

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ОЦЕНКЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЗЖИЖЕНИЯ ГРУНТОВ (СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА)

Приводится обзор методов оценки устойчивости грунтов к разжижению при ожидаемых землетрясениях. Подробно рассмотрен подход основанный на использовании скоростных моделей среды по данным сейсморазведки, как альтернативы или дополнение методам исследования грунтов в естественном залегании.

Наводиться огляд методів оцінки стійкості ґрунтів до розрідження при очікуваних землетрусах. Детально розглянуто підхід заснований на використанні швидкісних моделей середовища за даними сейсморозвідки, як альтернативи чи доповнення методам дослідження ґрунтів у природному заляганні.

An overview of methods for assessing the sustainability of soil to liquefaction during expected earthquakes is provided. An approach based on the using of the velocity model for seismic data is considered detailed, as an alternative or addition to research methods of soil in situ.

Введение. Оценка возможности разжижения водонасыщенных дисперсных грунтов при ожидаемых землетрясениях и его возможных последствий является важнейшей и комплексной инженерной задачей изысканий для проектирования и строительства сооружений в сейсмических районах. Анализу механизма сейсмического разжижения грунтов, основных факторов, влияющих на их разжижаемость, методов экспериментальной и экспертной оценки возможности разжижения и его последствий посвящено большое количество специальных научных публикаций, обзор которых приведен, в частности, в монографии [1].

Явление разжижения заключается в полной или частичной потере грунтом несущей способности и переходе его в текучее состояние в результате разрушения структуры и смещения частиц относительно друг друга.

Разжижение грунтов может происходить во время землетрясений с различными по величине магнитудами. Большой опасности подвергаются грунты, залегающие в первых метрах под уровнем грунтовых вод [1]. При прохождении упругой волны возбуждаются колебания частиц грунта с разными скоростями и часть контактов (тем большая, чем выше энергия волны) разрывается. В результате прочность грунта заметно (иногда в несколько раз) снижается. Сейсмическое разжижение грунтов обычно сопровождается тяжелыми авариями даже сейсмостойких сооружений: сооружения успевают "утонуть", перекосятся или даже "разорваться" на поверхности разжиженных отложений. Чем больше пористость грунта, тем при меньших динамических воздействиях начинается разжижение.

К наиболее легко разжижаемым грунтам обычно относятся:

1. Все слабосвязные грунты в водонасыщенном состоянии (пылеватые пески, супеси и легкие суглинки, в т.ч. увлажненные лессовые грунты, золы и т.п.).
2. Пески мелкие и средней крупности со степенью плотности $ID < 0,45$.

3. Связные грунты, имеющие метастабильные структуры и низкую физико-химическую активность твердой компоненты (типа ледниково-морских «плавунных» глин).

Целью данной работы является ознакомление украинских специалистов геофизиков и инженерных геологов с методом прогнозирования возможности разжижения грунтов в условиях естественного залегания, основанном на применении малоуглубинной полевой и/или скважинной сейсморазведки на поперечных S-волнах.

Изложение основного материала. В настоящее время для прогнозирования потенциальной возможности разжижения грунтов применяется широкий спектр полевых методов динамических испытаний грунтов. Их можно разделить на три основные группы: геофизические, вибрационные и геотехнические, которые принципиально различаются как набором оцениваемых показателей, так и способом их получения [2].

Наиболее часто для прогноза разжижения используется подход основанный на методе стандартной пенетрации. Подход разработан Seed и Idriss в 1971 году и основан на использовании подсчета ударов метода стандартной пенетрации (SPT), коррелируемые с параметром который называется коэффициентом циклического напряжения (CSR – cyclic stress ratio), представляющий циклическую нагрузку на грунт.

Метод стандартной пенетрации заключается в определении количества ударов N при погружении стандартного грунтоноса на глубину 30 см. Стандартный грунтонос в США имеет длину 32 дюйма (81,3 см), внешний диаметр 2 дюйма (5,18 см) и насухо погружается ударами молота массой 140 фунтов (63,5 кг), сбрасываемого с высоты 30 дюймов 5см (76,2 см).

Полученные значения N нормализуются по энергии воздействия (за стандартный принимается 60 %-й уровень потенциальной энергии свободно падающего молота) и по эффективному значению природного давления (за стандартное принято 100 кПа), что позволяет сравнивать данные для разных точек опробования $N_{1,60}$.

