

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРНОЙ ПРОЧНОСТИ ГЛИНИСТЫХ И ЛЁССОВЫХ ГРУНТОВ ПРИ КОЛЕБАНИЯХ

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18514456>

к.г.-м.н., доц. **Хакимов Г.А.**,
соискатель **Таджиходжаева С.Р., Муминов Ж.А.**,
магистр Кошкарбаева Н.М., Алламуродова И.И.

(Ташкентский архитектурно-строительный университет)
тел. (90) 996-62-46 E-mail: gayratxakimov1955@gmail.com

Аннотация

В данной научной статье приведены результаты анализов исследований многих специалистов по изучению закономерностей изменения структурных прочностей увлажнённых глинистых и лёссовых грунтов при динамических и сейсмических воздействиях. Как показывает результаты проведённого автором анализа литературных данных, в вопросах динамического нарушения структурной прочности грунта имеются различные мнения. Некоторые специалисты считают, что при нарушении структурной прочности глинистых и лёссовых грунтов в динамических условиях существенное значение имеет характер динамического воздействия по частоте и амплитуде, а у других интенсивность, длительность колебания и пр. Влияние внутренних факторов, как состава, состояние и свойств грунта на изменение структурной прочности в динамических условиях, также изучен недостаточно.

Отсюда следуют, что исследование закономерностей изменения структурной прочности глинистых и лёссовых грунтов при динамических воздействиях безусловно представляет собой значительный научный интерес.

Ключевые слова

СТРУКТУРНАЯ ПРОЧНОСТЬ; сцепление; связность; угол внутреннего трения; глинистый грунт; лёссовый грунт; прочностные характеристики; метод; сейсмическая просадка..

1. Введение. Исследование нарушения структурной прочности слабых глинистых, а также лёссовых просадочных грунтов при сейсмических воздействиях в зависимости от различных факторов, с целью борьбы с

развитием пластических зон под подошвой фундамента, безусловно представляют собой значительный научный и практический интерес [1-3].

При проектировании и строительстве зданий и сооружений на глинистых и лёссовых грунтах в сейсмоактивных районах возникают серьёзные трудности, связанные с недостаточной изученности природы явлений, происходящих в подобных грунтах при их колебании различной интенсивности [3-5].

Возведение зданий на глинистых и лёссовых грунтах, в сейсмических районах с обеспечением их прочности, устойчивости и надёжной эксплуатации является одной из сложных проблем современного строительства. Трудность использования макропористых, просадочных увлажнённых глинистых и лёссовых грунтов в качестве оснований зданий и сооружений в сейсмоактивных районах вызвана в основном следующими условиями: глинистые и лёссовые просадочные грунты в природных условиях, находясь в увлажнённом состоянии, характеризуются сравнительно малой прочностью, что свидетельствует о незначительной устойчивости их структуры при динамических воздействиях; здания и сооружения, возведённые на увлажнённых лёссовых грунтах, даже при сейсмических воздействиях небольшой интенсивности испытывают значительные сейсмические осадки, обусловленные нарушением структуры и дополнительным уплотнением грунтов оснований [5-15].

Изучение причин деформаций зданий и сооружений, возведённых на увлажнённых глинистых и лёссовых грунтах при сейсмическом воздействии показывает, что неравномерная просадка фундамента и деформации возведённых сооружений происходят и при минимальном давлении на грунт, а характер деформации конструкции зависит от грунтовых условий и интенсивности сейсмики. Характерным примером этому могут служить последствия Газлийских землетрясений (Узбекистан) 1976, 1984 гг. и Алмаатинских землетрясений (Казахстан) 1887, 1911 гг., когда полностью оказались разрушенными не только двухэтажные панельные и кирпичные дома, но и более лёгкие, в том числе деревянные конструкции, т.е. произошли повреждения зданий и сооружений независимо от удельного давления, передаваемого на основание и мощности активной (сжимаемой) зоны [3-4].

Учёт вышеперечисленных явлений, приводит к решению комплекса вопросов, связанных с выявлением процессов, вызывающих динамическое нарушение структуры и последующее уплотнение увлажнённых лёссовых

грунтов. Из-за отсутствия исследований динамической устойчивости увлажнённых лёссовых грунтов, а также разработанных методик расчётов проектировщики не имеют возможность правильно учитывать грунтовые условия при проектировании зданий. Это нередко приводит к необоснованным решениям задач проектирования оснований сооружений и к неоправданным экономическим расходам, а в отдельных случаях к тяжёлым последствиям при сильных землетрясениях [16-20].

