

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА НА ИЗМЕНЕНИЕ СЕЙСМОПРОСАДОЧНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ЛЁССОВЫХ ОСНОВАНИЙ ЗДАНИЙ

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18514433>

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

Данная научная статья посвящена по изучению зависимости величины сейсмической просадки просадочных глинистых и лёссовых грунтов от повышение влажности. Приведены результаты лабораторных экспериментальных исследований по изучению сейсмической просадки увлажнённых глинистых и лёссовых грунтов.

Ключевые слова

влажность; лёссовый грунт; деформация; просадка; сейсмическая деформация; просадочный грунт; водонасыщенный грунт; увлажнённый грунт; вибрационная установка; колебания.

Введение. Некоторые глинистые, в том числе и лёссовые грунты обладают просадочными свойствами при их дополнительном увлажнении. В зависимости от естественно-исторических условий и формирования лёссовых пород, их состава, свойств, мощности, а также в зависимости от глубины залегания грунтовых вод величина просадки различна. Как известно, что в качестве основной причины образования просадки в просадочных глинистых и лёссовых грунтах принималось дополнительное увлажнение грунта. Как показали исследования проведённые многими учёными, в развитии просадочной деформации лёссовых грунтов наряду с дополнительным увлажнением существенное значение имеет и колебательное движение, вызванное различными динамическими и сейсмическими воздействиями.

Как известно, что прочность увлажнённых связных, т.е. глинистых и лёссовых грунтов может в определённых сейсмических условиях снижаться, а сами грунты перейти в разжижённое состояние в условиях водонасыщения с

последующим дополнительным уплотнением и сейсмической просадкой и это обстоятельство хорошо объясняется физической теорией сейсмического нарушения структуры увлажнённых связных грунтов [1-6].

Многие специалисты (Н.И.Кригер, П.Л.Иванов, Х.З.Расулов и др.) сейсмическими просадками (сейсмопросадками) называют дополнительное уплотнение (деформации) увлажнённого грунта при сейсмических колебаниях в результате ослабления структурных связей и разрушения структуры и текстуры грунта. Сейсмическая просадка возникает при сейсмическом воздействии после окончания обычного (в статических условиях) просадочного процесса

Как показали результаты исследования некоторых учёных (Маслова Н.Н., Кригера Н.И., Расурова Х.З., Сайфиддина С., Таирова И.Г. и др.), что величина сейсмопросадочной деформации при интенсивных колебаниях может в 2-3 раза превосходить обычную просадку, получаемую при увлажнении просадочного глинистого и лёссового грунта. Сейсмопросадка просадочных глинистых и лёссовых грунтов при колебании, обычно протекает быстро в отличие от обычных просадочных явлений, возникающих через определённый промежуток времени в результате дополнительного увлажнения и величина сейсмопросадки зависит от длительности сейсмических воздействий. Для надёжного возведения зданий в условиях просадочных глинистых и лёссовых грунтов в сейсмических районах, надо иметь точное представление о сущности просадочных явлений при землетрясениях, а также о некоторых основных факторах, влияющих на протекание сейсмической просадки [4,7-15].

Известно, что в сложных инженерно-геологических условиях находится значительная часть территории Центральной Азии. К таким территориям относятся и области распространения лёссовых просадочных грунтов, в частности территории Узбекистана, где сложность инженерно-геологических условий усугубляется высокой сеймичностью и возможностью их увлажнения при урбанизации земель. Эти условия вызывают необходимость применения таких строительных приемов, которые обеспечили бы высокую надежность и долговечность сооружений.

Проектирование и возведение зданий и сооружений на лёссовых грунтах в сейсмических районах с обеспечением их прочности, устойчивости и надёжной эксплуатацией является одной из сложных проблем современного строительства [16-20].

Изучение причин деформаций зданий и сооружений, возведённых на увлажнённых 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.

Таким образом, при наличии слабых водонасыщенных лёссовых грунтов, способных переходить в динамически нарушенное состояние не всегда можно обеспечить прочность и устойчивость сооружение путем расчёта их оснований по первому предельному состоянию (по несущей способности).

Одним из основных факторов, определяющих величину и характер проявления деформации грунта является степень его плотности, влажности и преобладающий вид структурных связей. Среди этих факторов существенную роль играет влажность. С увеличением влажности лёссовых грунтов повышается сжимаемость и этот процесс влечёт за собой значительные деформации сооружений. При этом, лёсовый грунт из одной разновидности переходить в другую, характеризующуюся совершенно иными свойствами. Лёссовые просадочные грунты способны давать просадку, измеряемую несколькими десятками сантиметров, а иногда и метров как от дополнительного увлажнения так и от вибрации [21-26].

