

УДК 699.84

DOI: 10.23671/VNC.2014.1.55406

ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОСНОВА ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОЗАЩИТЫ ОТВЕТСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

© 2014 В.Б. Заалишвили¹, д.ф-м.н., проф., Я.Л. Кранцфельд², инж.

¹Центр геофизических исследований ВНЦ РАН и РСО-А, Россия, 362002,
г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: cgi_ras@mail.ru

²ООО «Теплоэлектропроект-СОЮЗ», Харьков, Украина, 61052, Харьковская
обл., пер. Симферопольский, д. 6, e-mail: office@tep-soyuz.com.ua

Для создания систем экранирования с целью снижения уровня воздействия при сильных землетрясениях необходимо знание вида и физического состояния грунтовой толщи. Таким показателем являются скорости распространения продольных и поперечных волн в том или ином виде грунта и находящимся в некотором состоянии.

На основе большого анализа фактического материала были составлены гистограммы распределения значений скоростей, как в различного вида грунтах, так и в грунтах одного вида, с различными физико-механическими показателями.

Наличие большого фактического материала позволило получить корреляционные зависимости между плотностью и скоростью распространения поперечных волн. Наличие подобных данных, позволяющих прогнозировать вероятностные значения скоростей поперечных волн и отсюда, соответствующих плотностей грунтов, позволяет повысить обоснованность и контролируемость их значений, как при работах по экранированию зданий и сооружений, а также при оценках сейсмической опасности грунтов.

Ключевые слова: инженерная сейсмозащита, экранирующие свойства грунтов, скорости волн, плотность.

Идея оценки и учета экранирующих свойств слоев грунтов, различных по своим физико-механическим характеристикам, была высказана выдающимся геофизиком и сейсмологом Г.А. Гамбурцевым еще в 40-х годах минувшего века, а в 1950 г. были опубликованы результаты первой научной работы в этой области [Берзон, Епинатьева, 1950]. Эта публикация, в основном, была посвящена экспериментальной стороне задачи, и поэтому Г.А. Гамбурцев в 1951 г. на совещании в Геофизическом институте АН СССР предложил специалистам кафедры теории упругости Ленинградского университета (Г.И. Петрашень и его известная школа) разработать математическую основу и теоретическую базу для всестороннего рассмотрения эффектов сейсмического экранирования. Первые итоги этих теоретических исследований появились в технической литературе в 1954 г. [Петрашень, 1954].

Следует отметить, что и сам Г.А. Гамбурцев, и те, кто развивал его идеи, рассматривали экранирующие свойства горизонтальных и наклонных слоев в плоскостях их контакта в слоистом грунтовом массиве для оценки возможности использования закономерностей геометрической оптики и акустики для учета экранирования, как фактора, влияющего на законы геометрической сейсмологии, используемые в сейсмической разведке. Тем не менее, эти пионерные работы дали толчок развитию волновой механики грунтов и поискам в области создания искусственных вертикальных

экранов-преград и экранов-отражателей для снижения уровня сейсмических воздействий на огражденной такими экранами территории.

Априори было известно, что экраны, которые должны были располагаться вертикально, преграждая волнам путь к защищаемому сооружению, не могли быть универсальными и абсолютно надежными. Наиболее эффективны они могут быть в тех случаях, когда очаги землетрясения определенно известны, удалены на значительные расстояния и, при этом имеют неглубокое заложение. Примерно в таких условиях находится Европейская часть бывшего СССР, для которой пока лишь весьма удаленная Карпатская группа возможных очагов землетрясений (ВОЗ) является источником реального сейсмического воздействия.

Первые практические опыты использования сейсмозащитных экранов имели место в гидротехническом строительстве, а точнее – в области создания плотин из грунтовых материалов [Натариус, 1984; Савинов, 1992].

Наиболее полное описание мирового опыта защитного антисейсмического экранирования грунтовых плотин можно найти в монографии Я. И. Натариуса [Натариус, 1984]. Там же приводятся результаты оценки эффективности применения экранов для защиты этих инженерных сооружений.

В связи с тем, что гидротехническое строительство имеет свой особый путь развития, его достижения не всегда становятся достоянием теории и практики промышленного и гражданского строительства, несмотря на сходство и даже общность целого ряда технических задач. Так произошло и с сейсмозащитными экранами.