Как известно, что степень уплотнения увлажнённых лёссовых грунтов зависит от многих факторов: прочности связей, пористости грунта, от интенсивности и длительности колебания. Деформация лёссовых грунтов при колебании является результатом весьма сложных процессов, протекающих в толще грунта, которые нельзя оценить по отдельным показателям, например, по макропористости или влажности и т.п. Деформация лёсса при сотрясении связана с неустойчивой его структурой, характеризуемой для лёссовых грунтов слабой связностью структурных элементов [21-25].

Несмотря на длительный срок изучения лёссовых грунтов, происхождение, а также механизм их деформации, обусловленной внутренней их связью, остаются не выясненными. Это объясняется разнообразием генезиса, свойств и состава, а также различными природными влажностями пород.

В настоящее время специалистами предложены различные гипотезы о структуре внутренних связей лёссовых грунтов. Однако в увлажнённых лёссовых грунтах эти связи имеют природу, хорошо описываемую современной электрокинетической теорией. Дополнительное насыщение водой породы всегда сопровождается вспучиванием грунта, связанным с дальнейшим утолщением водных оболочек частиц. Частицы грунта при этом отодвигаются друг от друга, выходя из зон молекулярного протяжения, ослабляя силы связности между частицами. Сила притяжения воды к частице зависит в свою очередь от толщины водных оболочек, с увеличением которой уменьшается сила молекулярного притяжения. Это обстоятельство свидетельствует о сравнительно легком нарушении структуры насыщенных водой лёссовых грунтов при воздействии на них динамической нагрузки.

Анализ экспериментальных данных и случаев многочисленных повреждений зданий и сооружений при землетрясениях показывает, что прочность увлажнённых лёссовых грунтов может в определённых динамических условиях снижаться, а сами грунты могут перейти в

разжижённое состояние. Прочность лёссовых грунтов, как известно, обуславливается их внутренней связностью. Это обстоятельство свидетельствует о единственно возможном варианте снижения связности за счёт перехода связанной воды в водных оболочках частиц грунта в свободную в процессе колебания [26-30].

Таким образом, при наличии слабых увлажнённых глинистых и лёссовых грунтов, способных переходит в динамически нарушенное состояние не всегда можно обеспечить прочность и устойчивость зданий и сооружений путём расчёта их оснований по первому предельному состоянию (по несущей способности).

В связи с этим возникает необходимость разработки нового принципа проектирования, исходя из условий совместной работы всей конструкции в целом с основанием, т.е. с учётом прочностных характеристик грунтов основания, специфики работы конструкции здания.

Одним из самых надёжных методов, обеспечивающих прочность и устойчивость эксплуатации сооружений, назначением величины расчётного давления на основание и расчёта ограничения величины средней осадки и обусловленной величины разности осадок отдельных соседних фундаментов, послужило бы соблюдение условия, когда $\alpha_{kp} > \alpha_c$ [где: α_c – максимальное сейсмическое ускорение, действующее на грунтовый массив; α_{kp} – критическое ускорение-пороговое ускорение, определяемое прочностными характеристиками структуры грунта. Расчёт оснований, сложенных слабыми водонасыщенными лёссами в сейсмических районах может быть произведён с помощью известных формул механики грунтов при обязательном соблюдении условия $\alpha_{kp} > \alpha_c$, если это условие не соблюдается (т.е. при $\alpha_{kp} < \alpha_c$), то при оценке несущей способности основания должно быть учтено снижение прочности(связности) грунта при колебании] во всех точках основания.

Известно, что каждому виду грунта, в зависимости от его состава, состояния и свойств присуще своё критическое ускорение колебания частиц грунта. Критическим ускорением α_{kp} большинство авторов называют такое ускорение колебания частиц грунта, при достижении которого грунт находится в состоянии предельного равновесия и достаточно незначительного превышения ускорения против критического, чтобы водонасыщенный грунт перешёл в состояние потери своей динамической устойчивости, т.е. в состояние «разжижения». В результате разжижения происходит падение структурной прочности грунта и развитие значительных

пластических деформаций как в грунтах, залегающих в граничных с фундаментом зонах, так и в под фундаментной зоне основания, приводящих к недопустимым деформациям самого сооружения.

