

УЎК: 699.841.001.24

<https://dx.doi.org/10.36522/2181-9637-2019-5-8>

СЕЙСМИК ИНЕРЦИЯ ТАЪСИРИНИ НАЗАРДА TUTTAN ҲОЛДА ИНШООТ ЗАМИНИГА НИСБАТАН ХАВФСИЗ БОСИМ

Расулов Хаят Заирович

техника фанлари доктори, профессор

Расулов Рустам Хаятович

техника фанлари доктори, профессор

Бабажанов Мансурбек Бекдурдиевич

докторант

Тошкент архитектура қурилиш институти

Аннотация. Турли статик ва динамик таъсирлар остида бино ва иншоотлар заминига нисбатан хавфсиз босим миқдорини белгилаш сўнгги йилларда қурилишнинг долзарб ва мураккаб муаммоларидан бири бўлиб қолмоқда. Айниқса, кучли zilzila кузатиловчи районларда кўплаб осмонўпар иншоотлар барпо этилиши ва улар заминдаги грунт хусусиятларининг ўзгариши мазкур муаммо юзасидан янги ечимлар ишлаб чиқишни талаб этади. Мақолада ушбу муаммога оид бажарилган ишларнинг қисқача мазмуни ёритилган. Шу мақсадда заминга нисбатан рухсат этилувчи юқори юкни ҳисоблашга оид таклиф этилган ифодалар ёрдамида ҳисоблаш сейсмик инерция кучи таъсирини назарда тутиш билан бирга пойдевор ост-ки қисмларидаги грунт деформациясининг меъёрий миқдорини таъминлайди. Ишланманинг лойиҳачилар томонидан қулай ва осон ўзлаштирилиши мумкинлиги унинг қийматини белгилайди.

Таянч тушунчалар: грунт, лесс, замин, инерция кучи, хавфсиз юк, айланма частота, сейсмик ўта чўкиш.

БЕЗОПАСНАЯ НАГРУЗКА НА ОСНОВАНИЯ СООРУЖЕНИЙ С УЧЕТОМ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИНЕРЦИОННОЙ СИЛЫ

Расулов Хаят Заирович

доктор технических наук, профессор

Расулов Рустам Хаятович

доктор технических наук, профессор

Бабажанов Мансурбек Бекдурдиевич

докторант

Ташкентский архитектурно-строительный институт

Аннотация. Назначение безопасного давления с учетом статических и динамических воздействий на основание зданий и сооружений было и остается актуальной и в то же время сложной проблемой строительства. Проектирование и строительство небоскребов, ослабление несущей способности грунтов оснований в связи с урбанизацией в сейсмических районах диктует необходимость разработки новых решений этой проблемы. В статье кратко излагаются результаты исследований в данном направлении. Расчет безопасной нагрузки на основание сооружений по предлагаемой формуле, с учетом сейсмической инерционной силы, обеспечивает допустимую деформацию грунта под сооружением. Ценность данной разработки обуславливается ее несложным освоением проектировщиками и строителями.

Ключевые слова: грунт, лесс, основание, инерционная сила, допустимая нагрузка, безопасная нагрузка, круговая частота, сейсмопросадка.

SAFE LOADING ON THE FOUNDATION OF CONSTRUCTIONS SUBJECT TO SEISMIC INERTIAL FORCE

Rasulov Khayat Zairovich

Doctor of Technical Sciences, Professor

Rasulov Rustam Khayatovich

Doctor of Technical Sciences, Professor

Babajanov Mansurbek Bekdurdievich

Doktoral candidate

Tashkent Institute of Architecture and Civil Engineering

Annotation. *The appointment of safe pressure, taking into account static and dynamic effects on the foundation of buildings and constructions remains an urgent and at the same time a complex construction problem. The design and construction of sky-scrapers, the weakness of the bearing capacity of the foundation soils in connection with urbanization in seismic areas, necessitates the development of new solutions to this problem. The article summarizes the results of research in this direction. Calculation of safe loading on the foundation of constructions according to the proposed formula, taking into account the seismic inertial force, ensures the supposed deformation of the soil under the construction. The value of this engineering is determined by its simple development by designers and builders.*