Эта ситуация не исключила усилий отдельных энтузиастов в их попытках освоить сейсмозащитное экранирование. Во второй половине минувшего века появилось несколько конструктивных разработок, признанных изобретениями, а также несколько технических публикаций, содержащих практические рекомендации по реализации этой идеи [Мелик-Елчян, Акопян, 1980]. Однако, в связи с изменением в 90-х годах конъюнктуры и отсутствием преемственности при естественной смене поколений специалистов в тот период, эти усилия не были продолжены.

Что же сегодня мешает реализации этой идеи, если при этом учесть более чем полувековой период достаточно интенсивного развития волновой механики грунтов?

Теоретические основы волновой механики грунтов, как новой научной отрасли, заложили в 50-х годах прошлого века Г. И. Петрашень, а также С. С. Григорян и Х. А. Рахматулин. Затем в последующие годы с использованием предложенных ими методов был рассмотрен целый ряд частных случаев и специальных задач, включая те, что касались прохождения волн в слоистых средах, моделирующих естественное строение грунтов, в том числе экранированных и т. п. Тем не менее, весь этот достаточно мощный научный штурм общих и частных проблем волновой механики практически никак не отразился в нормативных документах (НД) и потому не мог повлиять на решение прикладных задач строительства в сейсмических районах и, в первую очередь, по обеспечению сейсмостойкости естественных оснований.

В нормативных документах, действующих в настоящее время в РФ, возможность экранирования волн в грунтах прямо упомянута лишь однажды – в [СП 50-101–2004, 2005], в разделе 6.13 «Особенности проектирования зданий и сооружений, возводимых вблизи источников динамических (не сейсмических) воздействий»:

«Для выполнения требований расчета оснований по несущей способности и по деформациям рекомендуется снижать параметры динамических воздействий

в их источнике (замена технологического процесса, перемещение источника, регулирование в источнике, активная виброизоляция и др.) или *на путях распространения колебаний от источника (устройство экранов в виде стенок или траншей, изменение массы фундамента-приемника колебаний или жесткости его основания и др.)*.

Кроме того, в [Строительство ..., 2001] включены рекомендации по уменьшению расчетной сейсмичности площадки строительства на один балл путем преобразования физико-механических свойств грунтов III категории и перевода их во II категорию по сейсмическим свойствам, фактически, сводящихся к повышению средних скоростей распространения поперечных волн в грунте с уровня $180 \div 350$ (м/с) до $350 \div 650$ (м/с), для чего предлагается использовать различные способы уплотнения грунтовых массивов естественного сложения.

Развитие этих положений и попытка их теоретического обоснования содержится в [Червинский и др., 2008], где в состав геотехнических процедур, уменьшающих уровень сейсмического воздействия на объект строительства, включены также: замена водонасыщенных слабых грунтов, их армирование и цементация. Следует отметить, что в [Строительство ..., 2001] и [Червинский и др., 2008] по сути дела рассматривается взаимодействие горизонтальных слоев грунта. При этом основная часть публикации [Червинский, 2008] посвящена упрощенной оценке отдельных случаев экранирования сейсмических волн в грунтах не вертикальными преградами, а плоскостями контакта горизонтальных слоев грунтов, т. е. задаче практически решенной в 50-х годах школами Г. А. Гамбурцева и Г. И. Петрашеня.

Методы расчета и конструирования такого рода экранов в указанных нормативных документах не указаны, и, вероятно, в данном случае имеется в виду метод проб.

Для разработки подробных и продуктивных нормативных документов по созданию сейсмозащитных экранов, прежде всего, должна быть упорядочена и уточнена исходная информация об используемых в волновой механике грунтов динамических свойствах материалов для их целенаправленной компоновки при формировании преград на путях распространения сейсмических волн.

Для практических расчетов, связанных с волновой механикой грунтовых массивов, имеющих, как правило, слоистое строение, необходимо достаточно точное знание таких параметров, как модуль упругости (Юнга) E , плотность ρ , коэффициент Пуассона μ и модуль сдвига G для каждого слоя (типа) грунтов, входящих в эти массивы. И именно с формированием достоверных значений этих исходных данных возникают определенные трудности, причина которых кроется в особенностях физико-механических свойств реального грунта, как материала.