Условия, когда $\alpha_{kp} > \alpha_c$ можно достичнуть за счёт увеличения прочностных характеристик грунтов. Одним из способов увеличения прочностных характеристик грунтов является их уплотнение.

Как известно, что определение изменения прочностных характеристик (связности) глинистых и лёссовых грунтов в динамических условиях представляет известную трудность, причём оно осложняется по мере сокращения длительности воздействия динамической нагрузки на грунт. Фиксация хотя бы нескольких точек в экспериментах в пределах десятков секунд, совпадающих с длительностью воздействия землетрясения, требует проведения весьма тщательных опытов с использованием наиболее точных, непрерывно регистрирующих приборов и аппаратур. По данным анализа, для определения изменения связности грунта за несколько десятков секунд необходима специальная методика исследования.

Вышеизложенное обуславливает актуальность проблемы настоящего исследования, целью которого является изучение нарушения структурной прочности грунта, т.е. закономерностей изменения прочностных и деформационных свойств глинистых и лёссовых грунтов при динамических воздействиях в зависимости от состава, состояния и свойств грунтов при воздействии различных внешних факторов (интенсивности, параметров и длительности колебания и др.), для борьбы с развитием пластических зон под подошвой фундамента в сейсмических условиях.

Анализ литературных источников показывает, что вопрос в плане нашей задачи в обобщённом виде отсутствует. Однако исследованиям поведения лёссовых грунтов в динамических условиях посвящены работы многих наших и зарубежных учёных.

2.Обзор научной литературы. Исследования Н.Н.Маслова, М.Ю.Абелева, И.Г.Таирова, А.С.Алешина, А.Д.Кожевникова. И.Г.Минделя, С.И.Лаврусевича и др. показали, что возрастание влажности влечёт за собой уменьшение прочности структурных связей и предрасположение лёссовых пород к сейсмическим просадкам-уплотнению при землетрясениях, взрывах, производственных динамических нагрузках.

В результате лабораторных исследований А.И.Лагойски установил, что на потери прочности грунта при динамических воздействиях влияют следующие основные факторы: величина амплитуды колебаний,

минералогический состав частиц грунта, содержание в грунте частиц размером менее 0,001 мм, влажность грунта.

Исследования Н.И.Кригера показали, что сейсмическая просадка зависит от величины сейсмической энергии, амплитудно-частотного спектра колебаний, резонансных явлений, прочности структурных связей в породе и т.д.

По данным А.А.Мусаэляна определяющим фактором образования сейсмопросадки является снижение прочностных характеристик грунтов.

Исследования, проведённые М.Ю.Абелевым и Х.Г.Гафуровым на водонасыщенных лёссовых грунтах в стабилометрах показали, что при динамических нагрузках значения угла внутреннего трения оказались на 3-6 градус ниже, чем при статических испытаниях, а значения сцепления при этом, снижались на 10-15%.

Н.А.Преображенская, И.А.Савченко отмечают влияние частоты колебания на снижение прочности грунта.

Г.Н.Жинкин и И.В.Прокудин исследовали изменения параметров сопротивления сдвигу глинистых грунтов в условиях трёхосного напряжённого состояния при динамических воздействиях. На основании результатов исследований установлены изменения сцепления и угла внутреннего трения грунтов.

А.А.Каган, Ю.Г.Трофименков и А.А.Добровольский рассматривая влияние сейсмических воздействий на прочностные свойства лёссовых грунтов приходят к выводу, что уменьшение прочности происходит за счёт параметров сцепления. Однако, в исследованиях других специалистов (А.А.Вахтанова, В.Ф.Черняев, И.П.Бондарев и др.) отмечается, что в уменьшении прочности грунтов при динамических воздействиях существенное значение имеет угол внутреннего трения.

Г.И.Покровским и его сотрудниками впервые были проведены экспериментальные исследования влияния вибраций на коэффициент внутреннего трения грунтов. Проведённые ими исследования показали, что коэффициент внутреннего трения грунта с увеличением энергии колебаний уменьшается на 25-30% чем до вибрирования.

Л.С.Лапидус и др. рассматривают влияние пульсационных нагрузок на прочностные свойства связных грунтов. Ими выявлено, что угол внутреннего трения для связных грунтов при пульсационной нагрузке практически снижается до нуля.