Методика исследований. Для изучения влияния влажности на деформации увлажнённого лёссового грунта была проведена серия лабораторных опытов. Для лабораторных экспериментов образцы лёссовых грунтов отбирались с объектов расположенных в пределах г. Ташкента. Осреднённые показатели физико-механических свойств исследованных лёссовых грунтов приведены в табл.1. Опыты проведены в статических и динамических условиях при нагрузки $P=0,3$ МПа. Динамический лабораторный эксперимент проведён на специальной вибрационной установке. Вибрационная установка позволяет воспроизводить гармонические горизонтально-вынуждённые колебания при амплитуде от 0,1 до 6,0 мм и частоте 1-12 Гц., на поверхность испытуемого образца грунта можно придавать пригрузку от заданного вертикального давления в широких пределах.

Плавная регулировка числа оборотов электродвигателя путем изменения напряжения тока в цепи электродвигателя с помощью лабораторного автотрансформатора, позволяет создавать различной интенсивности вибрационные воздействия с учётом амплитуды и частоты колебания.

Интенсивность вибрационного воздействия оценивается по формуле гармонического колебания:

$$\alpha = 4\pi^2 f^2 A$$

где, α - ускорение колебания;

f - частота колебания;

A - амплитуда колебания.

На установке можно исследовать грунты, как нарушенной, так и ненарушенной структуры при различных ускорениях колебания. С помощью этой формулой на вибрационной установке можем создавать любую значению сейсмического ускорения.

Для выполнения лишь предварительных расчётов допускается использование значения сейсмического ускорения, приведённого в табл. 2.

Показатели физико-механических свойств исследованных лёссовых грунтов

Таблица1

№ грунта	Естественная влажность, %	Плотность гла, т/ м ³		Коэффициент пористости	Степень влажности	Влажность гла		Угол внутреннего трения, град.	Удельное сцепление, МПа	Относительная просадочность при МПа	Наименование грунта
		естественного	сухого			напределе раскатывания	текучести				
1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	10	1.54	1.40	48	0.92	0.29	19.8	27.8	29 ⁰	0.015	0.060
2	11	1.60	1.44	46	0.87	0.34	20.5	27.5	29 ⁰	0.025	0.053
											Лессовидн углиновок
											Лессовидн песь

3	13	1.70	1.50	44	0.79	0.44	18.0	26.7	28 ⁰	0.010	0.043	Лессовидн углинов
4	15	1.79	1.56	42	0.73	0.55	19.0	26.1	30 ⁰	0.050	-	Лессовидн песь

Значения ускорения колебаний грунта при землетрясениях (по С.В.Медведову).

Таблица 2

Сила сейсмических колебаний в баллах по шкале MSK-64	Ускорения колебаний, мм/с²
6	$250 < \alpha \leq 500$
7	$500 < \alpha \leq 1000$
8	$1000 < \alpha \leq 2000$
9	$2000 < \alpha \leq 4000$
10	$4000 < \alpha \leq 8000$

При испытании грунтов ненарушенной структуры образец помешался в компрессионный прибор, который жёстко закреплён на виброплите. Компрессионный прибор состоит из специальной камеры, режущего кольца ($D=90$ мм, $h=30$ мм), дисков с отверстиями (через верхний диск отжимается вода и воздух при деформации образца, а через нижний замачивается грунт), патрубка, через который производится замочка грунта. На патрубок надевается резиновая труба (шланг) необходимой длины. Прибор снабжён верхним прижимным кольцом, прижимными болтами. С помощью болтov прибор крепится к виброплите (рис.1).

С помощью режущего кольца из монолита грунта вырезались образцы-близнецы для проведения серий испытаний. После предварительного уплотнения в приборе производилось замочка грунта. Грунт замачивался до различной степени водонасыщения (до 0,5-1,0). После стабилизации деформаций от замочки, образец подвергался вибрации на виброустановке в диапазоне ускорений от 100 до 8000 $\text{мм}/\text{с}^2$ с частотой колебания от 1 до 12 Гц

и амплитудой 0,2-4,0 мм. Опыты производились при постоянной вертикальной нагрузке $P=0,3$ МПа и при различной длительности колебания.

Вертикальная деформация образца регистрировалась индикаторами часового типа с точностью 0,01 мм.

