

DOI: 10.38054/iaeee-303

УДК 355(07);624.131

РОЛЬ СИЛ ИНЕРЦИИ ЧАСТИЦ В ПОВЕДЕНИИ ГРУНТОВ ПРИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ

К.А. Кожобаев⁽¹⁾

⁽¹⁾ Кыргызско-Турецкий университет «Манас», г. Бишкек, КР; kojkanik@gmail.com

Аннотация: В статье, на основе многочисленных объемных лабораторных экспериментов и расчетов доказываемся, что при сильных землетрясениях, кроме ускорений и нагрузок, важную роль играют скорости и амплитуды колебания грунтов. Для учета и введения этого факта в нормативно-правовые документы по инженерной сейсмологии и строительству говорится о необходимости проведения крупномасштабных экспериментов.

Ключевые слова: землетрясения, ускорения колебания и нагрузки на грунты, скорости колебания и амплитуда колебания грунтов.

THE ROLE OF INERTIAL FORCES PARTICLES IN SOIL BEHAVIOR DURING LARGE EARTHQUAKES

К.А. Kojobaev⁽¹⁾

⁽¹⁾ Kyrgyz-Turk University “Manas”, Bishkek city, Kyrgyz Republic, kojkanik@gmail.com

Abstract: On the basis of numerous and volumetric laboratory experiments and calculations, it is proved in the paper that during large earthquakes, besides loads and accelerations, speeds and amplitude vibrations of an earth (soil) plays an important role. To account for this fact, and the introduction in the normative-legal documents on engineering seismology and construction refers to the need for large-scale experiments.

Key words: earthquake, vibration acceleration and loads on the soils, the speed and the amplitude of oscillation of a soil.

КАТУУ ЖЕР ТИТИРӨӨЛӨРДӨ КЫРТЫШТЫН АЛЫП ЖҮРҮҮСҮНДӨ БӨЛҮКЧӨЛӨРДҮН ИНЕРЦИЯСЫНЫН КҮЧҮНҮН РОЛУ

К.А. Кожобаев⁽¹⁾

⁽¹⁾ Кыргыз-Түрк «Манас» университети, Бишкек ш., КР; kojkanik@gmail.com

Аннотация: Макалада, көптөгөн көлөмдүү лаборатордук изилдөөлөрдүн жана эсептердин негизинде далилденет – күчтүү жер титирөөлөрдө кыртыштардын алып жүрүүсүнө алардын ылдамдануусунан жана жүктөлүшүнөн сырткары, термелүүнүн ылдамдыгы жана амплитудасы да чоң ролду ойноору. Бул фактыны эске алып үчүн жана инженер-сейсмологиялык менен курулуш укуктук-нормалык документтерге киргизиши үчүн чоң масштабдагы изилдөөлөрдүн жүргүзүлүшүнүн зарылдыгы айтылат.

Өзөктүү сөздөр: жер титирөө, кыртыштардын ылдамдануусу жана жүктөлүшү, кыртыштардын термелүүсүнүн ылдамдыгы жана амплитудасы.

Введение. Изучение специальной литературы, включая специальную литературу на английском языке, показывает, что при моделировании поведения грунтов в условиях землетрясений практически постоянно учитываются лишь только ускорения колебания и, связанные с ними, динамические напряжения. В действительности на их поведение сильное влияние оказывают не только ускорения колебания и динамические напряжения, но и значение амплитуд колебания и связанные с ними, при одних и тех же ускорениях, скорости колебания и удельные энергии, передаваемые (и поглощаемые) нескальными грунтами. Это особенно сильно проявляется при приближении сейсмических волн к поверхности земли, когда в условиях небольших всесторонних давлений относительная роль сил инерции отдельных обломков пород и частиц грунта возрастает. В данном докладе приводится часть результатов экспериментов по оценке влияния ускорений и скоростей колебаний и напряженного состояния грунтов на их поведение при сильных землетрясениях. Предлагается перейти к крупномасштабным исследованиям, по результатам которых необходимо модернизировать методики исследований и нормативно-правовые документы по инженерно-геологическим и инженерно-сейсмологическим изысканиям и исследованиям.

Поведение грунтов при различных видах динамических воздействий. В процессе гармонического полностью упругого колебания сила в системе изменяется пропорционально смещению. Поэтому теоретически в полностью упругих системах полная механическая энергия колеблющегося тела, состоящая из суммы кинетической энергии колебания и потенциальной энергии его упругой деформации, происходит полное превращение энергии из одного вида в другой. Условно близкую к этому картину можно наблюдать для плотных монолитных скальных толщ (пород). Однако для рыхлых грунтов должен быть совершенно другой подход, потому что они уже при минимальных деформациях (например, многие грунты уже при деформациях в 0,005) проявляют «пластические» свойства, то есть в них наблюдается остаточная деформация.