Исследования А.Казагранде, В.Шанона, Х.Сида и других исследователей показали, что при кратковременных импульсных нагрузках наблюдается значительное попышение прочности некоторых типов глинистых и лёссовых грунтов, чувствительных к изменению скорости деформаций.

Х.З.Расулов, С.С.Сайфиддинов придают большое значение связности грунта в потери прочности и образования сеймопросадки лёссового грунта.

В вопросах динамического нарушения структуры грунта имеются различные мнения. По исследованиям одних специалистов следует, при нарушении структуры лёссовых грунтов существенное значение имеет амплитуда, у других частота колебания и пр. Однако, вопрос влияния параметров вибрации на изменение структуры грунтов всё же изучен недостаточно. Недостаточным является исследование влияния ускорения колебания на нарушение структуры лёссовых грунтов.

В последние годы специалистами уделяется большое внимание на исследование сеймопросадки лёсса при динамических воздействиях. Изучением сеймопросадки занимаются многие специалисты, однако и в этом вопросе имеются различные мнения, в особенности, касающиеся причин проявления этого явления и влияния различных факторов на протекание процесса сеймопросадки.

По вопросу борьбы с сеймопросадкой лёссовых грунтов, несмотря на его актуальность, до сих пор отсутствуют какие-либо конкретные данные, за исключением некоторых отдельных работ, касающихся начального этапа исследований.

Х.З.Расуловым были разработаны расчётные методы критического ускорения и сеймоустойчивого основания, в основе которых положено сопоставление уже известных нам ускорений колебания: критического и сейсмического. Опыты, проведенные им в лабораторных условиях показали, что величина критического ускорения связана с прочностными характеристиками грунтов, с прочностью внутренних связей, повышение которых во всех случаях приводило к возрастанию величину критических ускорений [3].

Необходимо отметить, что в рассмотренных выше работах также не уделялось должного внимания вопросам исследования изменения прочностных характеристик, развития пластических и просадочных деформаций лёссовых грунтов при сейсмических воздействиях, разработки методов способствующих ликвидации сеймопросадочных деформации и уменьшающих развитие пластических деформации в подфундаментной зоне.

Анализ состояния вопроса показывает, что несмотря на определённое количество работ, посвящённых изучению влияния динамических нагрузок на структурную прочность лёссовых грунтов, результаты исследований ещё не дают возможности сделать достаточно надёжные обобщения и предложить количественные и качественные рекомендации по данному вопросу, которые можно было бы использовать при проектировании оснований.

Вопросы структурной прочности лёссовых грунтов при динамических воздействиях в опубликованных работах освещены недостаточна.

3.Материалы и методы. Цели и задачи исследований предопределило и методику исследований. Экспериментальные исследования были выполнены в лабораторных условиях специально сконструированной для этой цели на вибрационной столике, т.е. на вибрационной установке. Эта вибрационная установка позволяет воспроизводить гармонические горизонтально-вынуждённые колебания при амплитуде от 0,1 до 6,0 мм и частоте 1-12 Гц. В этой вибрационной установке колебания передаются с помощью кривошипно-шатунного механизма от электрического мотора постоянного тока. На вибрационной плите жёстко крепятся компрессионные приборы с испытуемым образцом грунта, которому передаются заданные вибрационные воздействия. На поверхность испытуемого образца грунта можно придавать нагрузку от заданного вертикального давления в широких пределах [3].

Исследовались лёссовые грунты ненарушенной структуры. Испытания на просадочность проводились по методу одной кривой по общепринятой методике вначале в статических условиях, затем в динамических. Либо испытывались параллельно два образца-близнеца в статических и динамических условиях.

Как один из определяющих факторов структурной прочности увлажнённых глинистых и лёссовых грунтов связность, определялась на описанной вибрационной установке методом шариковой пробы, разработанным Н.А.Цытовичем.

Метод шарикового штампа, предложенный проф. Н.А.Цытовичем для определения изменения величины сил сцепления связных грунтов очень просто, удобно и быстро можно установить величину связности грунта до и после вибрации, что в условиях наших экспериментов не представлялось возможным другими способами [3].

Это даёт возможность определить величину связности лёссового грунта по формуле:

$$C_w = 0.18 \frac{P_{ш}}{\pi d_{ш} l_{ш}}$$

где, $P_{ш}$ – вес шарика с грузом; $d_{ш}$ – диаметр шарика; $l_{ш}$ – осадка штампа; 0,18 – коэффициент для пластичных тел.

