

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЛЁССОВЫХ ОСНОВАНИЙ С УЧЁТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18287642>

к.г.-м.н., доц. **Хакимов Г.А.**

(Ташкентский архитектурно-строительный университет)

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

Аннотация

В рассматриваемой научной статье приведена усовершенствованная расчётная методика определения несущей способности увлажнённого лёссового основания зданий при сейсмических воздействиях. Разработанный усовершенствованный расчётный метод определения несущей способности увлажнённых лёссовых оснований исходит из условия, что среднее давление от сооружения, возводимого в сейсмических районах, не должно превышать расчётного его значения, определяемого с учётом изменения прочностных характеристик грунтов при землетрясениях. В таком случае при расчёте оснований по деформациям будет учтена дополнительная сейсмическая просадка зданий и сооружений. По этому усовершенствованному расчётному методу, допускаемое давление на основание в сейсмических условиях определяется численным значением изменения напряжённого состояния, связности грунта и гидродинамического градиента, возникающего в толще грунта при его деформации.

Ключевые слова

лёссовые и глинистые грунты; предельная состояния; несущая способность; допускаемое давление; сейсмическая нагрузка; сейсмическая деформация; прочностные характеристики; связность грунта; длительность и интенсивность; напряжённое состояние.

Введение. В соответствии с нормативными документами расчет оснований зданий и сооружений в сейсмических районах предусмотрено вести по первому предельному состоянию, что приводит для всех грунтов к необходимости расчета их устойчивости [4].

Основные положения расчета оснований при особом сочетании нагрузок по первому предельному состоянию исходят из определения несущей

способности оснований в соответствии с приближенной теорией предельного равновесия грунтов с учетом внецентренного действия на фундамент нагрузки и динамических напряжений в основании, возникающих при распространении сейсмических волн. При этом допускается частичный отрыв подошвы фундамента при условии ограничения эксцентриситета нагрузки от сооружений, достаточной величины коэффициента надежности основания в зоне сжатия под частью подошвы фундамента и превышения краевых ординат опоры предельного значения максимальных контактных напряжений. В результате достигается значительное сокращение размеров фундаментов.

В основу расчета положена возможность деформации основания (осадка, крены и т.п.), превышающей свое предельное значение, допустимое при основном сочетании нагрузок. Поэтому при особом сочетании нагрузок с учетом сейсмических воздействий деформация оснований не рассчитывается.

Это основное положение расчета оснований по первому предельному состоянию, нам представляется недостаточным и далеким от явлений, наблюдаемых в натурных условиях.

При наличии глинистых и лёссовых грунтов, способных переходить в динамически нарушенное состояние, не всегда можно обеспечить прочность и устойчивость зданий и сооружений путём расчёта их оснований по первому предельному состоянию, т.е. 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 [1-9].

В кодах зарубежных стран по сейсмостойкому строительству отсутствуют требования расчета по первому предельному состоянию, а в японской практике, в целях уменьшения осадок фундаментов в условиях сеймики, уменьшают допускаемое давление на грунт, так как осадка при динамическом воздействии существенно зависит не только от параметров динамического возмущения, но также от статических нагрузок. Расчетное давление на основание, принятое в японских нормах ниже, чем в европейских странах: например, для песков от 0,05 до 0,30 МПа, а для глинистых грунтов - от 0,02 до 0,2 МПа [4,10-15].

Проектирование и строительства зданий и сооружений на увлажнённых глинистых и лёссовых грунтах в сейсмических районах с обеспечением их

прочности, устойчивости и надёжной эксплуатацией является одной из сложных проблем строительства.

Как показали результаты изучения 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 (от начальной плотности-влажности, прочностных и деформационных характеристик, соответствующей действующему напряжённому состоянию грунта, минералогического и гранулометрического состава) и от интенсивности, характера и длительности воздействующего на грунт колебательного движения [16-23].

Анализ и результаты. В основу ниже описываемых зависимостей положено, что среднее давление от сооружения, возводимого в сейсмических районах, не должно превышать его значения, определяемого в каждом частном случае, исходя из изменения прочностных характеристик грунтов при землетрясениях. Очевидно, в таком случае при расчете оснований по деформациям будет учтена дополнительная сейсмическая осадка зданий и сооружений.

Анализ случаев аварий сооружений, потерпевших при сильных землетрясениях, показывает, что грунты, залегающие в граничных с фундаментом зонах, нередко служат причиной ослабления несущей способности основания.