Key words: soil, loess, foundation, inertial force, supposed loading, safe loading, circular frequency, seismic subsidence

Введение

В настоящее время исключительно сложным является обеспечение прочности и устойчивости зданий и сооружений в условиях слабых, увлажненных грунтов в сейсмических районах. При этом одной из основных причин деформаций сооружений, возведенных на увлажненных лессовых грунтах, является неравномерная сеймопросадка фундамента сооружений, которая происходит при минимальном давлении на грунт, а характер деформации конструкции зависит от грунтовых условий и интенсивности сейсмического проявления.

Это обстоятельство свидетельствует о том, что при наличии слабых водонасыщенных грунтов, способных уплотняться даже при незначительных сотрясениях с проявлением сеймопросадок, нельзя обеспечить устойчивость возводимых сооружений путем расчета оснований по первому предельному состоянию (по несущей способности).

В связи с этим возникает необходимость разработки нового принципа расчета исходя из условий совместной работы всей конструкции в целом с основанием, то есть с учетом особенностей грунтов основания и специфики работы конструкции здания.

Основная часть

Самым надежным методом, обеспечивающим устойчивость эксплуатации сооружений, возводимых в сейсмических районах, является назначение безопасного давления на основание из расчета ограничения величины осадки и разности осадок соседних фундаментов, что послужило бы соблюдением условия $\alpha_{lim} > \alpha_c$ (где α_{lim} , α_c – соответственно пороговое и сейсмическое ускорения) во всех точках грунтового массива [1].

Здесь уместно отметить значительную роль порогового ускорения α_{lim} при установлении безопасного давления на основание в условиях колебания грунта. Под пороговым ускорением понимается такое ускорение, при котором колеблющийся грунт сохраняет свою статическую структуру и прочность, и выше его значения начинается нарушение структуры и уплотнение грунта.

Такой принцип проектирования исключал бы возможность использования в качестве естественного основания грунтов, для которых $\alpha_{lim} < \alpha_c$. Подобное требование, в частности, в свое время высказывалось Ю.М. Абелевым, который отмечал, что «при строительстве на лессовых грунтах их необходимо полностью прорезать глубокими

фундаментами, рассчитанными на срез от воздействия горизонтальных сейсмических нагрузок, либо уплотнять до такой степени ($\alpha_{\text{lim}} > \alpha_c$ – Расулов Х.З.), при которой исключается возможность самоуплотнения» [2].

Такое решение в определенных условиях привело бы к увеличению объемов работ по устройству оснований и фундаментов и удорожанию строительства в целом. Сказанное обосновывается, во-первых, перерывом между сильнейшими землетрясениями, характерными для данного района и сроком службы отдельных зданий и сооружений; во-вторых – проектированием в большом количестве зданий и сооружений менее чувствительных к незначительным неравномерным деформациям оснований, и в-третьих, – допуском некоторых несущественных повреждений в несущих конструкциях зданий, обеспечивая при этом сохранность основных несущих конструкций.

В связи с отсутствием метода оценки несущей способности оснований с учетом изменения прочности грунтов в сейсмических условиях проектировщики прибегают к применению различных, нередко неоправданных приемов (например, использование коэффициента надежности, равного 1,5 и т.п.).

Излагаемый ниже метод определения безопасной нагрузки на основание (расчетного сопротивления грунта) в некоторой степени восполняет этот пробел, учитывая влияние инерционной сейсмической силы при сотрясении грунтового основания.

Исходя из анализа последствий землетрясений, прошедших в последние годы на планете (рис. 1, 2), а также результатов многочисленных экспериментальных исследований по изучению сейсмических свойств лессов можно прийти к следующему заключению.