Связность C_w , определяемое по методу шарового штампа, следует рассматривать как некоторую комплексную характеристику, позволяющую оценить не только связность (сцепление), но для пластичных грунтов в известной мере и внутреннее трение, что может быть использовано, например, при вычислении предельной нагрузки на глинистые грунты по формулам идеально связанных тел (без учёта трения, которое автоматически учитывается величиной C_w).

Опыты проводились по следующей методике:

1. Из единого монолита отбирались два образца. После предварительного уплотнения при заданной нагрузке на одном из них определялось начальное значение связности.

2. Второй образец подвергался диническому воздействию при сохранение прежней статической нагрузки. После прекращения сотрясения определялось новое значение связности.

4. Результаты и анализы. В результате проведённого исследования предполагалось сделать из них практические выводы и дать соответствующие рекомендации для возведения зданий и сооружений на увлажнённых слабых глинистых и лёссовых грунтах, связанные с возможным на них воздействием сейсмических сил.

В экспериментальных исследованиях в основном определялась связность, т.е. сцепление увлажнённого глинистого и лёссового грунта, как один из определяющих факторов при нарушение структурной прочности грунта.

Опыты проводились при частотах 1-12 Гц и амплитудах колебания 0,2-6,0 мм, при соответствующих ускорениях колебания от 100 до 6000 мм/с², что находится в пределах сейсмических ускорений колебания от 5 до 10 баллов (по международной сейсмической шкале MSK-64).

Среди связных, т.е. глинистых грунтов к самыми структурно-неустойчивыми при увлажнение, а также при колебании является лёссовые просадочные грунты. В природном залегании они маловлажные, макропористые, просадочные и имеют в основном рыхлую структуру. При влияние на них внешних сил и влажности их структура резко нарушается, снижается прочность (связность) и грунт деформируются, т.е. уплотняются, а здания и сооружения, построенные на них без особых мер по соблюдению

предотвращающих деформацию получает повреждении и даже может привести к разрушению. В частности этот момент более усугубляется в сложных грунтовых условиях, особенно в сейсмических районах. По этому, надо обратить особое внимание при строительстве зданий и сооружений на увлажнённых лёссовых грунтах в сейсмических районах.

Выполненные исследования показали, что глинистые и лёссовые просадочные грунты основании зданий и сооружений будучи насыщенными водой при соответствующих условиях (сейсмическом, вибрационном, ударном и других динамических воздействиях) легко теряют свою устойчивость, т.е. структурная прочность грунта быстра нарушается, способствуя при этом развитию пластической деформации в основании сооружений с потерей их общей устойчивости.

Результаты лабораторных экспериментальных исследований, проведённых на увлажнённых глинистых и лёссовых грунтах показали:

- снижение прочностных показателей грунта (угла внутреннего трения и силы сцепления, связности) при колебаниях с ускорением, превышающим критическое значение. При этом, особо отмечается изменение силы связности, которое носит интенсивный характер в процессе колебаний;

- возможность снижения величины критического ускорения с повышением влажности грунта и падением роли пригрузки в процессе колебания;

- нарушение структурной прочности и развитие деформации грунта от интенсивности и длительности динамического воздействия. Причём существенную роль на процесс оказывают высокочастотные колебания;

- изменение связности, т.е. сцепления увлажнённых глинистых и лёссовых грунтов при колебании в зависимости от их плотности-влажности, интенсивности, длительности и параметров динамического воздействия.

5. Выводы и рекомендации. 1.Когда основании зданий и сооружений состоит из увлажнённых слабых глинистых и просадочных лёссовых грунтов, т.е. грунтов способных переходить в динамически нарушенное состояние не всегда можно обеспечить прочность и устойчивость сооружений путём расчёта их оснований по первому предельному состоянию (по несущей способности). **В связи с этим возникает необходимость разработки нового принципа проектирования, исходя из условий совместной работы всей конструкции в целом с основанием, т.е. с учётом прочностных характеристик грунтов основания, специфики работы конструкции здания.**

2.Как показали результаты исследований, что неравномерная деформация зданий и сооружений, возведённых на увлажнённых лёссовых и других связных грунтах, в основном большинстве случаев происходит в первый очередь из-за нарушение и ослабление структурной прочности грунтов, а также и снижением общей устойчивости оснований при землетрясениях.