В современной инженерной практике естественное грунтовое основание зданий и сооружений рассматривается как упруго-вязкая, линейно-деформируемая и безинерционная среда, упругие свойства которой характеризуются коэффициентами упругого равномерного и неравномерного сжатия и сдвига, а диссипативные свойства – соответствующими характеристиками демпфирования. Однако некоторые важные для практических задач особенности этой общепринятой механической модели грунта в его естественном состоянии связаны с различиями в поведении грунта, как материала, при различных видах внешнего воздействия, а именно:

- при статическом приложении нагрузок;
- при продолжительных динамических воздействиях от стационарных источников вибрации;

– при кратковременных динамических нагрузках, продолжительность воздействия которых обычно измеряется долями секунды (взрывы, природная и промышленная сейсмика и т. п.).

В первом случае критерием надежности грунтового основания являются величины его предельно допустимых равномерных и неравномерных деформаций (осадок, кренов), возникающих при продолжительном не знакопеременном воздействии вертикальных и горизонтальных нагрузок. Для расчета этих показателей было введено понятие «модуль деформации» $E_{\text{деф}}$, представляющий собой характеристику, аналогичную модулю упругости (модулю Юнга) для упругих изотропных тел.

Во втором случае, учитывая динамический характер воздействия и известное явление виброуплотнения грунтовых массивов, – естественных оснований – был введен новый комплекс специальных упругих характеристик – коэффициентов упругого равномерного и неравномерного сжатия и коэффициентов жесткости, зависящих, в частности, от геометрических параметров источника колебаний.

Что касается третьего случая, относящегося к волновой механике грунтов, то оба, описанных выше подхода к формированию расчетных упругих характеристик естественных оснований для математического описания практически мгновенных динамических воздействий оказались не пригодными, так как определенные опытным путем значения скоростей продольных и поперечных волн V_L и V_s существенно отличались (в большую сторону) от расчетных значений.

Первыми с указанными проблемами при решении своих технических проблем столкнулись специалисты-гидротехники. При этом, определение модулей упругости грунтов на основе зависимостей «напряжение-деформация» при первичном нагружении, например, путем компрессионных испытаний или полевых штампо-опытов и т. п., оказалось невозможным. Это обусловило привлечение научных учреждений, обслуживавших эту отрасль (ВНИИГ, НИС Гидропроекта), когда были реализованы практические методы определения динамических характеристик естественных оснований при воздействиях волнового типа, получившие название «сейсмических методов исследования грунтов». Модули определенные этими методами именуется «динамические модули упругости» и обозначаются $E_{\text{дин}}$.

Изучение закономерностей распространения и взаимодействия волн в грунтах с использованием принципов геометрической сейсмики для нужд инженерной сейсмологии и сейсморазведки, а затем и строительного дела, как уже отмечалось, было начато еще в первой половине минувшего века. За этот период накопилась обширная база данных о реальных скоростях продольных и поперечных волн, а также, имеющих большое значение для оценки сейсмостойкости зданий и сооружений, поверхностных волн (Релея) для различных типов реальных грунтов. Однако эта информация до настоящего времени не систематизирована, о чем свидетельствуют существенные расхождения в их скоростных характеристиках, содержащихся в некоторых нормативных документах и технической литературе.

Подобная неопределенность в большей или меньшей степени наблюдается в имеющейся информации о скоростных характеристиках движения волн в других видах грунтов (скальных, крупнообломочных, пылевато-глинистых, лёссовых и т. п.) и объясняется высокой чувствительностью волновых характеристик к любым, даже самым незначительным различиям в химическом и гранулометрическом составе образующих грунт материалов, в их плотности и степени водонасыщения в естественном сложении, в уровнях напряженного состояния оснований, что подтверждено многими натурными исследованиями в 1950-1990 гг., результаты которых, к сожалению, пока не до конца проанализированы и не обобщены.

В условиях, когда Северный Кавказ не является-таки уж спокойным регионом по своим последствиям по сравнению с южным Кавказом, где только в одном XX столетии произошли сильнейшие землетрясения (Карталинское, Спитакское, Рачинское и т. д.), говорить о слабой сейсмической опасности, к сожалению, не приходится. Действительно, если даже не учитывать сильное Дагестанское землетрясение 1970 года, здесь даже редко спокойные периоды перемежаются, в определенном смысле, девиациями, последствия которых все также негативны [Керимов, Гайсумов, 2009; Керимов, Гайсумов, 2010]. При этом не следует исключать из рассмотрения землетрясения, обусловленные техногенной сейсмичностью, например, на месторождениях нефти и газа [Керимов и др., 2012].

