости крутизны откосов.

От ТОО “Казақавтожол”
Начальник ИТО:
 Гоханов К.

От ЮКТУ им. М.Ауезова
Научный руководитель:
 Байболов К.С.
Ответственный исполнитель
 Артыкбаев Д.Ж.


ПРИЛОЖЕНИЕ В

Акт внедрения результатов НИОКР

“УТВЕРЖДАЮ”
Проректор по НИИ
Сатаев М.И.
“ 20 ” г.



“УТВЕРЖДАЮ”
Директор по производству
ТОО «ПК Шымкентдорстрой»
Калмен Ж.С.
“ 20 ” г.



АКТ

Внедрение результатов технологии, научно-исследовательских и опытно-промышленных работ.

Составили настоящий акт о нижеследующем:

В период с 14.01 2019 г. по 04.02 2019 г. проведен расчет динамической устойчивости проектируемого нашей организацией откосных сооружений по трассе “Сайрамский район КХ-83 “Шымкент-Сайрам-Карамурт” автомобильная дорога 8-26.1 км”. Расчет был произведен по методу “сейсмоустойчивой крутизны откоса”, разработанному ЮКГУ им. М.Ауезова.

Сооружение имеет ширина 12, длина 18.1 км размеры и возводится из лессовых грунтов высотой 2 м. Подсчет показал устойчивое состояние откоса при наклонности 4^0 , что и заложено в проект объекта.

Выводы и предложения:

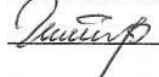
-расчет устойчивости откосов по методу “сейсмоустойчивой крутизны откоса” показал устойчивый наклон сооружения на 7^0 меньше по сравнению “метода круглоцилиндрической поверхности скольжения”, что наряду с обеспечением динамической устойчивости откосов.

- по результатам внедрения можно рекомендовать данного метода для расчета на устойчивость аналогичных объектов, возводимых в сейсмических районах республики.


На основании полученных результатов надо отметить, что использования метода “сейсмоустойчивой крутизны откоса” при проектировании дорожных, транспортных и гидротехнических сооружений, возводимых в сейсмических районах республики является целесообразным и экономически выгодным.

От ТОО “ПК Шымкентдорстрой”

Начальник участка:

 Зубайраев К.

Заведующая лабораторией:

 Куkenов Б.Х.

От ЮКГУ им. М.Ауезова

Научный руководитель:

 Байболов К.С.

Ответственный исполнитель

 Артыкбаев Д.Ж.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Акт внедрения результатов НИР в учебный процесс

УТВЕРЖДАЮ:
Проректор ТАСИ
по учебной работе
доц. Мирисаев А.У.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ, выполненных в высших учебных заведениях

Заказчик: Ташкентский архитектурно-строительный институт

Ректор Хакимов Р.Р.

1. Настоящим актом подтверждается, что результаты научно-исследовательской работы д.т.н. Расулова Х.З. и Артыкбаева Д.Ж. «Метод сейсмоустойчивой крутизны откоса» выполненной на кафедре «Гидротехнические сооружения, основания и фундаменты» ТАСИ внедрены в учебный процесс.

2. **Вид внедренных результатов:** Метод расчета сейсмоустойчивой крутизны откоса при строительстве наклонных сооружений в сейсмических районах.

3. **Характеристика масштаба внедрения:** уникальное

4. **Форма внедрения:** Использован в учебных программах магистров по специальностям: «Гидротехнические сооружения» и «Подземные сооружения при гидротехническом строительстве».

5. **Методика (метод) внедрения:** чтение лекции по курсам «Специальные вопросы механики грунтов» и «Инженерные изыскания в гидротехническом строительстве».

6. **Новизна результатов научно-исследовательских работ:** Метод расчета сейсмоустойчивой крутизны откоса внедряется в учебный процесс впервые.

7. **Внедрены:** Включен в учебную программу курса «Специальные вопросы механики грунтов» и «Инженерные изыскания в гидротехническом

строительстве» для магистров специальности «Гидротехнические сооружения» и «Подземные сооружения при гидротехническом строительстве».

8. Социальный и научно-технический эффект: Использование результатов исследований в учебный процесс для подготовки специалистов-строителей имеет не только социальный эффект, но и может рассматриваться как совершенствование учебного процесса путем внедрения достижений научно-технических разработок.

Декан факультета «Строительство
зданий и сооружений»



доц. Алиев И.Т.

Заведующей кафедрой «Гидротехническое
сооружение, основания и фундаменты»



Ташходжаев А.У.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Акт внедрения результатов НИР

СОГЛАСОВАНО:
Проректор ТАСИ по научной
работе проф. Нурибегов Р.И.
« 11 » 04 2019 г.

УТВЕРЖДАЮ:
Директор АО «Гидропроект»
А.И.Ахмедов
« 11 » 04 2019 г.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ, выполненных в высших учебных заведениях

Заказчик АО «Гидропроект»
(наименование организации)

Ахмедов А.И.
(Ф.И.О. руководителя организации)

Настоящим актом подтверждается, что результаты работы «Сейсмостойчивая крутизна откосных сооружений». Расчет несущей способности оснований зданий и сооружений в сейсмических районах»

(наименование темы)

Выполненной Ташкентским архитектурно-строительным институтом (Авторы: проф. Х.З.Расулов, Д.Ж.Артыкбаев), внедрены при проектировании откосных сооружений Кадыринской ГЭС в Ташкентской области.

(наименование предприятия, где осуществлялось внедрение)

1. Вид внедренных результатов: использован разработанный Расуловым Х.З. и Артыкбаевым Д.Ж. «Метод расчета устойчивости крутизны откоса на сейсмическое воздействие при определении устойчивого наклона откосных сооружений, выполняемых из смеси глин и песка с содержанием крупнообломочных обломков.

2. Характеристика масштаба внедрения: Настоящая разработка в настоящее время использована в 1 объекте.

3. Форма внедрения:

Методика расчета крутизны откоса с учетом изменения прочностных свойств грунта при сильных землетрясениях использована в проектных разработках строительства насыпных сооружений, засыпаемых с определенными откосами Кадыринской ГЭС в Ташкентской области. В результате расчета уточнены наклоны откосов при воздействии 8 и 9 балльных землетрясений.

4. Новизна результатов научно-исследовательских работ. Подобный проект расчета сейсмостойчивого наклона откосных сооружений выполнен впервые

(впервые, принципиально новые, модификации, модернизация старых разработок)

5. Внедрены:

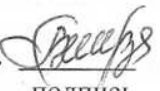
- в проектные работы: в разработке проектов откосных сооружений Кадыринской ГЭС в Ташкентской области.


(указать объект, предприятие)

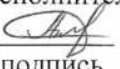
6. **Экономический эффект внедрения разработки** обеспечивает сейсмоустойчивость откосов наклонных сооружений использованных объектов.

7. **Социальный и научно-технический эффект:** внедрение имеет не только социальный эффект, но и может рассматриваться как совершенствование научно-технических разработок, имеющих специальное назначение, в особенности, в сложных грунтовых условиях Республики с учетом сейсмических воздействий.


От ТАСИ:

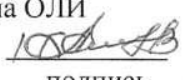
Начальник НИСа
Мирзаахмедов Б.Х. 
подпись

Руководитель НИР
Расулов Х.З. 
подпись

Ответственный исполнитель
Артыкбаев Д.Ж. 
подпись

От организации:

Главный инженер проекта
Ликверман В.И. 
подпись

Начальник отдела ОЛИ
Назаров К.И. 
подпись