3.Анализ результатов исследований показал, что если структурная прочность связных грунтов не нарушаются действующим колебанием, грунт не деформируется, т.е. не уплотняется. Деформация грунта не происходит также тогда, когда длительность сотрясения измеряется всего лишь несколькими секундами.

4.Снижение прочностных показателей увлажнённого лёссового грунта, угла внутреннего трения и связности (цепления) при колебаниях с ускорением, превышающим критическое значение безусловно. Но при этом, особо отмечается изменение силы связности, которое носит интенсивный характер в процессе колебаний.

5.Как показали результаты проведённых нами лабораторных экспериментальных исследований, величина связности сильно увлажнённых, т.е. водонасыщенных просадочных лёссовых грунтов при интенсивных динамических (сейсмических) колебаниях могут уменьшаться до 10 и более раз. Не учёт этого явления при определение несущей способности увлажнённого лёссового грунта в сейсмических районах, приведёт к катастрофическим последствиям при землетрясениях.

6.С увеличением активно действующего ускорения на грунт повышается степень разрушения структуры (связности) увлажнённого лёссового грунта.

7. Одним из самых надёжных методов, обеспечивающих прочность и устойчивость эксплуатации зданий, послужило бы соблюдение условия, когда критическое ускорение больше, чем сейсмическое ускорение во всех точках основания. Условия, когда критическое ускорение больше чем сейсмическое ускорение можно достигнуть за счёт увеличения прочностных характеристик грунтов. Одним из способов увеличения прочностных характеристик грунтов является их уплотнение.

8.Разрушение структуры и разжижение увлажнённого лёссового грунта при одинаковых ускорениях динамических колебаний, происходит в основном за счёт увеличение частоты колебаний. С увеличением частоты динамических колебаний пропорционально уменьшается прочностные характеристики увлажнённого лёссового грунта. Также с увеличением

частоты динамических колебаний увеличивается деформация (уплотняемости) глинистого и лёссового грунта.

9. С точки зрения нарушения структурной прочности, т.е. динамической устойчивости для глинистых и лёссовых оснований зданий и сооружений наиболее опасны, высокочастотные землетрясения.

10. Когда критическое ускорение, больше чем сейсмическое ускорение не нарушаются структура и прочность увлажнённого лёссового грунта, т.е. деформация грунта не происходит. Деформация грунта при колебании развивается после нарушение структуры и прочности грунта (после преодоление критического ускорения, когда сейсмическое ускорение, больше чем критическое ускорение), т.е. после потери грунтом своей динамической устойчивости (в состояние разжижения).

11. Сейсмические воздействия могут вызвать также нарушение динамической устойчивости грунтов, засыпаемых в граничных с фундаментами зонах, что нередко служит причиной ослабления несущей способности самого основания, так как нарушения структуры грунта происходящие вначале в краевых зонах подошвы фундамента, распространяясь постепенно в глубь, приводят к разгружению фундамента в сейсмических условиях.

12. Снижение прочностных характеристик увлажнённых лёссовых грунтов вызывает развитие зон пластической деформации под подошвой фундамента.

13. Неравномерные деформации сооружений, возведённых на увлажнённых лёссовых грунтах, в большинстве случаев связываются с ослаблением прочности грунтов и снижением общей устойчивости оснований при землетрясениях.

14. При проектировании оснований в сейсмических районах важно определить ожидаемую дополнительную деформацию с учётом возможной длительности и интенсивности землетрясения и изменения в этих условиях прочностных характеристик грунтов.