В этой связи представляется интересным и, более того, необходимым уделить внимание одной из сторон указанной проблемы.

Вероятностная оценка значений скоростей сейсмических волн в грунтах различного вида

На основе большого фактического материала были составлены гистограммы распределения значений скоростей, как в различного вида грунтах, так и в грунтах одного вида, с различными физико-механическими показателями (рис. 1-4).

Для выравнивания статистических данных используем нормальный закон распределения [Вентцель, 1969]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

где m – математическое ожидание; σ – среднеквадратическое отклонение; x – случайная величина (скорость).

Нормальный закон распределения зависит от двух параметров: m и σ . Определив для каждой гистограммы m и σ , получим выравнивающую ее кривую распределения. Из графиков видно, что осредненные кривые распределения $f(x)$, сохраняя, в основном, существенные особенности статистического распределения, свободны от некоторых неправильностей хода гистограммы, которые определяются случайными причинами.

Для коренных пород нормальное распределение неявно выражено в связи с тем, что скорости поперечных волн сильно зависят от степени выветрелости этих пород.

Тем не менее, определенные всплески максимумов можно обнаружить, суммируя все скорости в один ряд-гистограмму. Указанные максимумы соответствуют наиболее вероятным последовательным значениям для сильно выветрелых, выветрелых, слабо выветрелых и невыветрелых грунтов, соответственно (рис. 4). В каждом распределении наибольшие значения занимали, как правило, известняки и аспидные сланцы. Песчаники, мергели, алевролиты, глинистые сланцы на графике расположены левее.

Наличие большого фактического материала позволило получить корреляционные зависимости между плотностью и скоростью распространения поперечных волн. Аналогичные зависимости приведены в работе [Назаров, Шемшурин, 1977], но их практическое использование не всегда согласуется с полевыми материалами, что объясняется, во-первых, очевидно, особенностями грунтов в регионе, а, во-вторых, тем, что применение единого уравнения вида $\rho = f(v_s)$ всех типов грунтов приводит к определенным погрешностям. Особенно это справедливо для коренных пород [Faust, 1951].

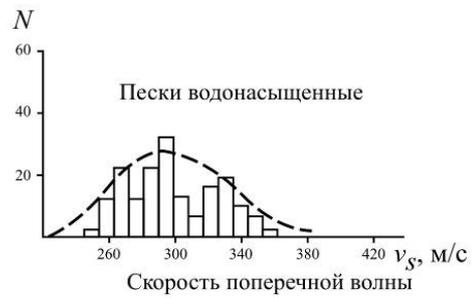
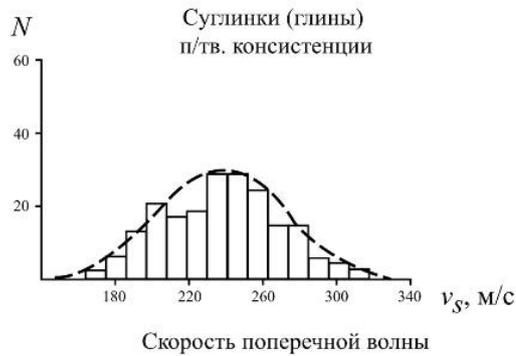
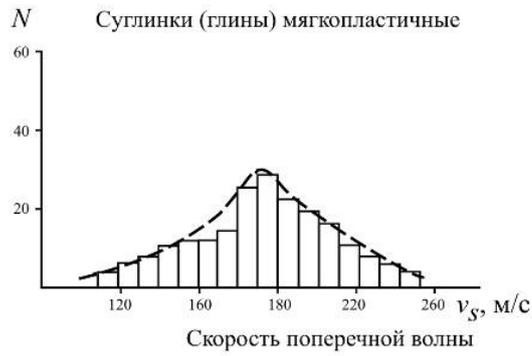


