

УДК 624.131.23:624.138.22

РАЗВИТИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ЛЁССОВЫХ ГРУНТОВ В ПОДФУНДАМЕНТНОЙ ЧАСТИ ОСНОВАНИЯ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

к.г.-м.н., доц. Г.А. Хакимов¹, магистр М.А.Муминов¹, М.Т.Аскарров¹, магистр Т. Генжибаев²
 Узбекистан, Ташкентский архитектурно-строительный университет¹,
 Каракалпакский государственный университет²
 E-mail: gayratxakimov1955@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada muallifning tadqiqot ishlari natijasida olingan gipotezasi keltirilgan. Bu gipoteza bo'yicha bu yerda asosiy, hal qiluvchi masala bo'lib poydevor atrofidagi lyossimon gruntlarning mustahkam xarakteristikalarining seysmik kuchlar ta'sirida o'zgarishi va natijada poydevor ostidagi plastik deformatsiyaning rivojlanishi hamda kelib chiqadigan oqibatlar (gruntning poydevor ostidan sqilib chiqishi) hisoblanadi.

Kalit so'zlari: lyossimon gruntlar, gruntning mustahkamlik xarakteristikalari, zilzilalar, dinamik barqarorlik, yuk ko'tarish qobiliyati, to'kma gruntlar, plastik deformatsiya, qovushqoqlik, hisobiy yuk.

Аннотация: В статье приведена гипотеза автора в основу проведённого им исследования. В соответствии с этой гипотезой, центральным определяющим вопросам является изменение прочностных характеристик увлажнённых лёссовых грунтов, залегающих вокруг фундамента и связанное с ним распространение пластической деформации в под фундаментной зоне основания со всеми вытекающими отсюда последствиями (выпор грунта из под подошвы фундамента) при сейсмических воздействиях.

Ключивые слова: лёссовые грунты, прочностные характеристики грунтов, землетрясения, динамическая устойчивость, несущая способность, насыпные грунты, пластическая деформация, связность, расчётная нагрузка.

Annotation: The article presents the author's hypothesis as the basis of his research. In accordance with this hypothesis, the central determining issues are the change in the strength characteristics of moistened loess soils lying around the foundation and the associated spread of plastic deformation in the basement zone of the foundation with all the consequences that follow from this (the discharge of soil from under the sole of the foundation) under seismic influences.

Keywords: loess soils, strength characteristics of soils, earthquakes, dynamic stability, bearing capacity, bulk soils, plastic deformation, connectivity, design load.

Введение. Проведённые многочисленные анализы случаев аварий сооружений, потерпевших при сильных землетрясениях, показывали, что грунты, залегающие в граничных с фундаментом зонах, нередко служат причиной ослабления несущей способности основания [1-7].

Это обуславливается тем, что котлованы, вскрытые для возведения 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 трамбуемых установок, что часто мало эффективно 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.

Приведем пример из практики эксплуатации жилого дома 83 по ул. Наккошлик в г. Ташкенте (Узбекистан). Четырёхэтажное кирпичное здание с техническим подвалом в 2 м и глубиной заложения фундамента - 2,4 м. Удельная нагрузка от веса конструкции - 0.14-0.15 МПа.

Грунты, залегающие в основании здания представлены лёссовидными суглинками, мощностью 20-22 м. Грунтовые воды залегают глубине 17.0 м от поверхности земли. В первые годы эксплуатации здания грунты основания оказались дополнительно увлажненными в результате стока атмосферных вод (наклон рельефа в сторону дома), полива прилегающих участков и аварии водопроводящих сооружений. При этом увлажненный грунт характеризовался данными табл. 1

Характеристика увлажненного лёссовидного суглинка Таблица 1

Показатель	Единица измерения	Величина
Плотность частиц грунта	т/м ³	2.68
Плотность природного грунта	т/м ³	1.79
Влажность грунта	%	20.7
Пористость	%	44.6
Угол внутреннего трения	град.	27 ⁰ 25
Связность	МПа	0.0011