15. Из вышеприведённых результатов исследований следуют, что среднее давление от сооружения, возведимого в сейсмических районах, не должно превышать расчётного его значения, определяемого с учётом изменения прочностных характеристик глинистых и лёссовых грунтов при землетрясениях. Очевидно, в таком случае при расчёте оснований по деформациям будет учтена дополнительная сейсмическая осадка сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Khakimov, G. A. (2020). Changes in the Strength Characteristics of Glinistx Soils under the Influence of Dynamic Forces International Journal of Engineering and Advanced Technology, IJEAT. *Exploring innovation*, 639-643.
2. Khakimov, G. A. (2022). The nature of the change in the connectivity of moistened loess soils during vibration. *American Journal of Applied Science and Technology*, 2(06), 26-41.
3. Khakimov, G. A. CHANGES IN PLASTIC ZONES IN LESS BASES UNDER SEISMIC VIBRATIONS. *Journal of New Zealand*, 742-747.
4. Khakimov, G. A., & Muminov, M. A. (2022). CONSTRUCTION OF BUILDINGS ON WEAK MOIST CLAY SOILS IN SEISMICALLY ACTIVE ZONES OF UZBEKISTAN. *Web of Scientist: International Scientific Research Journal*, 3(12), 755-760.
5. GMFN, D., Kh, S. S., & Muminov, M. M. (2022). DEFORMATION OF MOISTENED LOESS FOUNDATIONS OF BUILDINGS UNDER STATIC AND DYNAMIC LOADS.
6. Khajiev, N. M. (2022). CHANGE IN THE CONSISTENCY CHARACTERISTICS OF THE WETTED LUSSIC BASES (GRUNTS) OF BUILDINGS UNDER THE INFLUENCE OF SEISMIC FORCES. *Академические исследования в современной науке*, 1(13), 261-267..
7. Khakimov, G. A., Kh, S. S., Muminov, A. A., Berdimurodov, A. E., & Muminov, J. A. (2023). COMPACTION OF LOESS BASES OF BUILDINGS AND STRUCTURES, AS WELL AS BULK SOILS AROUND THE FOUNDATION USING VIBRATORY ROLLERS IN SEISMIC AREAS. *Galaxy International Interdisciplinary Research Journal*, 11(4), 306-311.
8. Gayrat, G. K., Abduraimova, K., Muminov, A., Berdimurodov, A., & Sobirova, Z. (2023). CONSTRUCTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES IN DIFFICULT SOIL CONDITIONS AND SEISMIC REGIONS OF THE REPUBLICS OF CENTRAL ASIA. *International Bulletin of Applied Science and Technology*, 3(6), 315-319.
9. Khakimov, G., Abduraimova, K., Muminov, A., Berdimurodov, A., & Sobirova, Z. (2023). DETERMINATION OF THE CALCULATED (PERMISSIBLE) PRESSURE ON THE LOESS FOUNDATION OF BUILDINGS AND STRUCTURES IN SEISMIC CONDITIONS. *International Bulletin of Engineering and Technology*, 3(6), 61-66.

10. Khakimov, G., Abduraimova, K., Askarov, M., & Khakimova, M. (2023). INFLUENCE OF HUMIDITY ON CHANGES IN THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF LESS SOILS UNDER SEISMIC INFLUENCE. *International Bulletin of Engineering and Technology*, 3(6), 274-281.
11. Khakimov, G. (2023). FORMATION AND DEVELOPMENT OF SEISMOPROSADOCHNOY DEFORMATION AND UVLAJNYONNYKH LYOSSOVYKH OSNOVANIYAX ZDANI I SOORUJENI. *International Bulletin of Applied Science and Technology*, 3(6), 1339-1345.
12. Khakimov, G. (2023). CONSTRUCTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES IN DIFFICULT GROUND CONDITIONS AND SEISMIC AREAS. *International Bulletin of Applied Science and Technology*, 3(2), 203-209.
13. Хакимов, Г. А., Муминов, М. А., Аскаров, М. Т., & Генжибаев, Т. (2023). РАЗВИТИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ЛЁССОВЫХ ГРУНТОВ В ПОДФУНДАМЕНТНОЙ ЧАСТИ ОСНОВАНИЯ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ. *GOLDEN BRAIN*, 1(1), 130-135.
14. Gayrat, G. K., & Abduraimova, K. (2023). INCREASING DAMAGE TO STABILITY OF BUILDINGS ERECTED ON LESS SOILS IN SEISMIC AREAS, DEPENDING ON SOME FACTORS. *International Bulletin of Engineering and Technology*, 3(9), 61-69.
15. Khakimov, G., & Abduraimova, K. (2023). RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH ON STUDYING THE DEPENDENCE OF THE CRITICAL ACCELERATION OF GROUND VIBRATIONS FROM VARIOUS FACTORS UNDER CONVERSATION CONDITIONS. *International Bulletin of Applied Science and Technology*, 3(10), 330-337.
16. Khakimov, G. A., Kh, S. S., Muminov, A. A., Berdimurodov, A. E., & Muminov, J. A. (2023). Experience of compaction of the bases of large buildings and cores of earthen dams of waterworks in seismic areas with optimal humidity of loess soil. *Academia Science Repository*, 4(04), 365-372.
17. Хакимов, Г. (2023). Повышение сейсмической устойчивости увлажнённых лёссовых оснований. *Сейсмическая безопасность зданий и сооружений*, 1(1), 170-178.
18. Хакимов, Г., Байматов, Ш., & Муминов, Ж. (2023). Юқори сейсмик туманларда грунтли тұғонларнинг ядросини лёссимон грунтлардан барпо этиш амалиёти. *Сейсмическая безопасность зданий и сооружений*, 1(1), 115-121.
19. Хакимов, Г., & Байматов, Ш. (2023). Биноларни лёссимон заминларда лойихалашда сейсмик күчлар таъсирида пайдо бўладиган