Рис. 1. Гистограммы распределения скоростей поперечных волн в связных грунтах

Рис. 2. Гистограммы распределения скоростей поперечных волн в сыпучих грунтах

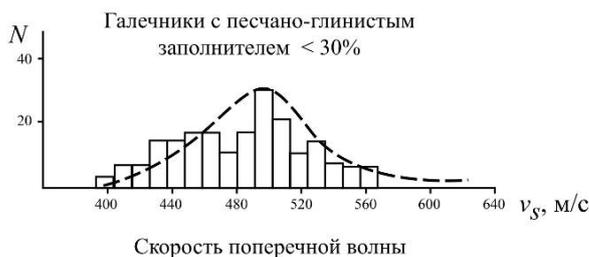
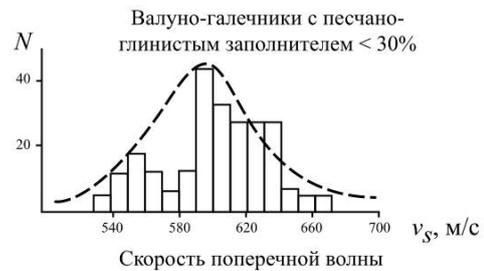
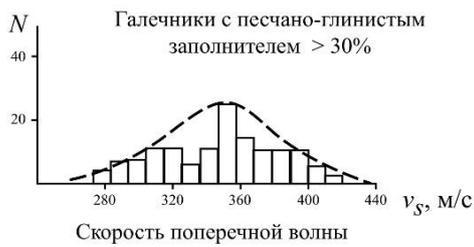


Рис. 3. Гистограммы распределения скоростей поперечных волн в крупнообломочных грунтах

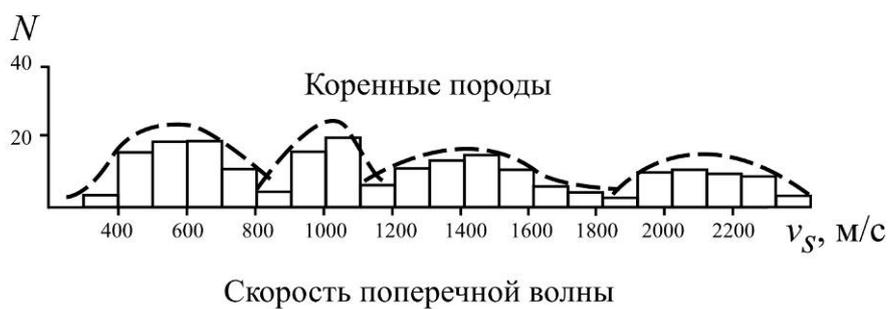


Рис. 4. Гистограммы распределения скоростей поперечных волн в грунтах

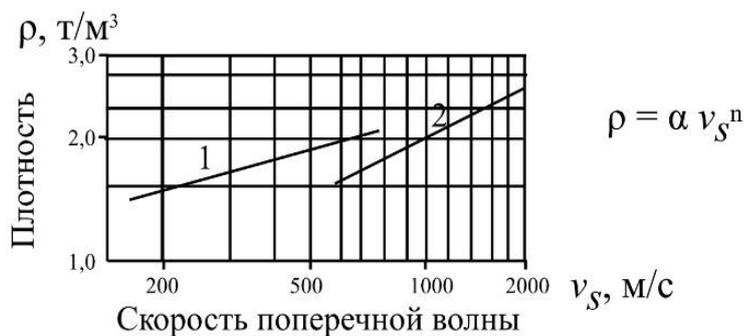
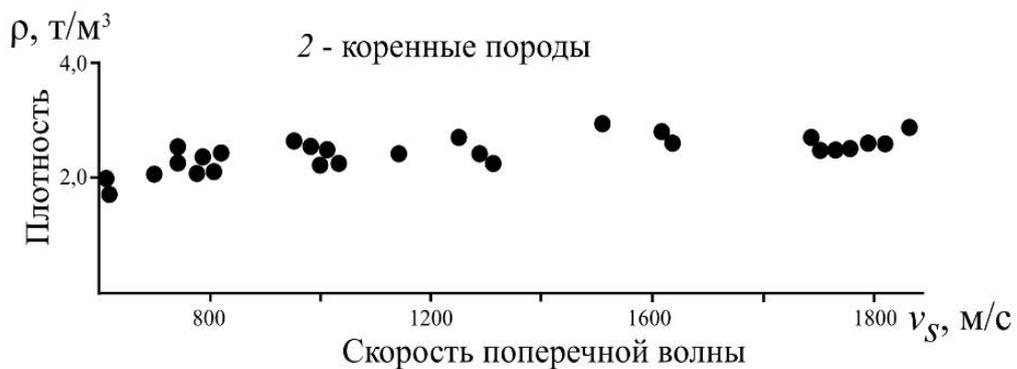
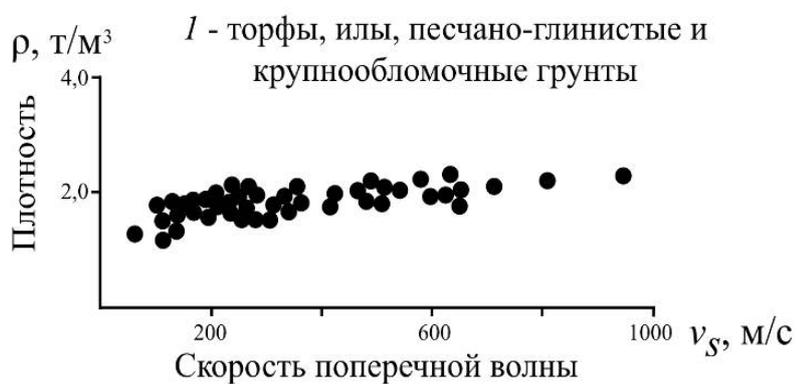