Расчет оснований, сложенных слабыми увлажненными лессами, в сейсмических районах может быть произведен:

- с помощью известных формул механики грунтов при обязательном соблюдении условия $\alpha_{\text{lim}} > \alpha_c$, с учетом инерционной силы колебания грунтовых частиц;

- если это условие не соблюдается (т.е. при $\alpha_{\text{lim}} < \alpha_c$), то при оценке несущей способности основания должно быть учтено снижение прочности грунта при сотрясении.

Решение вопроса при расчете оснований с допуском некоторой зоны образования пластических зон вокруг фундамента в условиях колебаний грунта, как это принято в статических расчетах, является недопустимым.



Рис. 1. Последствия землетрясения в провинции Сычуань (Китай)
(многочисленные наклоны и оседания зданий были связаны с сейсмопросадочными деформациями грунта во время землетрясения)



Рис. 2. Вид наклонившихся зданий в результате неравномерной сейсмопросадки основания в процессе землетрясения в Катманду (Непал, 2015 г.)

В таком случае будет прогрессивно снижаться связность грунта, в толще возникают водные потоки, приводящие к взвешиванию частиц, что приводит в конечном итоге к разжижению грунта с частичной или полной потерей несущей способности основания.

Исследования на достаточно плотных грунтах, проведенные ранее, показали немаловажную роль инерционной силы в колебательном процессе грунта, что диктует необходимость ее учета при расчете оснований на сейсмическую устойчивость.

На основании вышеизложенного, назначение безопасной нагрузки на основание зданий, возводимых в сейсмических районах, базируется на следующих положениях:

- в любой точке основания соблюдается условие $\alpha_{\text{lim}} > \alpha_c$, что способствует недопущению

образования пластических зон под фундаментной зоной грунта;

- при этих условиях безопасная нагрузка на основание определяется с учетом сейсмической инерционной силы.

Это обстоятельство, в свою очередь, позволяет использовать существующие формулы статического расчета механики грунтов для определения безопасной нагрузки на основание сооружения уже с учетом сил инерции, возникающей при колебании грунта в условиях $\alpha_{\text{lim}} > \alpha_c$.

Известно, что в настоящее время для определения безопасной нагрузки на основание имеются различные решения, основанные на законах теории упругости. В основном эти решения отличаются между собой размером допущения зоны разрушения z_{max} в фундаментной зоне основания:

$$z_{\text{max}} = \frac{P_0}{\pi \gamma_{\text{cp}}} \left(\text{ctg} \varphi + \gamma - \frac{\pi}{2} \right) - (h_{\text{загл}} + \frac{c_v}{\gamma_{\text{cp}} \text{tg} \varphi}), \quad (1)$$

где: z_{max} – глубина зоны разрушения;

P_0 – нагрузка, при которой в основании фундамента развиваются области разрушения;

$h_{\text{загл}}$ – глубина заложения фундамента;

c_v – общее сцепление грунта;

φ – угол внутреннего трения грунта.

Согласно этому выражению, зона разрушения $z_{\max}$ увеличивается с возрастанием нагрузки P_0 . Однако следует заметить, что применительно к динамическим условиям работы грунта, как было отмечено выше, это положение является справедливым для случая, когда соблюдается условие $\alpha_{\lim} < \alpha_c$.

Для того, чтобы нагрузка P_0 была безопасной, и полностью исключены области разрушения при сотрясении основания сооружений, в выражении (1) должно приниматься $z_{\max} = 0$.

Такое требование крайне необходимо для оснований сооружений, сложенных слабыми грунтами при воздействии на них сейсмических нагрузок.

При этом максимальное значение нормального напряжения $P_{\max}$, достигающегося у подошвы колеблющегося фундамента с учетом сил инерции, выражается зависимостью:

$$P_{\max} = P_0 (1 + k_c e^{i\omega t}), \quad (2)$$

где k_c – коэффициент сейсмичности;
 ω – круговая частота колебаний;
 t – время.