деформацияларни хисобга олиш. Сейсмическая безопасность зданий и сооружений, 1(1), 161-165.

20. Хакимов, Г. (2023). Изменение прочностных характеристик виброуплотнённых увлажнённых лёссовых грунтов во времени. Сейсмическая безопасность зданий и сооружений, 1(1), 165-170.

21. Rakhmonkulovna, K. G. A. A. K. (2024). INCREASING THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF LOESS SOILS OVER TIME AFTER VIBRATION. Synergy: Cross-Disciplinary Journal of Digital Investigation (2995-4827), 2(2), 39-44.

22. Akramovich, K. G., Xushvaqtovich, B. S., Abduvakhobjonovich, R. S., Sunnatovich, T. Z., & Zarofatkhan, A. (2024). Investigation of the Patterns of Changes in the Structural Strength of Moistened Loess Soils Under Dynamic (Seismic) Influences. International Journal of Scientific Trends, 3(2), 1-9.

23. Akramovich, K. G., Xushvaqtovich, B. S., Abduvakhobjonovich, R. S., Sunnatovich, T. Z., & Zarofatkhan, A. (2024). Problems of Design and Construction of Buildings and Structures in Seismic Areas, on Weak Moistened Clay and Subsidence Loess Bases. International Journal of Scientific Trends, 3(2), 19-26.

24. Akramovich, K. G. (2024). THE INFLUENCE OF EXTERNAL LOADING AND THE OWN WEIGHT OF THE SOIL ON THE SEISMIC RESISTANCE OF THE FOUNDATIONS OF STRUCTURES. Valeology: International Journal of Medical Anthropology and Bioethics (2995-4924), 2(5), 1-6.

25. Akramovich, K. G. (2024). The Influence of the Frequency of Dynamic Action on the Violation of the Structure and Compaction of Loess Soils. EUROPEAN JOURNAL OF INNOVATION IN NONFORMAL EDUCATION, 4(5), 15-19.

26. Akramovich, K. G., & Goyibov, O. (2024). Methods for Determining the Critical Acceleration of Loess Soil Oscillation. American Journal of Technology Advancement, 1(5), 31-38.

27. Хакимов, Г. А., Искандаров, Э. Б., & Байматов, Ш. Х. (2024). СЕЙСМИЧЕСКИЕ (ДИНАМИЧЕСКИЕ) ПРОСАДКИ В УВЛАЖНЁННЫХ ЛЁССОВЫХ ОСНОВАНИЯХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. Строительство и образование, (Спецвыпуск 1), 61-68.

28. Хакимов, Г. А., Искандаров, Э. Б., & Байматов, Ш. Х. (2024). НАРУШЕНИЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЛЁССОВЫХ ОСНОВАНИЙ ЗДАНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВНУТРЕННИХ И ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ. Строительство и образование, (Спецвыпуск 1), 52-60.

29. Хакимов, Г. А. (2025). РАЗВИТИЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ УВЛАЖНЁННЫХ ЛЁССОВЫХ ГРУНТОВ ОТ ИНТЕНСИВНОСТИ КОЛЕБАНИЙ. *FARS International Journal of Education, Social Science & Humanities.*, 14(1), 109-118.
30. Хакимов, Г. А. (2025). ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЛЁССОВЫХ ОСНОВАНИЙ С УЧЁТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ. *FARS International Journal of Education, Social Science & Humanities.*, 14(1), 119-129.