Рис. 5. Зависимость плотности грунтов от скорости поперечной волны в них

В табл. 1 приведены корреляционные зависимости для различных видов грунтов, полученные на основе анализа материалов инженерно-геологической разведки и полевых измерений скоростей в различных районах Грузии и Северной Осетии [Заалишвили, 1986; Заалишвили, 2000].

Плотность песчано-глинистых и крупнообломочных грунтов можно с достаточной точностью рассчитать единой зависимостью

$$\rho = 2,4v_s^{0,2}. \quad (2)$$

Плотность коренных пород рассчитывается по формуле:

$$\rho = 2,4v_s^{0,4}. \quad (3)$$

Таким образом, появляется возможность оценки плотности грунтов без проведения специальных инженерно-геологических изысканий (рис. 5).

Таблица 1.

Зависимость скорости поперечных волн от плотности грунтов

Виды грунтов	Диапазон изменения скорости поперечных волн, м/с	Вид корреляционной зависимости αv_s^n	Диапазон изменения плотности грунтов
Песчано-глинистые (торф, илы, пески, глины, суглинки, супеси), грунты	80-400	$2,4 v_s^{0,2}$	1,45-2,0
Крупнообломочные грунты всех видов	180-800	$2,4 v_s^{0,2}$	1,70-2,3
Коренные породы (известняки, аспидные сланцы, глинистые сланцы, туфо-брекчии, песчаники)	800-2100	$2,0 v_s^{0,4}$	1,63-2,7

Истинные значения скоростей поперечных волн, полученные на соответствующих грунтах при встречных системах наблюдений, определялись по известной формуле [Богуславский, 1974]:

$$v_s = \frac{2\bar{v}_s \bar{v}_s}{\bar{v}_s + \bar{v}_s}, \quad (4)$$

где \bar{v}_s, \bar{v}_s – скорости, полученные при встречных наблюдениях на профиле.

Чтобы уточнить уже известную по материалам инженерно-геологической разведки глубину залегания грунтов исследуемой толщи, использовались также известные формулы [Горяинов, Ляховицкий, 1979]:

$$\begin{cases} h_n = \frac{x_{n(n+1)}}{2} \sqrt{\frac{v_{n+1} - v_n}{v_{n+1} + v_n}} - \sum_{k=1}^{n-1} h_k N_{kn}, \\ N_{kn} = \frac{\cos i_{k(n+1)} - \cos i_{kn}}{\cos i_{kn} \cos i_{n(n+1)}}, \end{cases} \quad (5)$$

где $x_{n(n+1)}$ – точка пересечения годографов; v_n, v_{n+1} – скорости сейсмических волн в соответствующих слоях; $\sin i_{kn} = v_k / v_n$.

