

**ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛАСТИЧЕСКИХ ЗОН В ЛЕССОВЫХ ОСНОВАНИЯХ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЯХ**

к.г.-м.н., доц. Хакимов Г.А., магистр Муминов М.А.  
Ташкентский архитектурно-строительный институт, Узбекистан

**Аннотация:** В данной научной статье приведена гипотеза автора в основу проведённого им исследования. В соответствии с этой гипотезой, центральным определяющим вопросам 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).

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

**Введение**

Анализ случаев аварий сооружений, потерпевших при сильных землетрясениях, показывает, 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 трамбующих 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 <sup>3</sup>	2.68
Плотность природного грунта	т/м <sup>3</sup>	1.79
Влажность грунта	%	20.7
Пористость	%	44.6
Угол внутреннего трения	град.	27 <sup>0</sup> 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 лессовых 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) сопровождалось 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 лессовидного 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  $a=600 \text{ мм/с}^2$ . Изменение режима вибрации в этих опытах достигалось за счет частоты колебания при

постоянном значении амплитуды. Регистрируемым параметром в рассматриваемом случае явилась связность грунта до и после опыта. Так, при частоте  $f=2 \text{ Гц}$  первоначальная связность грунта  $C_w(H)=0.004 \text{ МПа}$  снизилась до  $C_w(K)=0.0025 \text{ МПа}$ ; при  $f=6 \text{ Гц}$  соответственно:  $C_w(H)=0.0045 \text{ МПа}$  на  $C_w(K)=0.0010 \text{ МПа}$ ; при  $f=10 \text{ Гц}$  -  $C_w(H)=0.0050 \text{ МПа}$  на  $C_w(K)=0.0004 \text{ МПа}$  и при  $f=15 \text{ Гц}$  -  $C_w(H)=0.0046 \text{ МПа}$  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.

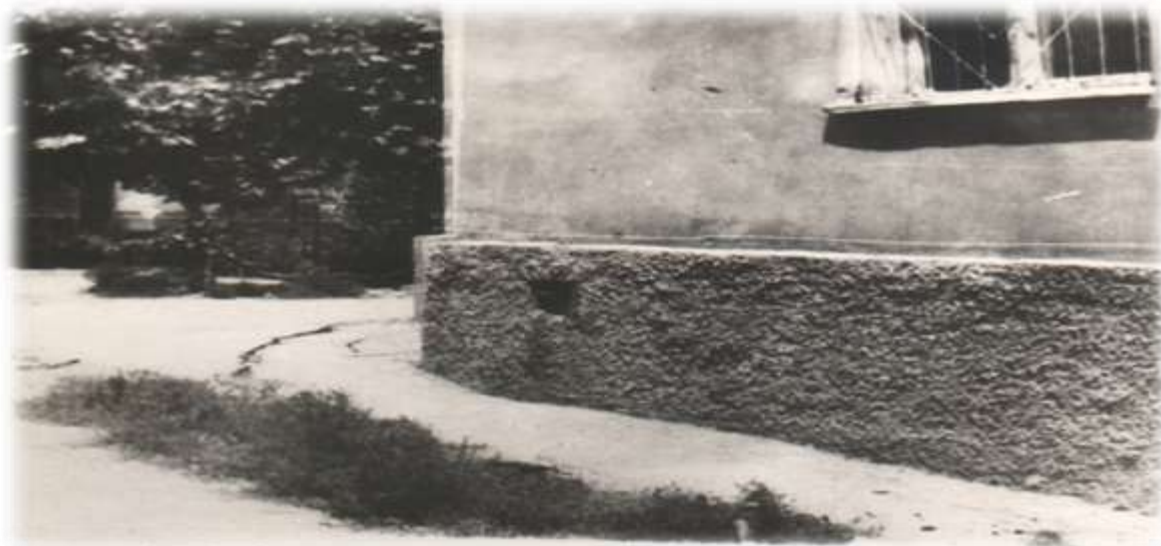


Рис.2 Деформация переувлажненных насыпных грунтов вокруг дома



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:  $\alpha_c$  - 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 [8]:

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

где

Z - глубина зоны предельного равновесия ;  $\rho_w$

$P_0$  – нагрузка , действующая на основание ;

H - глубина заложения фундамента;

$c_w$  - сцепление (пластичная связность) грунта;

$\varphi_w$  - угол внутреннего трения грунта;

$\rho_w$  - 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 ( $P_0 = const$ ) 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 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 [1-7], 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  $Z=0$ .