В основу оценки возможности разжижения положены эмпирические зависимости между числом ударов $N_{1,60}$ и критическим значением приведенного циклического напряжения сдвига ($CSR_{крит}$), вызывающего разжижение грунтов при землетрясении с магнитудой $M=7.5$ (выбрана магнитуда представительного и достаточно интенсивного толчка). Значения $CSR_{крит}$ определяется в соответствии с рекомендуемыми кривыми, построенными по результатам стандартных пенетрационных испытаний в местах, ранее подвергавшихся сейсмическим толчкам, где при толчках разной интенсивности происходило или не происходило разжижение грунтов. Кривые $CSR-N_{1,60}$ разграничивают условия возможного разжижения и неразжижения грунта.

С 1971 года данный подход был пересмотрен и обновлен (Seed 1979; Seed и Idriss 1982; Seed et al. 1983, 1985; Youd et al. 1997). В середине 1980-х Robertson и Campanella (1985), параллельно предложили методику, основанную на

статическом зондировании (СРТ), которая также была пересмотрена и обновлена (Seed и de Alba 1986; Stark и Olson 1995; Olsen 1997; Robertson и Wride 1998).

Перспективной альтернативой или дополнением к подходам, базирующимся на пенетрационных свойствах, является методика уточнения возможности сейсмического разжижения грунтов на выделенных участках и их локализация на основе скоростей поперечных волн (V_s) по данным полевой и/или скважинной сейсморазведки. Критерии разжижаемости грунтов по полевым измерениям скоростей поперечных волн были предложены в работах (Andrus, Stokoe, 1997) [3], поскольку V_s и сопротивление разжижению аналогично зависит от многих одинаковых факторов (например, коэффициент пористости, напряженное состояние и геологический возраст).

Одним важным фактором, влияющим на V_s является напряженное состояние грунта. Лабораторные исследования показали, что скорость распространения поперечной волны равно зависит от основного напряжения в направлении распространения волны и направления движения частиц.

Именно поэтому в расчетах по оценке сейсмического разжижения выполняют приведение скорости поперечных волн V_s к эталонному давлению [4]:

$$V_{s1} = V_s \left(\frac{Pa}{\sigma'v} \right)^{0.25}$$

где Pa – эталонное давление, принимаемое 100 кПа, $\sigma'v$ – эффективное природное давление грунта.

Возможность использования информации о скорости поперечных волн V_s для оценки вероятного разжижения грунтов обоснована тем, что от таких факторов как коэффициент пористости, напряженное состояние, геологический возраст и пр. в равной степени также зависит и количество ударов $N_{1,60}$ метода стандартной пенетрации. Примером могут служить достаточно тесные зависимости между V_{s1} и $N_{1,60}$ [4], полученные на основании большого числа экспериментальных данных (рис. 1).

Использование величины V_s как критерия разжижаемости грунтов имеет определенные преимущества [5]: 1) измерения V_s можно проводить в грунтах, которые сложно испытывать зондированием или отбирать образцы (например, гравийно-галечные отложения), а также в местах, где нельзя проводить разведочные работы; 2) V_s – является обязательной характеристикой при выполнении работ по сейсмическому микрорайонированию территории, эта характеристика требуется для аналитической оценки реакции грунтов на динамические воздействия и взаимодействия грунтов с сооружением в условиях таких воздействий.

Как и в методе стандартной пенетрации второй важнейшей характеристикой, определяющей возможность возникновения явления разжижения, является коэффициент циклического напряжения (CSR). В 1971 г Seed и Idriss [6] предложили метод оценки CSR на основе пикового горизонтального ускорения на поверхности массива грунтов, что позволяет его использовать и в методе, основанном на измерениях V_s .