Таблица 2

Скорости поперечных волн в грунтах

Вид и литологический состав грунта	Интервал скоростей с вероятностью $\beta = 0,8$, $v_{S1} - v_{S2}$, м/с	Средняя скорость v_S , м/с	Средне-взвешенная плотность $\bar{\rho}$, т/м ³	Приращение балльности ΔI , балл	Категория грунта
Пески рыхлые	80-140	110	1,6	2,52	III
Суглинок (глина): мягкопластичный	130-210	170	1,7	2,16	III
полутвердой консистенции	210-270	240	1,83	1,86	III
Пески водонасыщенные	270-330	300	1,9	1,67	III
Галечники с песчано-глинистым заполнителем:					
более 30%	320-380	350	1,95	1,54	III
менее 30%	440-540	490	2,0	1,23	II
Валунно-галечниковые отложения с песчано-глинистым заполнителем менее 30%	570-630	600	2,1	1,1	II
Глыбы с песчано-глинистым заполнителем менее 30%	660-760	710	2,2	0,94	I
Коренные породы:					
сильно выветрелые	450-710	580	1,7	1,27	II-III
выветрелые	940-1110	1020	2,3	0,61	I-II
слабо выветрелые	1310-1570	1440	2,5	0,32	I
невыветрелые	1930-2270	2100	2,7	–	I

Скорость распространения сейсмических волн в грунте обусловлена целым рядом физико-механических показателей, причем для каждого вида грунта, находящегося в определенном состоянии, значения этой скорости имеют некоторой разброс. В табл. 4.4 приведены границы доверительного интервала значений скорости поперечных волн, соответствующего доверительной вероятности $\beta = 0,8$.

Невыветрелые коренные породы по своим сейсмическим свойствам согласно СНиП [Строительные нормы..., 1982], несомненно, относятся к грунтам I категории. На поверхности, как правило, распространены скальные грунты различной выветрелости. При использовании в качестве эталонных грунтов выветрелых скальных пород градация в принципе согласуется с данными СНиП.

Таким образом, рассчитывая приращения балльности, в качестве значений скоростей поперечных волн можно использовать их наиболее вероятные значения из доверительных интервалов табл. 2. для соответствующих видов грунтов с конкретными физико-механическими свойствами.

Наличие подобных данных, позволяющих прогнозировать вероятностные значения скоростей поперечных волн и отсюда, соответствующих плотностей грунтов, позволяет повысить обоснованность и контролируемость их значений при СМР.

Следует отметить, что в настоящее время возобновляется интерес специалистов к проблеме экранирования сейсмических волн в грунтовых основаниях строительных объектов. Два весьма содержательных доклада по этой тематике были прочитаны на VIII российской национальной конференции по сейсмическому строительству в 2009 г. Наконец, имеются сведения о разработке в Институте Френселя (Франция) и Ливерпульском университете (Англия) конкретных конструкций ори-

гинальных сейсмозащитных экранов, преобразующих разрушительные сейсмические волны в безопасный белый шум в грунтах непосредственно в зонах расположения и опирания фундаментов зданий и сооружений.

Выводы:

1. В связи с ужесточением нормативных требований в части обеспечения сейсмостойкости действующих и строящихся АЭС и других ответственных объектов, не следует пренебрегать любой возможностью повышения их надежности при землетрясениях.

2. К числу возможностей относится такой инновационный вид сейсмоизоляции как сейсмозащита территорий и естественных оснований зданий и сооружений путем экранирования.

3. Основной эффект сейсмозащитного экранирования связан с гашением (путем отражения или преобразования) наиболее опасных для наземных объектов поверхностных волн (волн Релея), интенсивность которых быстро убывает по глубине.

4. Для реализации технических решений рассматриваемого типа необходимо:
– упорядочение имеющейся информации о волновых характеристиках всего спектра грунтов естественного сложения с уточнением зависимости этих характеристик от различных факторов и с соответствующей таким зависимостям дифференциацией исходных сведений о составах и состояниях грунтов;

– разработка новых принципиальных схем экранов, в том числе – с использованием в их композиции не грунтовых, а, например, полимерных материалов;

– натурные испытания образцов экранов, отобранных для практического применения.

Литература

1. Берзон И.С., Епинатьева А.М.: О сейсмическом экранировании. Известия АН СССР. Серия географическая и геофизическая, том XIV, №6. М. Издательство Академии наук СССР, 1950, с.473-500.

2. Богуславский Ф.М. Дифференциация верхней части разреза по скоростям упругих волн для целей сейсмического микрорайонирования // Элементы методики сейсмического микрорайонирования. Кишинев, Штиинца, 1974, С. 28-44

3. Горяинов Н.И., Ляховицкий Ф.М. Сейсмические методы в инженерной геологии. М.: Недра, 1979. 144 с.