Передача на элементарный рассматриваемый объем грунта различных видов динамических воздействий с энергетических позиций сильно отличаются друг от друга количеством передаваемой на образец удельной энергии. А именно, за равное число циклов при колебательных или вибрационных нагрузках удельные энергии (энергии, передаваемые на единицу массы или объема грунта) превышают удельные энергии, передаваемые на квазистационарный образец, при равных значениях максимальных динамических нагрузок (напряжений) во много тысяч раз [1-2]. Однако почти все современные исследования поведения грунтов при землетрясениях, включая испытания грунтов на приборах трехосного сжатия или других приборах [3-5],

ВЕСТНИК МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ ЭКСПЕРТОВ ПО СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ

проводятся без учета удельных энергий, на единицу массы или объема грунта, то есть в лабораторных условиях до сих пор проводится неадекватное моделирование состояния грунтов при реальных землетрясениях. Такие исследования могут сильно влиять на результаты моделирования и прогнозирования поведения грунтов при сильных сейсмических воздействиях, слагающих борта карьеров, насыпи, дамбы, хвостохранилища, основания, склоны и откосы и т.д., а также на результаты расчетов деформаций и устойчивости разных других земляных и других сооружений в условиях сейсмических воздействий.

Ранее нами было показано [1-2], что значения удельных энергий, передаваемых на образец грунта при его вибрации с равными ускорениями, но с различными скоростями колебания, также являются различными, и, в свою очередь, они резко отличаются от значений удельных энергий, передаваемых на покоящийся образец динамическими нагрузками (последнее различие составляет многие тысячи раз!). Естественно ожидать, что разными должны быть и результаты этих воздействий, а именно, с возрастанием передаваемых удельных энергий должна увеличиваться интенсивность перестройки структуры, в частности, уплотнение рыхлых песков и разупрочнение связных грунтов, хотя (очень важно подчеркнуть это обстоятельство) средние величины напряжений во всех этих случаях могут быть полностью равными между собой. Большой эффект высоко амплитудных колебательных воздействий за равное число циклов колебаний достигается за счет большего поглощения энергии на перестройку структуры грунта, что реализуется через неравномерное распределение напряжений внутри грунта: силы инерции частиц изменяются пропорционально кубу их радиуса, тогда как площадь их поверхности и количество контактов на единице площади отдельных крупных частиц – пропорционально квадрату радиуса этих частиц.

Методика экспериментов. В экспериментах для вибрации образцов грунтов использовались: вибродинамический стенд (ВЭДС-10А); специально созданные: вибростол для создания средне-и низкоамплитудной вибрации (с амплитудой 0,25-2,0 мм) в том числе с импульсным характером вибрации и высокоамплитудный вибратор гармонических колебаний с возможностью изменения частот от долей герца до 9,2 Гц и диапазоном амплитуд колебания от 3,0 см до 9,0 см (с размахом колебания до 18,0 см). Испытывались многие сотни образцов разной высоты и с разной нагрузкой (инерционной и практически безинерционной) на их поверхность, разного гранулометрического состава и т.д. Ниже, для примера, приведена только часть результатов обработки экспериментов по изучению зависимости степени уплотнения исходно рыхлых смесей (0% до 100%) Люберецкого песка (подмосковье, средний размер частиц составляет 0,053 мм) и аллювиального песка фракции 1,0-2,0 мм при вибрации с различными амплитудами и скоростями

ВЕСТНИК МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ ЭКСПЕРТОВ ПО СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ

колебания. На виброуплотнение испытывались образцы с диаметром 60 мм и с разной высотой: в 55, 100 и 150 мм. Первоначальная относительная плотность (I_d) была равной 0-5%. Время вибрации тоже была разной: 30 с, 2 мин, 5 мин и 10 мин.

Результаты исследований и их обсуждение. Ввиду ограниченности объема статьи, даны лишь небольшая часть самых конечных результатов обработки результатов исследований.