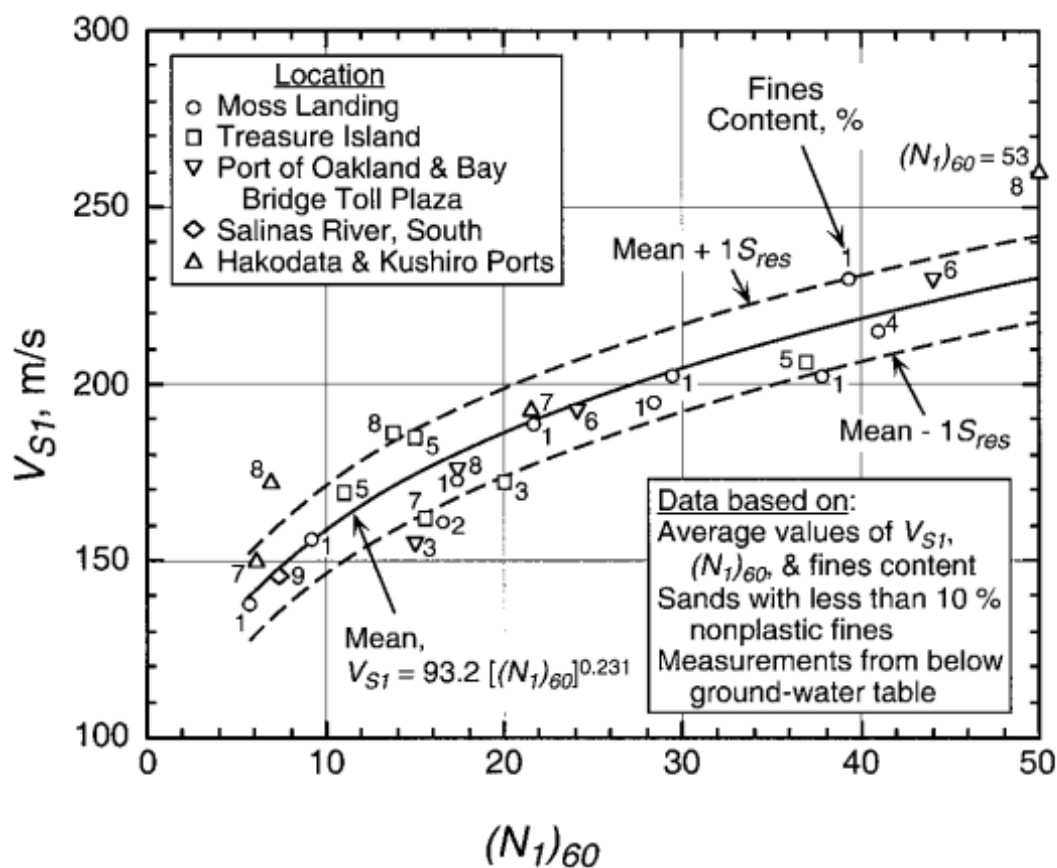


Рис. 1. Кривые связи между V_{S1} и $N_{1,60}$ [7]

Согласно данному подходу коэффициент циклического напряжения CSR может быть определен из уравнения:

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma_v} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \cdot r_d$$

где τ_{av} – среднее значение ожидаемых циклических напряжений сдвига при пиковом горизонтальном ускорении на поверхности почвы a_{max} ; σ_v – полное природное давление грунта; σ'_v – эффективное природное давление грунта; r_d – коэффициент понижения напряжений с глубиной.

Пиковые ускорения a_{max} принимаются равными прогнозным значениям максимальных ускорений для проектного и максимального расчетного землетрясений. Данные характеристики получаются в ходе оценки сейсмичности площадки размещения объекта с учетом сейсмического микрорайонирования.

Полное природное давление грунта σ_v оценивается как литостатическое давление, рассчитанное на исследуемой глубине для реальной плотности грунтов выше и ниже уровня грунтовых вод.

Эффективное природное давление грунта σ'_v вычисляется как разность между полным природным давлением грунта σ_v и давлением жидкости в грунте (гидростатическое давление), которое также может быть легко оценено при известном уровне грунтовых вод и глубине точки исследований.

Рекомендуемые аналитически зависимости коэффициента понижения напряжений r_d с глубиной можно представить в виде уравнений [8]:

$$\begin{aligned}
 r_d &= 1,0 - 0,00765z && \text{для } z \leq 9,15 \text{ м} \\
 r_d &= 1,174 - 0,0267z && \text{для } 9,15 \text{ м} < z \leq 23 \text{ м} \\
 r_d &= 0,744 - 0,008z && \text{для } 23 \text{ м} < z \leq 30 \text{ м}
 \end{aligned}$$

где z – глубина от дневной поверхности до точки измерения, м.

Выполненные различными авторами исследования связи между коэффициентом циклического напряжения (CSR), приведенными скоростями поперечных волн к эталонному давлению (V_{S1}) и явлениями разжижения грунта для реально произошедших землетрясений, позволили получить кривые, разграничивающие поле CSR- V_{S1} на две области для которых разжижение возможно и невозможно.

На рисунке 2 приведены рекомендуемые кривые CSR- V_{S1} для оценки возможности разжижения грунта, предложенные в 1996 на семинаре NCEER (Youd et al., 1997) [5].