11 декабря 1980 г. в западном пригороде Ташкента произошло землетрясение, эпицентр которого расположен в 17 км от центра города в непосредственной близости от посёлки Назарбек, давшего название этому землетрясению. В посёлке землетрясение ощущалось силой 7-8 баллов, в Ташкенте 6-7 баллов, по шкале MSK-64(Магнитуда основного толчка в эпицентре составила 5,2 по шкале Рихтера), что вызвало деформацию грунтов основания дома. Вследствие сейсмической просадки увлажненных лёссовых грунтов образовались трещины в фундаменте и фасадной стене размерами 1-2 см (рис.1). Образовались также трещины в насыпных грунтах вокруг дома. Эти трещины, различные по размерам (наибольшие 3-5 см в сильно увлажненной южной части) сопровождалась разжижением и просадками грунтов (рис.2). Произошло выпирание грунта из под подошвы фундамента в результате снижения его несущей способности (рис.3).

Результаты. Для изучения причины такого явления были исследованы образцы грунтов, отобранные из глубин 2.6 и 4.5 м у южного торца дома. Вибрация лёссовидного суглинка показала, что изменение прочности (связности) зависит, в большей степени, от частоты колебания.



Рис.1 Трещины, образовавшиеся в цокольной части здания

Опыты проводились при вибрации с ускорением $a=600$ мм/с². Изменение режима вибрации в этих опытах достигалось за счет частоты колебания при постоянном значении амплитуды. Регистрируемым параметром в рассматриваемом случае являлась связность грунта до и

после опыта. Так, при частоте $f=2$ Гц первоначальная связность грунта $C_w(H)=0.004$ МПа снизилась до $C_w(K)=0.0025$ МПа; при $f =6$ Гц соответственно: $C_w (H)=0.0045$ МПа на $C_w (K) =0.0010$ МПа; при $f =10$ Гц - $C_w (H)=0.0050$ МПа на $C_w (K)=0.0004$ МПа и при $f=15$ Гц - $C_w (H)=0.0046$ МПа на $C_w (K) = 0$.

Отмечено, что при частотах выше 10 Гц (высоко частотные землетрясения) величина связности грунта уменьшается до нуля даже при 6-балльном землетрясении.

Приведенный пример достаточно отчетливо свидетельствует о нарушении структуры водонасыщенного грунта и последующем его уплотнении и, при этом, возможен переход в разжиженное состояние граничных с фундаментом зонах, вызывая разгрузку основания и развитие пластических деформаций (деформации сдвига) под фундаментом здания. Пример также указывает на актуальность поставленной задачи и ее весьма важное народнохозяйственное значение.

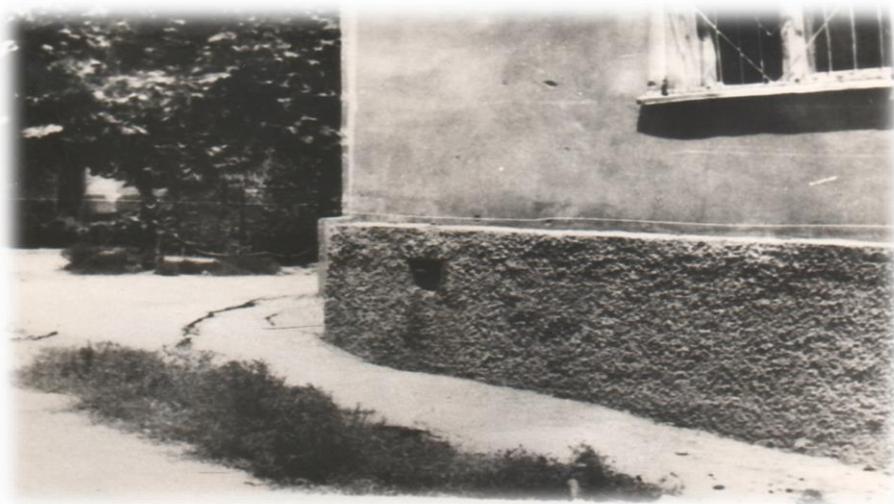


Рис.2 Деформация переувлажненных насыпных грунтов вокруг дома



Рис.3 Выпор грунта из-под подошвы фундамента

В света анализа подобных случаев из практики строительства автор поставил перед собой задачу изучить возможные условия нарушения структуры и уплотнения водонасыщенного лесса с точки зрения прогноза изменения несущей способности основания в