С учетом формулы (2) выражение (1) переписываем в виде:

$$P_{\text{без}}^c = \frac{\pi \gamma_{\text{ср}} (h_{\text{загл}} + \frac{c_v}{\gamma_{\text{ср}} t g \varphi})}{(1 + k_c e^{i\omega t}) (ctg \varphi + \varphi - \frac{\pi}{2})} \quad (3)$$

Для сыпучих грунтов, характеризующихся отсутствием в них сцепления ($c=0$), выражение (3) приобретает вид:

$$P_{\text{без}}^c = \frac{\pi \gamma_{\text{ср}} h_{\text{загл}}}{(1 + k_c e^{i\omega t}) (ctg \varphi + \varphi - \frac{\pi}{2})} \quad (4)$$

Формула (4) в таком виде, только без учета суммы $(1 + k_c e^{i\omega t})$ была предложена Н.П. Пузыревским.

Анализ проблемы указывает, что глубокое захождение областей разрушения под подошву сооружения и тем более смыкание их на некотором горизонте ставит сооружение в исключительно невыгодные условия работы и грозит ему тяжелыми последствиями. Эти последствия заключаются в первую очередь в возможности резких и внезапных сейсмопросадок с наклоном отдельных частей или в целом сооружения, обычно характеризующихся большой неоднородностью и неподдающихся расчету и учету (рис. 3 и 4).

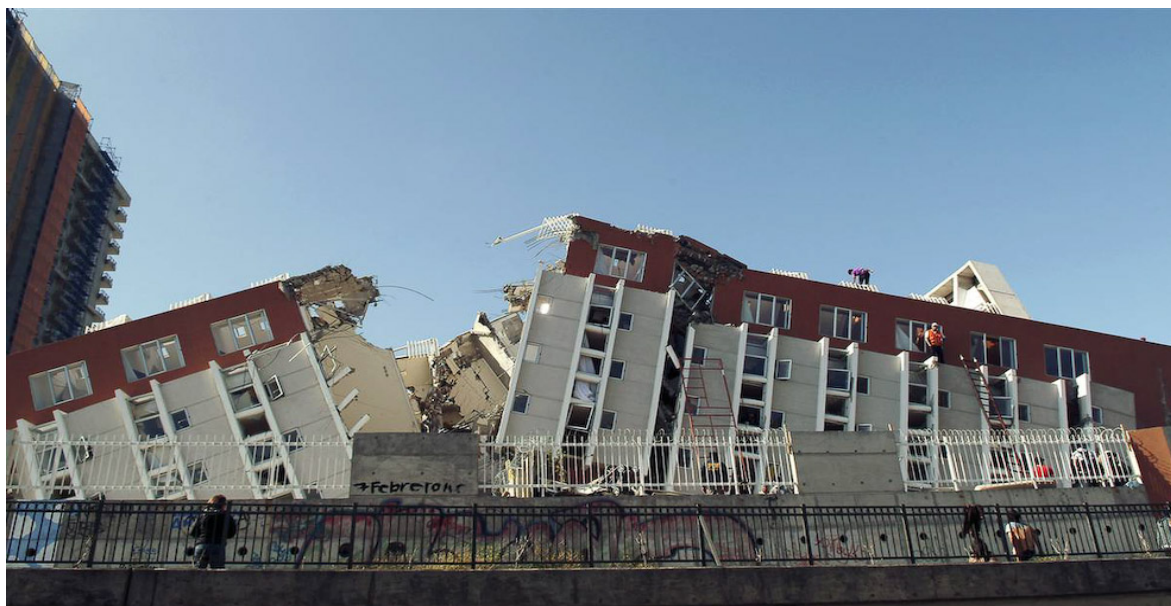


Рис. 3. Разрыв и наклон зданий, характерный для неравномерной деформации основания, связанной с внезапной сейсмопросадкой грунта (Сантьяго, Чили, 2010 г.)



Рис. 4. Повреждения строений, характерные в условиях неравномерной сейсмопросадки грунта оснований при сильных землетрясениях (Чили, 2010 г.)