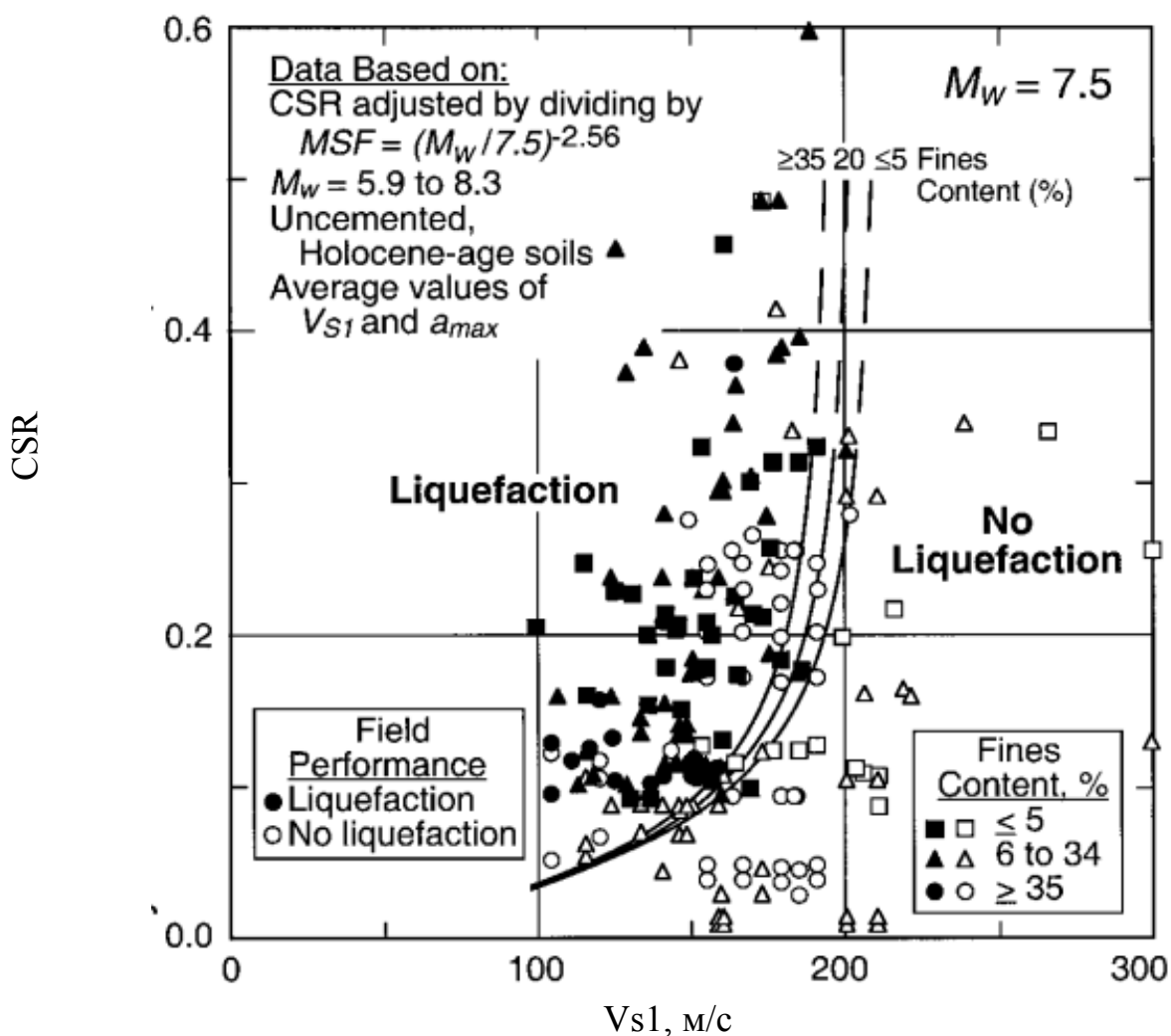


Рис. 2. Рекомендованные кривые CSR- V_{S1} , полученные для грунтов с различным содержанием пылевато-глинистых частиц

Для количественной оценки сейсмической разжижаемости грунтов в современной мировой практике используется величина потенциала разжижения (F_L), имеющего физический смысл коэффициента запаса:

$$F_L = \frac{CRR}{CSR},$$

где CSR (cyclic stress ratio) – коэффициентом циклического напряжения; CRR (cyclic resistance ratio) – коэффициент циклического сопротивления.

Параметр CRR может быть определен на основании приведенной скорости поперечных волн к эталонному давлению (V_{S1}).