этих условиях. При решении задачи возникла необходимость в разработка некоторой рабочей гипотезы, которая должна быть подвергнута экспериментальной проверке и, в дальнейшем, теоретическому обоснованию с использованием в нем выводов опытов. В результате проведенного исследования предполагалось сделать из них практические выводы и дать соответствующие рекомендации для возведения сооружений на слабых водонасыщенных лессовых грунтах, связанные с возможным на них воздействием сейсмических сил.

Расчет оснований, сложенных слабыми водонасыщенными лессами сейсмических районах может быть произведен с помощью известных формул механики грунтов при обязательном соблюдении условия $\alpha_{кр} > \alpha_c$ (где: α_c - максимальное сейсмическое ускорение, действующее на грунтовый массив; $\alpha_{кр}$ - критическое ускорение - пороговое ускорение, определяемое прочностными характеристиками структуры грунта), если это условие не соблюдается (т.е. при $\alpha_{кр} < \alpha_c$), то при оценке несущей способности основания должно быть учтено снижение прочности грунта при колебании.

Для определения допустимого 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 в краевых зонах сооружений выше подошвы фундамента Н. За основу большинства этих разработок положена известная формула Н.П. Пузыревского:

$$Z = \frac{P_0}{\pi \rho_w} \left(\text{ctg } \varphi + \varphi - \frac{\pi}{2} \right) - \left(H + \frac{C_w}{\rho_w \text{tg } \varphi_w} \right) \quad (1)$$

где Z - глубина зоны предельного равновесия ; ρ_w
 P_0 – нагрузка, действующая на основание;
 H - глубина заложения фундамента;
 C_w - сцепление (пластичная связность) грунта;
 φ_w - угол внутреннего трения грунта;
 ρ_w - осредненная плотность грунта при влажности W .

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

Однако применительно к динамическим условиям работы грунта, это положение является справедливым для случая, когда соблюдается условие $\alpha_{кр} > \alpha_c$. В противном случае (при $\alpha_{кр} < \alpha_c$) 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 с изменением (падением) прочностных характеристик грунтов основания, обусловленных разрушением их структурной связности при воздействии сейсмической нагрузки на основания сооружений. В рассматриваемых случаях устойчивость сооружений определяется, 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 разгрузению 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 [1-6,9,11], наблюдается ослабление прочности грунта за счет 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 нагрузки, 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 приведенная выше формула приобретает вид:

$$Z = \frac{P_0}{\pi \rho_w} \left(\text{ctg } \varphi + \varphi - \frac{\pi}{2} \right) - \left(H_{c(t)} + \frac{C_w(t)}{\rho_w \text{tg } \varphi_w} \right) \quad (2)$$

где $H_{c(t)}$ -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 счет уменьшения во времени связности лесса и падения эффекта заглубления при колебаниях (рис.4). В этих условиях допуск зоны разрушения при определении расчетной нагрузки, как это делается в статическом расчете 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 $Z=0$.

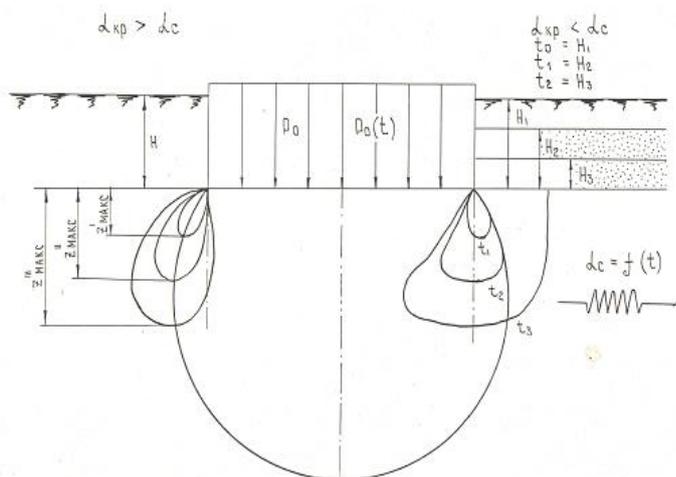


Рис.4 Расчетная схема рабочей гипотезы

Указанная гипотеза была положена автором в основу проведенного 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 под фундаментной зоне основания со всеми вытекающими отсюда последствиями (выпор грунта из под подошвы фундамента см. рис.3).