Это обуславливается тем, что котлованы, вскрытые, для возведение фундаментов сооружений, обычно заполняются теми же грунтами (рыхлыми, насыпными) без особого соблюдения мер, повышающих их динамическую устойчивость. Лишь в небольших случаях насыпные грунты вокруг фундаментов уплотняются с помощью трамбующих установок, что часто малоэффективно с точки зрения рассматриваемой нами задачи. В результате грунты, залегающие в граничных с фундаментом зонах, оказываются во многих случаях наиболее поддающимися динамическому воздействию. Это в конечном итоге приводит к разгрузке основания фундаментов и развитию недопустимой пластической деформации грунтов в под фундаментной части основания [3-4].

Следует отметить, что на практике наиболее часто имеет место случай, частичного разжижения толщи, приводящего к разгрузению грунтов, залегающих ниже подошвы фундамента. Это обстоятельство, связанное со

снижением во времени прочностных показателей грунтов приводит к ослаблению несущей способности основания. Сказанное может привести к расширению зон пластической деформаций к постепенному прониканию её под фундаментные области (рис.1). При достаточной длительности динамического воздействия это проникание может охватить всю под фундаментную зону и привести к случаю выпора грунта из под подошвы фундамента. Этот случай, приводящий нередко к аварии сооружений требует весьма осторожно подхода к проектированию возведению сооружений на слабых увлажнённых глинистых грунтах в сейсмических районах[3-4].

Расчёт оснований, сложенных слабыми водонасыщенными глинистыми грунтами в сейсмических районах может быть произведён с помощью известных формул механики грунтов при обязательном соблюдении условия:

$$\alpha_{\text{крит.}} > \alpha_{\text{сейс.}}$$

где: $\alpha_{\text{сейс.}}$ - максимальное сейсмическое ускорение, действующее на грунтовый массив; $\alpha_{\text{крит.}}$ - критическое ускорение-пороговое ускорение, определяемое прочностными характеристиками структуры грунта.

Если это условие не соблюдается, т.е. при

$$\alpha_{\text{крит.}} < \alpha_{\text{сейс.}}$$

то при оценке несущей способности основания должно быть учтено снижение прочности грунта при колебании.

Требование недопущения процесса уплотнения и развития пластических зон в основании сооружений, очевидно, достигается путём создания условия $\alpha_{\text{крит.}} > \alpha_{\text{сейс.}}$ всех точках грунтового массива.

Для определения допускаемого давления на грунт имеются различные решения, основанные на положениях теории упругости. В основном эти решения отличаются между собой допущением в той или иной степени зоны предельного равновесия (разрушения) в под фундаментной зоне основания.

Эти зоны, очевидно, будут погашены давлением грунта, находящегося краевых зонах сооружений выше подошвы фундамента Н.

$$z_{\text{max}} = \frac{P_0}{\pi \rho_w} (1 + K c l^{-\omega t}) \left(c t_g \varphi + \varphi - \frac{\pi}{2} \right) - \left(H + \frac{C_w}{\rho_w t_g \varphi_w} \right) \quad (1)$$

где, Z-глубина зоны предельного равновесия;

P_0 -нагрузка, действующая на основание;

H-глубина заложения фундамента;

C_w -сцепление грунта;

φ_w -угол внутреннего трения грунта;

ρ_w -осреднённая плотность грунта при влажности W .

Согласно этому выражению, зона предельного равновесия (разрушения) Z увеличивается с возрастанием нагрузки P_0 .

Однако применительно к динамическим условиям работы грунта, это положение является справедливым для случая, когда соблюдается условие $\alpha_{\text{крит.}} > \alpha_{\text{сейс.}}$. В противном случае (при $\alpha_{\text{крит.}} < \alpha_{\text{сейс.}}$) мы сталкиваемся с возможностью увеличения во времени зоны разрушения при постоянном действующей нагрузке ($P_0 = \text{const}$) в сейсмических условиях работы основания. Это увеличение связывается, в первую очередь, состоянием грунта граничной с сооружением зоны.

Нарушение структуры грунта происходящее вначале в краевых зонах подошвы фундамента, распространяясь постепенно в глубь, приводит к разгрузке в под фундаментной зоне, что вызывает снижение эффекта заглубления фундамента в сейсмических условиях. Этим и характеризуется увеличение активной, переходящей в динамически нарушенное состояние зоны от интенсивности колебания. В пределах этой зоны, как было отмечено многими специалистами, наблюдается ослабление прочности грунта за счёт воздействия противодействия в случаях полного или частичного его водонасыщения.

Как известно, роль заглубления сооружения сводится к обеспечению в краевой зоне фундаментов в уровне их подошвы дополнительной нагрузке, погашающей действующие здесь касательные напряжения. При полном взвешивании (разжижении) слоя грунта в граничных с фундаментом зонах эффект заглубления будет полностью потерян и внутренние связи грунта в условиях колебания постепенно ослабляются. В данном случае эффект заглубления будет зависеть от длительности динамического воздействия.