В результате многочисленных исследований (Sykora, 1987, Kayen et al, 1992; Robertson et al., 1992; Stokoe et al., 1985) была предложена следующая зависимость между CRR и V_{S1} :

$$CRR = a \left(\frac{V_{S1}}{100} \right)^2 + b \left(\frac{1}{V_{s1}^* - V_{S1}} - \frac{1}{V_{s1}^*} \right),$$

где V_{s1}^* – критическое для проявления разжижения значение скорректированной скорости поперечных волн V_{S1} ; а и b – параметры кривой, для построения рекомендуемых кривых приняты 0,022 и 2,8, соответственно [6].

Критические скорости V_{s1}^* зависят от содержания пылевато-глинистых частиц в грунте и принимаются равными [4]:

$V_{s1}^* = 200$ м/с при содержании пылевато-глинистых частиц $FC \geq 35\%$;

$V_{s1}^* = 215 - 0,5 \cdot (FC - 5)$ м/с при содержании пылевато-глинистых частиц $5\% < FC < 35\%$;

$V_{s1}^* = 215$ м/с при содержании пылевато-глинистых частиц $FC < 5\%$.

Разжижение, по прогнозам, происходит, когда $F_L \leq 1$, и разжижение не происходит, когда при $F_L > 1$.

Выводы. Принимая во внимание, что для территории Украины характерно большое число промышленных объектов повышенного класса ответственности, для которых в обязательном порядке выполняются работы по оценке сейсмичности, рассмотренный подход может найти широкое применение.

Так, в частности, при наращивании хвостохранилищ, шламоохранилищ и золоотвалов в основании ограждающих дамб последующих ярусов расположены низкоскоростные, обводненные техногенные грунты. При проектировании этих сооружений в обязательном порядке необходимо учитывать возможность разжижения грунтов в их основании.

Список литературы

1. Вознесенский Е.А. Землетрясения и динамика грунтов, 1998.
2. Вознесенский Е.А., Коваленко В.Г., Кушнарева Е.С., Фуникова В.В. Разжижение грунтов при циклических нагрузках. М. МГУ, 2005. 134 с.
3. Andrus, R. D., and Stokoe, K. H. Liquefaction resistance based on shear wave velocity // Proc., NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, Tech. Rep. NCEER-97-

- 0022, T.L. Youd and I. M. Idriss, eds., National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo.- 1997. - P. 89–128.
4. Ronald D. Andrus, Kenneth H. Stokoe, Riley M. Chung. Draft guidelines for evaluating liquefaction resistance using shear wave velocity measurements and simplified procedures // Building and Fire research laboratory, National institute of standards and technology, Gaithersburg, MD 20899, March 1999.
 5. Youd, T. L., Idriss, I. M., Andrus, R. D., Arango, I., Castro, G., Christian, J. T., Dobry, R., Finn, W. D. L., Harder Jr., L. F., Hynes, M. E., Ishihara, K., Koester, J. P., Liao, S. S. C., Marcuson III, W. F., Martin, G. R., Mitchell, J. K., Moriwaki, Y., Power, M. S., Robertson, P. K., Seed, R. B., and Stokoe II, K. H.: Liquefaction resistance of soils summary report from 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soil, J. Geotech. Geoenviron. Eng., - 2001, P. 817–833.
 6. Seed, H. B. and Idriss, I. M. Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 97, No SM9, Proc. Paper 8371.-1971, P. 1249–1273.
 7. Ronald D. Andrus, Kenneth H. Stokoe. Liquefaction resistance of soils from shear wave velocity // Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering.-2000.- Vol. 126.- №11.
 8. Seed R.B., Cetin K.O., Moss R.E.S. et al. Recent advances in soil liquefaction engineering: a unified and consistent framework // 26th Annual ASCE Los Angeles Geotechnical spring seminar, Long Beach, California.- 2003.

*Рекомендовано до публікації д.г.-м..н. Тяпкіним К.Ф.
Надійшла до редакції 25.09.2014*

УДК 519.876

© I.V. Novitsky L.R. Kuzmin

THE OPTIMIZATION OF THE CRUSHING COMPLEX PROCESS OF LOADING

В данной статье описывается задача оптимизации процесса загрузки дробильного комплекса, методы ее решения, а также сложности, возникающие при решении.

В даній статті описується задача оптимізації процесу завантаження подрібнювального комплексу, методи її вирішення, а також труднощі, що з'являються при її вирішенні.

This article describes the problem of optimizing the loading process of crushing complex, methods for its solution, and the complexities with the solution.

Introduction

The usage of high-performance quarry transport tools and improving the organization of its work is a prerequisite for the effectiveness of open pit mining. In this sense, it is appropriate to use cyclic-flow technology while minimizing downtime of vehicles, excavation and loading machinery, conveyor transport and crushing equipment at the quarries [1].