Заключение

1. Грунты, залегающие в граничных с фундаментом зонах, оказываются во многих случаях наиболее поддающимися динамическому воздействию и нередко служат причиной ослабления несущей способности основания.

2. Нарушения структуры грунта происходящие вначале в краевых зонах подошвы фундамента, распространяясь постепенно в глубь, приводит к разгрузению фундамента в сейсмических условиях.

3. 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.

4. Величина зоны предельного равновесия (пластическая зона) будет увеличиваться за счет уменьшения во времени связности лесса и падения эффекта заглубления при колебаниях.

5. В сейсмических условиях работы основания допуск зоны предельного равновесия при определении расчетной нагрузки может привести к нарушению общей устойчивости основания.

Литература

1. Khakimov, G. A. "Changes in the Strength Characteristics of Glinistx Soils under the Influence of Dynamic Forces International Journal of Engineering and Advanced Technology, IJEAT." *Exploring innovation* (2020): 639-643.
2. Khakimov, Gayrat Akramovich. "The nature of the change in the connectivity of moistened loess soils during vibration." *American Journal of Applied Science and Technology* 2.06 (2022): 26-41.
3. Khakimov, Gayrat Akramovich. "CHANGES IN PLASTIC ZONES IN LESS BASES UNDER SEISMIC VIBRATIONS."
4. Khakimov, G. A., and M. A. Muminov. "CONSTRUCTION OF BUILDINGS ON WEAK MOIST CLAY SOILS IN SEISMICALLY ACTIVE ZONES OF UZBEKISTAN." *Web of Scientist: International Scientific Research Journal* 3.12 (2022): 755-760
5. GMFN, Dos, Samiyeva Sh Kh, and Master MA Muminov. "DEFORMATION OF MOISTENED LOESS FOUNDATIONS OF BUILDINGS UNDER STATIC AND DYNAMIC LOADS." (2022).
6. Khajiev, N. M. "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 (2022): 261-267.
7. Miralimov, Mirrakhim Mirmakmutovich. "Principles of Regulation of Thermal Protection of Enclosing Structures and Their Impact on the Energy Efficiency Of Buildings." *Design Engineering* (2021): 496-510.
8. Хакимов, Гайрат, et al. "ЭНЕРГИЯТЕЖАМКОР ВА ПАСТ ЭНЕРГИЯ ЭҲТИЁЖЛИ ЗАМОНАВИЙ БИНОЛАР ҚУРИЛИШНИНГ ЖАҲОН АМАЛИЁТИ ВА УНДАН ЎЗБЕКИСТОН ШАРОИТИДА ФОЙДАЛАНИШ ИСТИҚБОЛЛАРИ." *Talqin va tadqiqotlar* 1.19 (2023).
9. Khakimov, Gayrat. "CONSTRUCTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES IN DIFFICULT GROUND CONDITIONS AND SEISMIC AREAS." *International Bulletin of Applied Science and Technology* 3.2 (2023): 203-209
10. Akramovich, Khakimov Gayrat, and Islamova Nargiza Abdugarimovna. "MAIN ASPECTS OF ENERGY CONSERVATION IN CIVIL ENGINEERING." *Open Access Repository* 9.4 (2023): 116-123.

11. GA Khakimov, SS Kh, AA Muminov, AE Berdimurodov, JA Muminov. "COMPACTION OF LOESS BASES OF BUILDINGS AND STRUCTURES, AS WELLAS BULK SOILS AROUND THE FOUNDATION USING VIBRATORY ROLLERS IN SEISMIC AREAS". Galaxy International Interdisciplinary Research Journal 11 (4), 306-311.