4. Вентцель Е.С. Теория вероятности. М., Наука, 1969, 576 с.

5. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование по данным искусственного возбуждения колебаний грунтовой толщи: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Тбилиси, 1986.

6. Заалишвили В.Б. Физические основы сейсмического микрорайонирования. М.: ОИФЗ РАН, 2000. 367с.

7. Керимов И.А., Гайсумов М.Я. Курчалоевское землетрясение 11 октября 2008 г. // Вестник Академии наук Чеченской Республики, 2009. №2 (11). С.48-53.

8. Керимов И.А., Гайсумов М.Я. Сильные землетрясения на территории Чеченской Республики // Вестник Академии наук Чеченской Республики, 2010. №1 (12). С.57-62.

9. Керимов И.А., Гайсумов М.Я., Ахматханов Р.С. Техногенная сейсмичность

на месторождениях нефти и газа // Геология и геофизика Юга России, 2012. № 1. С.22-45.

10. Мелик-Елчян А.Г., Акопян К.А. Рекомендации по повышению сейсмостойкости зданий методом экранирования сейсмических волн. Тула. Приокское книжное издательство, 1980-137с.

11. Назаров Г.Н., Шемшурин В.А. Использование инженерно-геологических характеристик при сейсмическом микрорайонировании // Сейсмическое микрорайонирование. М.: Наука, 1977. С. 137-143.

12. Натариус Я.И. Повышение сейсмостойкости плотин из грунтовых материалов. М. Энергоиздат, 1984-88 с.

13. Петрашень Г.И. Постановка задач на сейсмическое экранирование волн тонкими слоями и методы их решения. Ленинградский государственный университет. Ученые записки. №177. Серия математических наук. Выпуск 28. Л. Издательство ЛГУ. 1954. с. 5-104.

14. Савинов О.А. Полвека в мире механических колебаний. СПб. Стройиздат. Санкт-Петербургское отделение. 1992. с. 249.

15. СП 50-101-2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений. Москва. 2005.

16. Строительство в сейсмических районах Краснодарского края, СНКК 22-301-2000 (ТСН 22-302-2000 Краснодарского края), Краснодар, 2001, п.п. 2.1.45÷2.1.48.

17. Червинский Я.И., Моргунова Н.В., Домбровский Я.И., Ващук С.В., Исследование влияния искусственного преобразования грунтовых массивов на сейсмичность площадок строительства зданий. «Будівельні конструкції. Міжвідомчий науково-технічний збірник», випуск №69. «Будівництво в сейсмічних районах України», Київ, НДІБК, 2008, с.347-352.

18. Faust L. G. Seismic velocity as a function of depth and geologic time // Geophysics. 1951. Vol. 16. No 2.

DOI: 10.23671/VNC.2014.1.55406

GEOPHYSICAL BASIS OF ENGINEERING EARTHQUAKE PROTECTION OF RESPONSIBLE CONSTRUCTION OBJECTS

© 2014 V.B. Zaalishvili¹, Sc. Doctor (Phys.-Math.), prof., J.L. Krantsfeld², engineer.

¹Center of Geophysical Investigations of Vladikavkaz Scientific Centre RAS and RNO-A, Markova str. 93a, Vladikavkaz, Russia, 362002, E-mail: cgi_ras@mail.ru,

²LLC «Teploelectroproect-SOYUZ», Ukraine, 61052, Kharkov region, Kharkov city, Simferopol ln. 6, e-mail: office@tep-soyuz.com.ua

To create a shielding system with a purpose of impact level reduction at strong earthquakes, it is necessary to know the type and physical condition of the ground layer. Velocities of stress and shear waves in one or another form of the soil being in a certain state are such indicators.

The histograms of velocity values were composed on the basis of wide analysis of factual material, as in various types of soils so in soils of one type, with different physical and mechanical properties.

The availability of a lot of factual material made it possible to obtain correlations between density and propagation velocity of shear waves. The availability of such data that allows to predict the probability values of shear wave velocities and hence the corresponding densities of the soil, can improve the validity and accountability of their values, as when working on shielding of buildings and constructions so for assessment of seismic hazard soils.

Keywords: engineering earthquake protection, shielding properties of soils, wave velocity, density.