Тогда приведённая выше формула приобретает вид:

$$z_c = \frac{P_0}{\pi \rho_w} (1 + Kcl^{-\omega t}) \left(ct_g \varphi + \varphi - \frac{\pi}{2} \right) - \left(H(t) + \frac{C_w(t)}{\rho_w t_g \varphi_w} \right) \quad (2)$$

где, $H(t)$ -изменяющаяся во времени при колебании эффекта заглубления фундамента;

$C_{w(t)}$ -пластичная связность грунта в момент времени t .

Таким образом, величина зоны предельного равновесия будет увеличиваться за счёт уменьшения во времени связности глинистого грунта и падения эффекта заглубления при колебаниях (рис.2). В этих условиях допуск зоны разрушения при определении расчётной нагрузки, как это

делается в статическом расчёте при динамике может привести к нарушению общей устойчивости основания. Отсюда применительно к динамическим условиям работы оснований, сложенных из грунтов, способных перейти в нарушенное следует принять $Z=0$.

Указанная гипотеза была положена автором в основу проведённого им исследования. В соответствии с этой гипотезой, центральным определяющим вопросом является изменение прочностных характеристик грунтов, залегающих вокруг фундамента и связанное с ним распространение пластической деформации в подфундаментной зоне основания со всеми вытекающими отсюда последствиями.

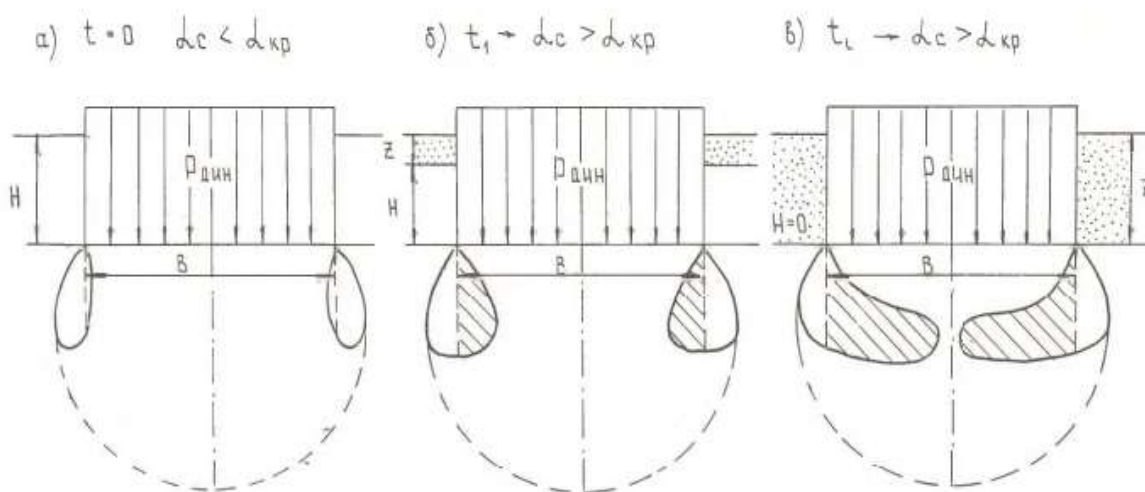


Рис. 1 Характер развития зоны пластической деформации в основании фундамента при колебании грунта в условиях $\alpha_{\text{сейс}} > \alpha_{\text{крит}}$.