Таблица 1 - Коэффициенты корреляции степени уплотнения смеси исходно рыхлых песков при вибрации с различными ускорениями и скоростями колебания

Отношение содержания песка фракции 1-2 мм к Люберецкому песку (%)	Частота вибрации, Гц	Амплитуда ускорения (α), м/с ²	Амплитуда скорости (v), см/с.	Относительная плотность смеси после времени вибрации, мин.			
				0,5	2	5	10
10	9	8,13	14,4	60	75	80	95
...
100	15	7,92	8,4	5	15	20	25
Коэффициент парной корреляции между степенью уплотнения и ускорениями колебания.				0,54	0,54	0,50	0,50
Коэффициент парной корреляции между степенью уплотнения и скоростями колебания.				0,77	0,79	0,80	0,81

Из таблицы 1, можно видеть, что интенсивности уплотнения рыхлых песков намного больше зависит от скорости колебания, чем от ускорения.

Таблица 2 - Средневзвешенное значение коэффициентов парной корреляции между степенью уплотнения и ускорениями (α , м/с²) и скоростями (V , см/с) колебания (высота образца = 100мм)

Время вибрации	10 sek	30 sek	2 min	5 min	10 min
α , м/с ²	0,39	0,38	0,38	0,26	0,26
V , см/с	0,86	0,78	0,78	0,77	0,73

Примерно такие же результаты можно видеть и из таблицы 2 – для других условий и образцов. И хотя по результатам многочисленных лабораторных экспериментов получается однозначная и сильная зависимость поведения нескальных слабонагруженных грунтов (грунтов приповерхностной части земли) не только от величины динамических напряжений и ускорений грунта, но, в намного большей мере, от амплитуд и скоростей колебаний, для введения этих положений в нормативно-правовые документы, требуется проведение разносторонних и крупномасштабных экспериментов.

Основные выводы. Исходя из проведенных экспериментов, анализа и расчетов можно сделать нижеследующие основные выводы.

1. При передаче на определенный объем нескального грунта равных по максимальным величинам динамических нагрузок (напряжений) при неизменном положении этого грунта и в условиях его колебательного смещения, на грунт за равное число циклов передается разное количество энергии, а именно, единица объема (масса) грунта в условиях колебательного движения получает и поглощает в тысячи раз больше энергии, чем в квазистатическом положении.
2. Разные удельные энергии, возникающие при колебаниях нескального грунта с разными параметрами, из-за неравномерного распределения напряжений внутри грунта, вызывают разную степень изменения структуры и деформирования грунта.
3. В силу вышесказанного исследования поведения нескальных грунтов с моделированием его напряженно-деформированного состояния без учета указанного энергетического аспекта, не всегда являются методически оправданными. При этом деформирование (поведение) нескального грунта сложным образом зависит от его напряженно-деформированного состояния, состава и структуры грунта, а также от параметров колебания.
4. Так как деформирование (поведение) нескального грунта при сейсмических воздействиях сложным образом зависит от множества трудно учитываемых факторов, предпочтительным видом моделирования (исследования) поведения слабонагруженных (расположенных близко к поверхности земли) нескальных грунтов является физическое моделирование на реальных образцах с передачей на них как динамических напряжений, так и реальных колебательных движений.
5. Необходимо переходить к крупномасштабным экспериментам, по результатам которых необходимо модернизировать методики исследований и нормативно-правовые документы по инженерно-геологическим и инженерно-сейсмологическим изысканиям и исследованиям.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кожобаев К.А. Энергетический подход к сейсмическим воздействиям на нескальные грунты (статья). Труды КИМС., Бишкек., К.Г М.И., 2000 г.
2. Кожобаев К.А. Влияние структуры грунтов на их поведение при сильных землетрясениях.//Современные проблемы механики сплошных сред.//Сб.трудов Межд. Конф. "Проблемы геомеханики и освоения недр". Вып.13. Бишкек, 2011г. Стр.339-344.

3. Kramer, S. I... and Paulsen, S. B. (2004). "Practical use of geotechnical site response models." *Proc. Int. Workshop on Uncertainties in Non-linear Soil Properties and their Impact on Modeling Dynamic Soil Response*. PEER Center Headquarters. Richmond, Calif.
4. Kwok, A.O., Stewart, J.P., Hashash, Y.M.A., Matasovic, N., Pyke, R., Wang, Z., and Yang, Z. (2007). "Use of exact solutions of wave propagation problems to guide implementation of nonlinear seismic ground response analysis procedures," *J. Geotech. & Geoenv. Engrg., ASCE*, 133 (11), 1385-1398.
5. Duku, P.M., Stewart, J.P., Whang, D.H., and Yee, E. (2008). "Volumetric strains of clean sands subject to cyclic loads," *J. Geotech. & Geoenv. Engrg., ASCE*, 134 (8), 1073-1085.