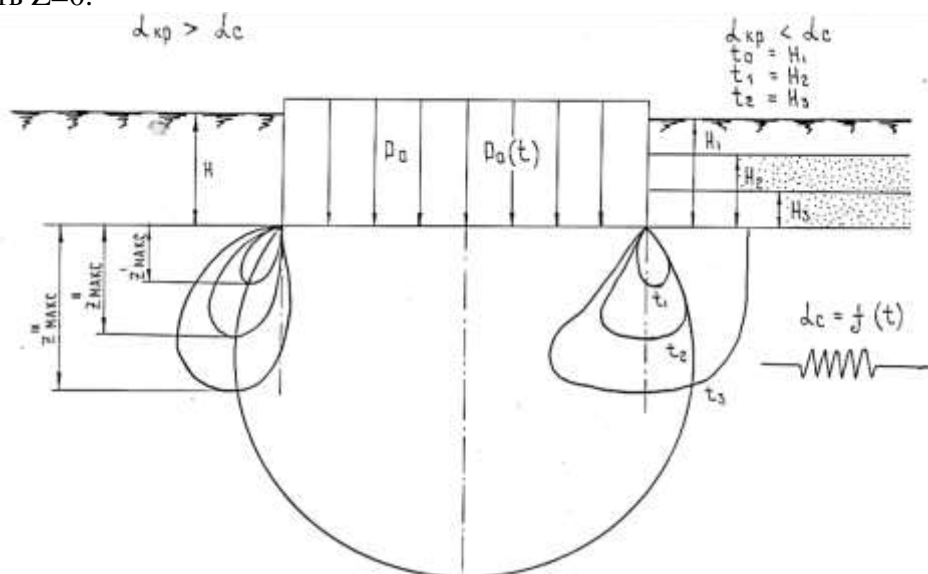


Рис.4 Расчетная схема рабочей гипотезы

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 глубину, 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. Иванов П.Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений. - Москва: Высшая школа, 1985. – 352 с.
2. Маслов Н.Н. Условия устойчивости водонасыщенных песков. – Москва: - Ленинград: Госэнергоиздат, 1959 . – 328 с.
3. Расулов Х.З. Сейсмопрочность и сейсмопросадка лёссовых грунтов. -Ташкент: “Фан“, 2020. – 336 с.
4. Расулов Х.З. Сейсмостойкость грунтовых оснований. – Ташкент: Узбекистан, 1984. – 192 с.
5. Хакимов Г.А., Сайфиддинов С., Ахмадиёров У.С. Изучение изменение пластических зон в лёссовых основаниях при сейсмических воздействиях. Научно-технический журнал Самаркандского государственного архитектурно-строительного института. Проблемы архитектуры и строительства – Самарканд, 2016 г. №2, с.67-70.
6. Хакимов Г.А., Сайфиддинов С., Ахмадиёров У.С. Расчётное давление на основание в сейсмических условиях. Материалы международной научно-технической конференции “Перспективы применения инновационных технологий в сфере архитектуры и строительства“, - Самарканд, 2016 г.27-28 мая, 147-150 с.
7. Хакимов Г.А., Байматов Ш. Усовершенствованная методика по виброуплотнению лёссовых оснований зданий и насыпных грунтов вокруг фундамента в сейсмических районах. Научно-практический журнал Ташкентского архитектурно-строительного института. Архитектура, строительства и дизайн. – Ташкент, 2021 г. №2, 210-214 с.
8. Пузыревский Н.П. Фундаменты. – Москва: ОНТИ, 1934.
9. Principles of Regulation of Thermal Protection of Enclosing Structures and Their Impact on the Energy Efficiency Of Buildings GAX Miralimov Mirrakhim Mirmakhmutovich, Sadriddin Sayfiddinov, Ulugbek ... Design Engineering, 496-510 2021
10. Деформированное состояние предварительно напряженных двухпоясных вантовых покрытий при симметричных и односторонних загрузениях СР Раззаков, НС

Раззаков, УС Ахмадиёров, ХК Хуррамов " Лолейтовские чтения-150". Современные методы расчета железобетонных и ...2018