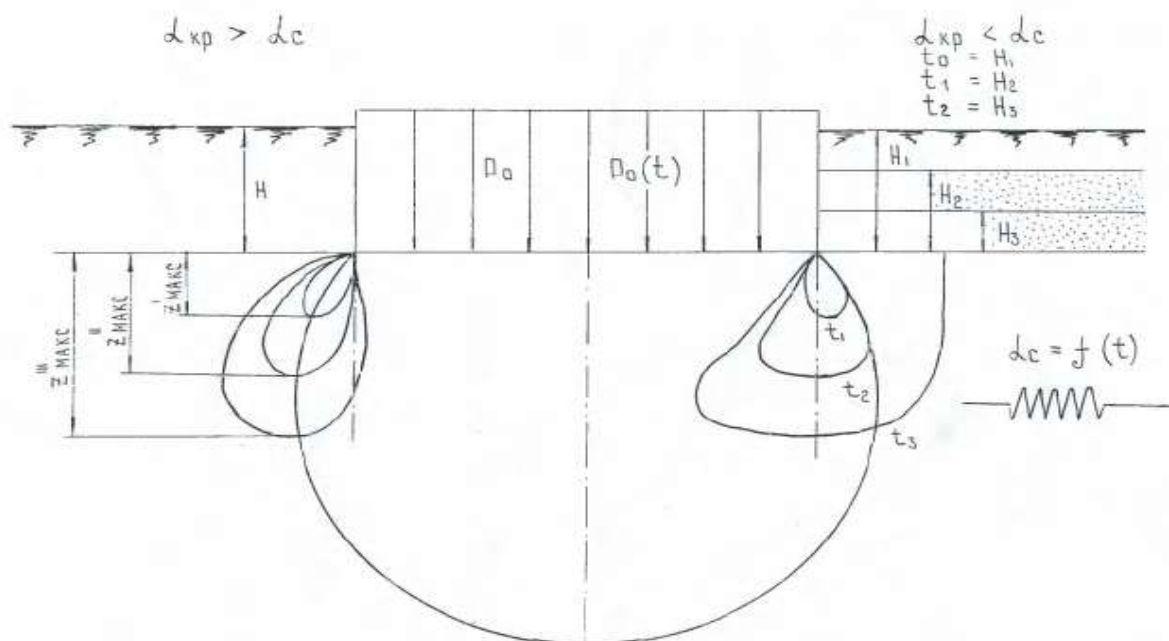


Рис. 2 Расчетная схема рабочей гипотезы.

Исходя из этого можно определить величину нагрузки P_0 из выражения (2), которая в данном случае рассматривается как допускаемое:

$$P(t) = \frac{\pi \rho_w \left[H(t) + \frac{C_w(t)}{\rho_w t g \varphi_w} \right]}{(1 + K c l^{-\omega t}) \left(c t g \varphi + \varphi - \frac{\pi}{2} \right)} + \rho_w H \dots \quad (3)$$

где $\rho_w H$ – вес грунта, вынутаго из котлована.

В выражении (3) $C_w(t)$ соответствует ослаблению связности лесса при колебании и определяется по формуле проф. Расулова Х.З. в виде:

$$C_w(t) = C_w(K) + [C_w(H) - C_w(K)] l^{-\mu t} \dots \quad (4)$$

где $C_w(t)$, $C_w(K)$ - соответственно начальное (до вибрации) и конечное (после вибрации) значения связности грунта;

t - длительность колебания;

μ - параметр, определяемый экспериментальным путем.

Согласно формуле (3) снижение несущей способности глинистых и лёссовых оснований помимо величины $C_w(t)$ будет зависеть от падения роли заглубления H в динамических условиях работы сооружений.

Заключение и рекомендации. 1. Как показали результаты изучения 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 (от начальной

плотности-влажности, прочностных и деформационных характеристик, минералогического и гранулометрического состава) и от интенсивности, характера и длительности воздействующего на грунт колебательного движения.

2. Анализ случаев аварий сооружений, потерпевших при сильных землетрясениях, показывает, что грунты, залегающие в граничных с фундаментом зонах, нередко служат причиной ослабления несущей способности основания, т.е. грунты, залегающие в граничных с фундаментом зонах, оказываются во многих случаях наиболее поддающимися к динамическому воздействию и это в конечном итоге приводит к разгрузке основания фундаментов и развитию недопустимой пластической деформации грунтов в под фундаментной части основания.

3. В соответствии с нормативными документами расчет оснований в сейсмических районах предусмотрено вести по первому предельному состоянию, что приводит для всех грунтов к необходимости расчета их устойчивости. При расчёте по первому предельному состоянию, образующиеся деформация в грунтах при воздействии сейсмических сил не учитывается. Это основное положение расчета оснований по первому предельному состоянию, нам представляется недостаточным и далеким от явлений, наблюдаемых в натурных условиях.

4. При наличии глинистых и лёссовых грунтов, способных переходить в динамически нарушенное состояние, не всегда можно обеспечить прочность и устойчивость зданий и сооружений путём расчёта их оснований по первому предельному состоянию, т.е. 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.

5. Дополнительная деформация в увлажнённых глинистых и лёссовых основаниях в основном образуются из-за ослабление прочностных характеристик грунтов и снижением общей устойчивости оснований.

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

7. Предлагаемый усовершенствованный расчётный метод определения несущей способности основание исходит из условия, что среднее давление от

сооружения, возводимого в сейсмических районах, не должно превышать расчетного его значения, определяемого с учетом изменения прочностных характеристик грунтов при землетрясениях. Очевидно, в таком случае при расчете оснований по деформациям будет учтена дополнительная сейсмическая осадка сооружений.

8. По этому усовершенствованному расчётному методу, допускаемое давление на основание в сейсмических условиях определяется численным значением изменения напряжённого состояния, связности грунта и гидродинамического градиента, возникающего в толще грунта при его деформации.

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 LYOSSOVYKH 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., Rakhmonkulovna, A. K., Rustamovna, T. S., & Abduxalilovich, M. J. THE EVENT PROVIDES SEISMIC RESISTANCE OF BUILDINGS AND STRUCTURES BUILT ON MOIST LOESS SOILS.
23. 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.