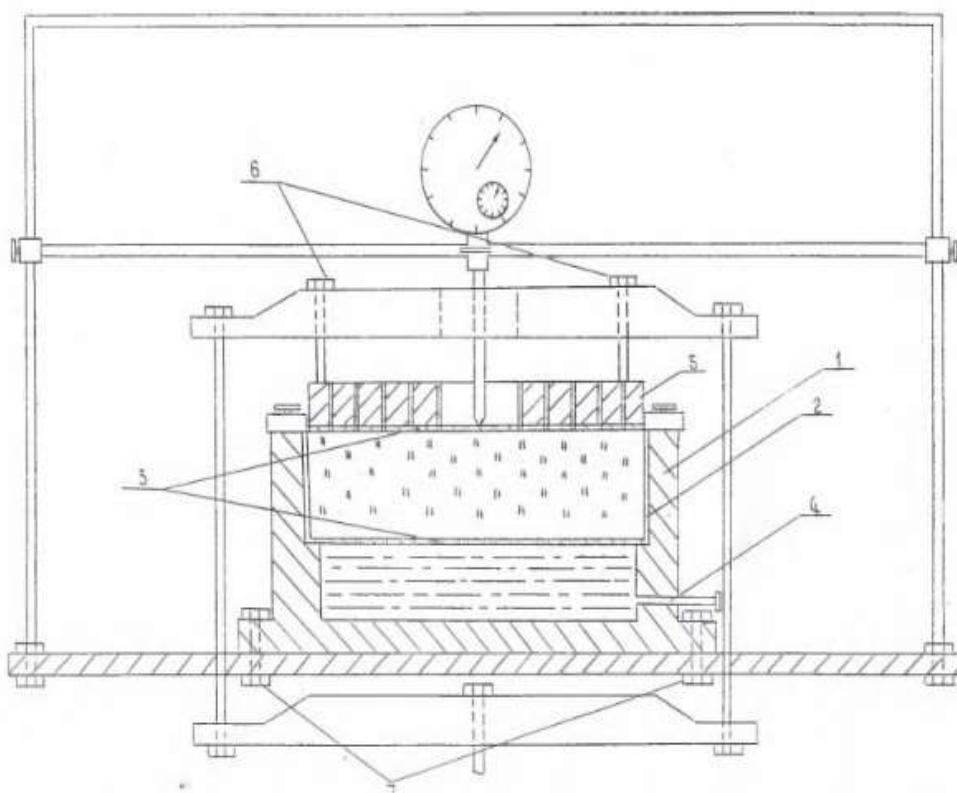


Рис.1 Схематический разрез виброкомпрессионного прибора

1-специальная камера; 2-режущее кольцо; 3-диски с отверстиями; 4-патрубка; 5-прижимное кольцо ; 6- верхние прижимные болты; 7-нижние прижимные болты.

Исследуемый образец помещенный в компрессионный прибор закреплялся жестко на виброплите установки. К поверхности образца, при необходимости, прикладывалась определенная величина ускорения колебания.

Результаты исследований. Полученные результаты (табл.3) показали, что с увеличением влажности лёссовых грунтов наблюдается повышение их модуля просадки. При этом, также можно было проследить увеличение сжимаемости грунта в этих условиях.

Следует отметить, что в отдельных разновидностях грунтов (например грунт № 4) сжимаемость составляет незначительную величину при давлении на грунт до 0,3 МПа, даже при повышении влажности до полного водонасыщения. Это по видимому объясняется очень высокой плотностью (плотность сухого грунта более 1,56 т/м³) и их прочностью (табл.3).

Отсюда следует, что чем выше степени плотности, а также меньше давление на грунт, тем большая нужна его влажность для начала разрушения существующей структуры грунта. Это обстоятельство наглядно усматривается из табл.4, где показаны зависимости дополнительной сейсмической деформации грунта от его влажности.

Как показывают данные табл.3 в статических условиях, т.е. под статической нагрузкой при повышение влажности грунта до 10-12% в лёссовых грунтах существенно не происходит просадка (деформация). А при динамических (сейсмических) условиях, как показывают данные табл.4, при повышение влажности грунта более 10%, в лёссовых грунтах происходит просадка, т.е. структура грунта в динамических условиях нарушается даже при малой влажности.

Дополнительная деформация (сейсмическая просадка) при землетрясении может иметь значительную величину, превышающую в 2-3 раза обычную просадку (табл.3,4). Это обстоятельства наряду с другими факторами приводит к катастрофическим явлениям, связанных с гибелью большого числа людей во время землетрясений [4].

Выводы и рекомендации. 1. Как известно, что среди геологических и инженерно-геологических процессов наибольшую опасность для зданий представляют просадочность и сейсмопросадочность глинистых и лёссовых пород. Всякое увлажнение основания сооружений, возведённых на таких грунтах, может привести к просадке, а в сейсмических условиях дополнительно к сейсмической просадке, усиливающий эффект просадочных процессов.

2. Причинами замачивания грунтов могут быть проникновение под фундаменты атмосферных осадков в результате слабо уплотнённой обратной засыпки вокруг фундаментов, утечка воды из канализационной и водопроводной систем и др.

3. Полученные результаты показали, что с увеличением влажности лёссовых грунтов наблюдается повышение их модуля просадки. При этом, также можно было проследить увеличение сжимаемости грунта в этих условиях.

Просадка лёссовых грунтов при статических условиях

Таблица 3

Номер и название грунта	Плотность сухого грунта, в т/м3	Деформация увлажнённого лёссового грунта при статических нагрузках Р=0,3 МПа, в мм/м										
		10%	12%	14%	16%	18%	20%	22%	24%	26%	28%	30%
1.Лёссовидный суглинок	1,40	0	2	7	12	20	29	39	47	58	63	65
2.Лёссовидная супесь	1,44	0	2	6	11	18	23	32	40	47	51	53
3.Лёссовидный суглинок	1,50	0	0	4	8	13	18	23	28	31	32	32
4.Лёссовидная супесь	1,56	0	0	0	3	5	8	9	10	10	10	10

Просадка лёссовых грунтов при динамических условиях

Таблица 4

Номер и название грунта	Плотность сухого грунта, в т/м3	Деформация увлажнённого лёссового грунта при динамических нагрузках Р=0,3 МПа, в мм/м										
		10%	12%	14%	16%	18%	20%	22%	24%	26%	28%	30%
1.Лёссовидный суглинок	1,40	0	18	32	44	52	58	62	66	67	68	69
2.Лёссовидная супесь	1,44	0	10	23	35	43	50	53	56	58	59	60
3.Лёссовидный суглинок	1,50	0	8	16	26	33	40	44	47	49	50	50
4.Лёссовидная супесь	1,56	0	0	8	16	22	27	30	32	33	33	33

4.Как показали результаты исследований, что для возникновения уплотнения лёссовых пород совсем не обязательно их увлажнение до полного водонасыщения.

5.Также проведённые опыты показали, что чем выше степени плотности, а также меньше давление на грунт, тем большая нужна его влажность для начала разрушения существующей структуры грунта.

6.В итоге можно заключить, что при расчёте оснований по деформациям в сейсмических районах, кроме просадки от статической нагрузки, надо учитывать дополнительную просадку от динамической нагрузки (сейсмическую просадку) увлажнённых глинистых и лёссовых грунтов. Как показали результаты наших лабораторных экспериментальных исследований, что величина сейсмопросадочной деформации при интенсивных колебаниях может в 2-3 раза превосходить обычную просадку (табл.3,4), получаемую при увлажнении просадочного глинистого и лёссового грунта. Это дополнительная деформация образующиеся при сейсмических воздействиях, наряду с другими факторами приводит к катастрофическим явлениям, связанных с гибелью большого числа людей во время землетрясений

7. Эти результаты могут учитываться при проектировании и строительстве зданий и сооружений на увлажнённых лёссовых и других просадочных глинистых грунтах в сейсмических районах.

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. Расулов Х.З. Сейсмостойкость и сейсмопросадка лёссовых грунтов. Монография. Ташкент: Фан. 2020. – 336 с.
5. 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.
6. GMFN, D., Kh, S. S., & Muminov, M. M. (2022). DEFORMATION OF MOISTENED LOESS FOUNDATIONS OF BUILDINGS UNDER STATIC AND DYNAMIC LOADS.
7. 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..
8. 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.
9. 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.

10. 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.
11. 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.
12. Khakimov, G. (2023). FORMATION AND DEVELOPMENT OF SEISMOPROSADOCHNOY DEFORMATION AND UVLAJNYONNYKH LYOSOVYKH OSNOVANIYAX ZDANI I SOORUJENI. *International Bulletin of Applied Science and Technology*, 3(6), 1339-1345.
13. 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.
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. 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.
18. 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.

19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. 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.
24. 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.
25. 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.
26. 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.