Формулы (3) и (4) в этом смысле являются более оправданными, поскольку в основе их заложено условие о полном отсутствии в основании сооружения областей разрушения уже с учетом инерционности колебаний. При этом условии возможность использования для настоящего анализа уравнений упругого полупространства уже не ограничивается. Ясно, что в этом плане при использовании формул (3) и (4) никаких коэффициентов запаса не требуется. Таким образом, *безопасная нагрузка* $P_{\text{без}}^c$, определенная по указанным выше формулам, является вполне допустимой нагрузкой ($P_{\text{доп}}$).

Выясняется, что формулы (3) и (4) дают несколько заниженные значения нагрузок $P_{\text{без}}$,

из-за учета в них сейсмической инерционной силы.

Ниже в таблице приведены значения безопасной нагрузки $P_{\text{без}}$ без учета и с учетом инерционной нагрузки для конкретного грунта при сейсмическом воздействии с круговой частотой 10 Гц и длительностью сотрясения 10 с.

Согласно данным таблицы, снижение величины безопасной нагрузки при сейсмическом воздействии силой 7 баллов составляет 3% от статического, одновременно, при 8 баллах – 5,1% и при 9 баллах – 9%. Эти показатели свидетельствуют о том, настолько оправданно практическое использование предложенного метода расчета допускаемой нагрузки на основание фундаментов в сейсмических районах.

Таблица

Безопасная нагрузка на основание из лессовых грунтов

Балл	Коэффициент сейсмичности, κ_c	Средняя плотность грунта, т/м^3	Глубина заложения фундамента, м	Угол трения грунта, град	Безопасная нагрузка на основание, т/м^2	
					$P_{\text{без}}$	$P_{\text{без}}^c$
7	0,025	16,2	3,0	26	49,3	48,09
8	0,05	-<<-	3,0	26	49,3	46,8
9	0,1	-<<-	3,0	26	49,3	44,9

Выводы

1. Изучение причин деформаций зданий и сооружений, возведенных на увлажненных лессовых грунтах показало, что неравномерная сейсмопросадка фундамента и деформации сооружения зависят от грунтовых условий и интенсивности сейсмического воздействия.

2. При наличии слабых грунтов, способных уплотняться при незначительных сотрясениях с проявлением сейсмопросадок, нельзя обеспечить прочность и устойчивость возводимых сооружений без учета сейсмических инерционных воздействий.

3. Разработанный метод определения безопасной нагрузки на основание учитывает

влияние инерционной сейсмической силы на структурное сложение грунта в виде сейсмических напряжений и их распределение в исследуемой грунтовой среде.

4. Формулы для определения безопасной нагрузки на основание в практическом использовании являются более оправданными, поскольку в их основу заложено условие о полном отсутствии в основании сооружения областей разрушения уже с учетом инерционности колебаний. При их использовании никаких коэффициентов запаса не требуется, что дает возможность считать их допустимыми и одновременно безопасными для любого случая.

Источники и литература

1. Расулов Х.З. Сейсмостойкость грунтовых оснований. – Т.: Узбекистан, 1984. – 192 с.
2. Абелев Ю.М, Абелев М.Ю. Основы проектирования и строительства на макропористых просадочных грунтах. – М: Стройиздат, 1968. – 431с.
3. Расулов Х.З. Критическое ускорение колебания грунта // Труды II-й Международной научно-практической конференции «Проблемы механики и строительства транспортных сооружений». – Алматы: КазАТК, 2015. – С. 136-140.
4. Расулов Х.З. Прикладной метод сейсмоустойчивого основания // Материалы Конференции «Научные и прикладные основы решения актуальных проблем сейсмологии». – Т.: 2006. – С. 202-204.
5. Hundreds buried by China quake, BBC (22.05.2008.).
6. M7. 8-34 km ESE of Lamjung, Nepal. // USGS, Earthquake Hazards Program.
7. Новости @ Mail. Ru: Новое сильное землетрясение произошло в Чили с магнитудой 8,8. Lenta.ru (11.03.2010).

Рецензент:

Хожметов Г.Х., д.тех.н., профессор, Ташкентский институт по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог