

УДК 622.02

Опыт сейсмотомографических исследований грунтового основания объектов переработки и долговременного хранения радиоактивных отходов утилизируемых атомных подводных лодок в Сайда Губе

*В.П. Конухин, доктор технических наук,
Н.Н. Абрамов, Е.В. Кабеев,
Горный институт Кольского научного центра РАН*

В статье рассмотрены методологические аспекты и приведены конкретные результаты сейсмотомографического контроля состояния грунтового основания при возведении объектов повышенной ответственности в западном секторе российской Арктики на примере строительства Пункта долговременного хранения 120 реакторных отсеков утилизируемых атомных подводных лодок (ПДХ РО АПЛ) и Центра кондиционирования и долговременного хранения радиоактивных отходов (ЦКДХ РАО) в Сайда Губе.

Основным требованием к объектам длительного хранения реакторных отсеков и радиоактивных отходов утилизируемых АПЛ, относящихся к особо ответственному и опасным объектам, является обеспечение их безаварийной эксплуатации в течение длительного срока, составляющего 70 и более лет. При этом одним из важнейших условий обеспечения безопасности объектов является геофизический контроль состояния стабильности грунтов в его основании.

Геофизический контроль при строительстве объектов в Сайда Губе осуществлялся хорошо известными сейсмическими методами с привлечением томографической обработки получаемых данных и предполагает решение следующих основных задач:

- уточнение сейсмической балльности территории строительства при проведении микросейсмического районирования (МСР) выбранной площадки;
- контроль качества уплотнения грунтов обратной засыпки при замещении ими вмещающих слабых грунтов с низкими сейсмическими свойствами (в качестве грунтов обратной засыпки используется смесь дробленой горной массы и щебня).

На начальной стадии работ на базе метода сейсмической томографии была разработана методика расчета поправок сейсмической балльности по фактически определенным в натуральных условиях характеристикам сейсмических жесткостей различных по составу и структуре блоков пород

обследуемого участка с использованием корреляционных зависимостей «скорость сейсмической волны – плотность пород».

Целью микросейсморайонирования территории участка строительства ПДХ является получение поправок сейсмической балльности (приращений сейсмичности) на конкретном участке массива с учетом фактических данных о свойствах и состоянии вмещающих пород.

Одной из обязательных характеристик массива пород, используемых при микросейсморайонировании, является величина сейсмической жесткости грунтов. Для реальной слоистой среды, средняя сейсмическая жесткость пород в разрезе определяется из выражения:

$$\rho_{cp} = \frac{\sum \gamma_i \cdot V_{pi} \cdot h_i}{\sum h_i}, \quad (1)$$

где ρ_{cp} – средняя сейсмическая жесткость породы в разрезе;

γ_i – плотность i -того слоя породы, т/м³;

V_{pi} – скорость продольной сейсмической волны i -того слоя породы, м/сек;

h_i – мощность i -того слоя породы, м.

Другим влияющим на сейсмическую балльность фактором является уровень грунтовых вод. Так, согласно исследованиям [5, 2], поднятие уровня грунтовых вод до отметок 1.0 м от поверхности повышает сейсмичность участка на 1 балл. На основе анализа результатов выполнения сейсмического районирования в различных горно-геологических условиях в работе [2] предлагается следующее выражение для оценки величин поправок к балльности:

$$n = 1.67 [Lg(V_0 \cdot \gamma_0) - Lg(\rho_{cp})] + e^{-0.04H^2}, \quad (2)$$

где n – поправка к балльности;

$(V_0 \cdot \gamma_0)$ – сейсмическая жесткость породы, принятой за эталон;

H – глубина залегания грунтовых вод, м.

Как видно из выражения (2), для оценки поправок n необходимо определить в натуральных условиях величины средней сейсмической жесткости пород ρ_{cp} , обосновать выбор эталонного грунта $(V_0 \cdot \gamma_0)$ и оценить уровень грунтовых вод на участке строительства.

Отличие предложенной методики, состоит:

- в более детальном описании массива по величинам фактических скоростей V_{pi} и плотностей γ_i , благодаря использованию при натуральных

измерениях метода сейсмической томографии, и корреляционных соотношений «плотность – скорость продольной волны», устанавливаемых при лабораторных испытаниях грунтов;

- в оценке характеристик эталонного грунта V_0, γ_0 , которые для реальных условий, определяются как средневзвешенные значения скоростей и плотностей для пород I категории по данным натуральных сейсмотомографических измерений скоростей сейсмических волн и корреляционным соотношениям:

$$\gamma_0 = \frac{\sum_{i=1}^m \gamma_{cp.эв.и}}{m}, \quad (3)$$

где $\gamma_{cp.эв.и}$ – средневзвешенное значение плотности по i -тому профилю.

Сейсмотомографические исследования при проведении микросейсморайонирования основываются на анализе инженерно-геологических особенностей обследуемого участка с использованием данных разведочного бурения и оценки уровней грунтовых вод. При этом выполняется:

- определение средних сейсмических жесткостей вмещающих пород и грунтов ρ_{cp} , глубин залегания коренных пород в реальных разрезах массива по данным натуральных сейсмических измерений;
- выявление структурно-ослабленных зон массива по дифференциации скоростей сейсмических волн (выявление низкоскоростных зон массива в коренных породах основания как наиболее неоднородных и трещиноватых участков), построение карт поправок сейсмической балльности массива.

По результатам разведочного бурения геологическое строение района работ характеризуется следующим разрезом (снизу вверх): микроклиновые граниты и гранито-гнейсы (объемный вес $\gamma = 2.65-2.71$ г/см³, крепость по Протодяконову 12–14); валунно-галечниковые и щебеночные грунты ($\gamma = 2.20-2.30$ г/см³); глинистые слоистые голубовато-серые илы ($\gamma = 1.80-2.00$ г/см³); суглинистые зеленовато-серые илы с примесью ракушек, кораллов (встречены на акватории) и гравия ($\gamma = 1.80-2.00$ г/см³); пески гравелистые, иногда мелкозернистые с включением ракушек (на акватории) и ожелезненные, часто цементированные (на суше) ($\gamma = 1.8-2.0$ г/см³); биогенные отложения – торфы ($\gamma = 1.80-2.00$ г/см³); техногенные насыпи представлены глыбово-щебенистыми грунтами (взорван-

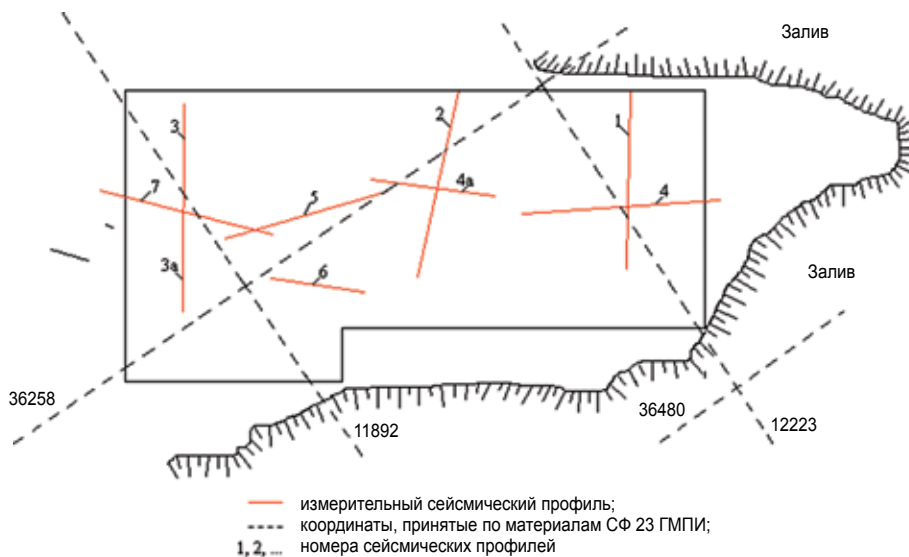


Рис. 1
Схема размещения измерительных сейсмических профилей на территории площадки ПДХ

ные скальные породы), строительным мусором, шлаком, металлоломом с песчаным заполнителем ($\gamma = 1.80\text{--}2.00\text{ г/см}^3$).

Натурные измерения скоростей сейсмических волн выполняются методом продольного сейсмического профилирования с возбуждением сейсмических волн ударным способом. Для этих целей на площадке оборудованы девять измерительных профилей. Схема размещения профилей на участке показана на рис. 1.

Применение метода продольного сейсмического профилирования, не требующего бурения скважин, в данном случае является наиболее целесообразным. Это обусловлено значительным различием величин скоростей сейсмических волн в разрезе для грунтов четвертичных отложений в верхней части разреза и для коренных скальных пород (в 3–4 раза).

Для построения скоростных разрезов и преломляющих границ в глубь массива использована регистрация времен первых вступлений преломленных сейсмических волн (МПВ). Комплект измерительной аппаратуры включает портативную цифровую 24-канальную сейсмостанцию «Микросейс-160» (McSeis-160, Япония). При проведении сейсмического профилирования на площадке, опытным путем установлены следующие параметры регистрации сейсмических волн: частота — до 768 гц, дискретность оцифровки сейсмограмм — 100 мкс, длина записи — 200 мс.

Томографическая обработка данных натуральных измерений состоит в пересчете времен вступлений сейсмических волн в величины скоростей, внесении поправок получаемых скоростей к начальной синтетической скоростной модели среды

в итерационном режиме, причем на каждом этапе расчетов принимается новая уточненная скоростная модель для следующего этапа расчетов до тех пор, пока величины среднеквадратичных невязок времен становятся минимальными (до 8–10%). По томограммам оцениваются величины скоростей V_i и мощности вмещающих слоев грунта в разрезе h_i , необходимые для расчета поправок, выражение (2). Мощности разрезов достигали 12–16 м. Вся обработка реализована с использованием пакета программ для ПЭВМ «Х-Томо».

Размещение сейсмических измерительных профилей на площадке, показано на рис. 1. На рис. 2 показан сейсмотомографический скоростной разрез (томограмма) по одному из измерительных профилей.

На основе полученных данных натуральных измерений по профилям, с учетом оценки средне-взвешенных значений характеристик вмещающих грунтов, в качестве эталонного грунта для всей площадки в расчетах поправок балльности принят грунт I категории по сейсмическим свойствам с характеристиками: $V_0 = 3.11\text{ км/с}$ и $\gamma_0 = 2.57\text{ г/см}^3$.

Результаты расчета поправок сейсмической балльности по данным сейсмотомографических измерений и с учетом реальных уровней грунтовых вод по скважинам, полученная по результатам комплексной оценки несколькими методами, включая метод инженерно-геологических аналогий, наблюдений за колебаниями от землетрясений и микросейсм, территории площадки ПДХ представлена на рис. 3.

Как видно из приведенных данных, полученные результаты позволяют корректировать исходную сейсмическую балльность. В местах

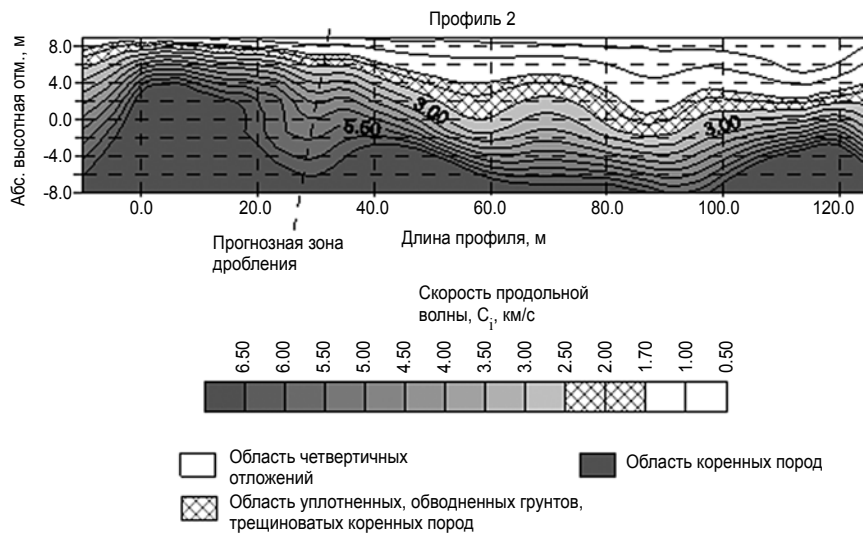


Рис. 2
Сейсмотографический скоростной разрез массива по профилю 2

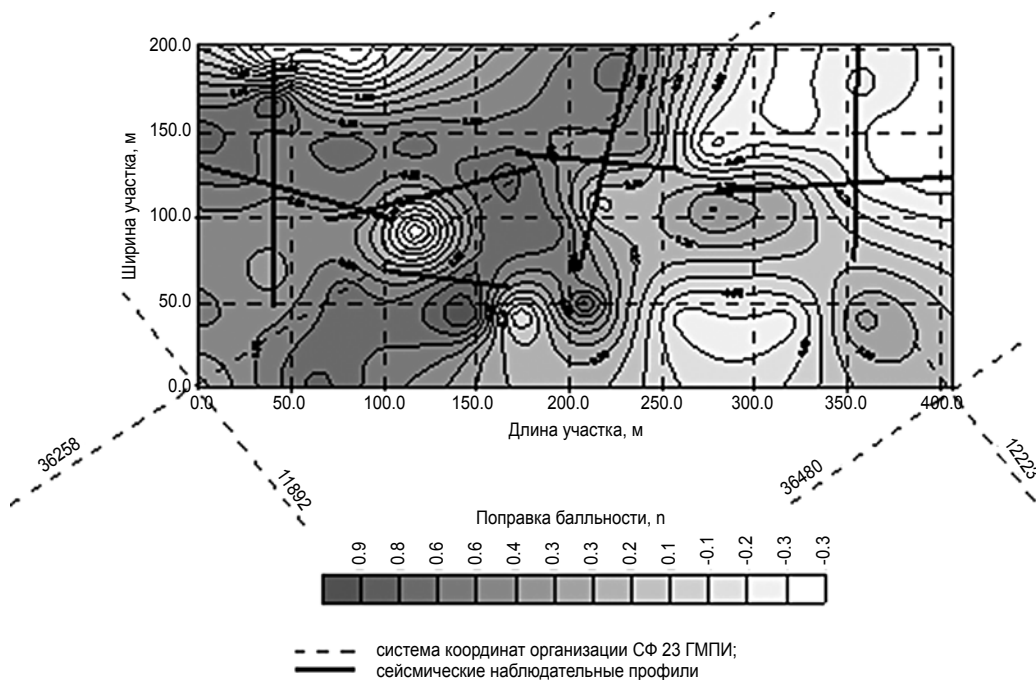


Рис. 3
Карта распределения расчетных поправок сейсмической балльности по результатам исследований на площадке ПДХ

выхода скальных коренных пород к свободной поверхности сейсмическая балльность может быть снижена на 0.35–1.3 балла к исходной. На участках площадки с высоким уровнем грунтовых вод и мощным слоем наносных грунтов и четвертичных отложений (примерно до 25% территории площадки) величины превышений сейсмичности

к расчетной могут достигать 0.6 – 0.9 балла, но не превышают 1.0 балла. Концентрация таких зон приурочена, в основном, к центральному участку площадки.

При строительстве площадки ПДХ наносные и, частично, четвертичные отложения замещены скально-щебеночной смесью. При строительстве соо-

ружений особого назначения в условиях Заполярья, с использованием технологии засыпки и замещения грунтов, контроль качества их уплотнения является неотъемлемой частью всего технологического процесса строительства. Возможности внутреннего промерзания грунта, образование линз льда в зимнее время и их оттаивание в летнее, влияние грунтовых вод и морских приливов, делает задачу локализации зон разуплотнения внутри уплотняемого слоя в процессе строительства достаточно актуальной.

Для контроля уплотнения грунтов обратной засыпки, мощность которых превышает 2–3 м, а на отдельных участках достигает 9–10 м, эффективным является использование оперативных методов поверхностной сейсморазведочной томографии, основанных

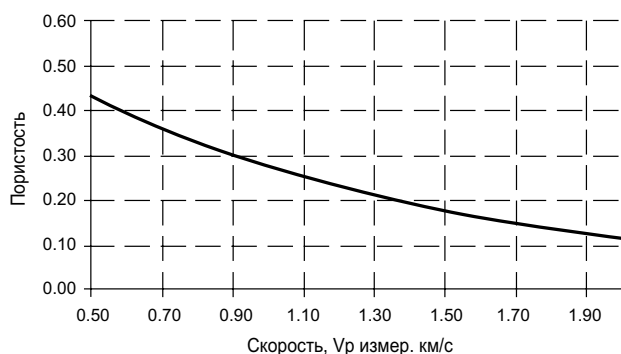


Рис. 4
Взаимосвязь пористости грунта и скорости продольной волны

на взаимосвязи скоростей продольных сейсмических волн и уплотнений грунта. Авторами разработана методика, учитывающая технологию замещения и сложные климатические условия побережья Баренцева моря (градиенты температур, приливно-отливные явления). Однако, здесь следует говорить об относительных оценках уплотнений в режиме мониторинга, обеспечивающего неразрушающий контроль значительных площадей и глубин обследования. В такой постановке методически необходимо решить две основные задачи: установление взаимосвязей скоростей продольных сейсмических волн и уплотнений грунта и влияния влагонасыщения грунтов на результаты оценки качества их уплотнения.

Согласно рекомендациям [6], для контроля качества послойной укладки горной массы, представляющей собой обычно смеси в различных пропорциях обломочного скального грунта и щебня, следует применять коэффициент (степень) уплотнения m — отношение плотности сухого грунта (γ_{ic}) горной массы к максимальной плотности сухого

грунта ($\gamma_{c\max}$), которая может быть достигнута при уплотнении. Тогда, чтобы избежать недоуплотнения, схема контроля должна удовлетворять условию:

$$m \geq m_{\text{проектн.}}, \quad (4)$$

где $m_{\text{проектн.}}$ — коэффициент уплотнения, устанавливаемый проектом в зависимости от класса капитальности, конструктивных особенностей объекта и сейсмичности района.

К настоящему моменту накоплено много данных о соотношении между плотностью грунта γ_i и скоростями продольных волн V_{pi} . С достаточной степенью достоверности эти зависимости описываются степенным выражением вида:

$$\gamma_i = a V_{pi}^\beta, \quad (5)$$

где a , β — эмпирические коэффициенты. Тогда, с учетом выражения (2), получим:

$$m = \left(\frac{V_{pi}}{V_{p\max}} \right)^\beta, \quad (6)$$

где V_{pi} , $V_{p\max}$ — текущее и максимальное значения скоростей продольных сейсмических волн в замещаемом слое грунта, соответствующие текущей и максимально достижимой плотностям грунта при уплотнении, км/с.

Таким образом, задача сводится к определению допустимого диапазона скоростей ($V_{pi} \div V_{p\max}$), удовлетворяющего проектно заданному уплотнению m . Методика оценки $V_{p\max}$ сводится к следующему. Вначале оценивается максимально достижимые плотности грунта $\gamma_{c\max}$ и допустимый интервал уплотнения ($\gamma_{c\max} \div m \cdot \gamma_{c\max}$). Для этого можно использовать целый ряд известных методик. Установленный допустимый размах оценочных плотностных характеристик грунта позволяет определить и соответствующий ему размах допустимых характеристик непосредственно измеряемых параметров грунтов на площадке, т. е. скоростей упругих сейсмических волн. Для этого используем известные зависимости пористости грунта и скорости сейсмической волны [7]:

$$n_i = (V_{p0} / V_{pi} - 1) / (V_{p0} / V_{p.\text{зан}} - 1), \quad (7)$$

где V_{p0} — скорость продольной волны в скальной отдельности грунта (по данным лабораторных определений можно принять $V_{p0} = 5.67$ км/с); $V_{p\text{измер}}$

– скорость продольной волны в грунте, измеренная в реальных натуральных условиях; $V_{p \text{ зап}}$ – скорость продольной волны в заполнителе пор грунта (для воздуха $V_{p \text{ зап}} = 0.30 \text{ км/с}$). Для сухого грунта, принимая, что заполнителем порового пространства является воздух, графически эта зависимость представлена на *рис. 4*.

По графику легко оценивается искомый диапазон разрешенных скоростей в засыпке грунта, соответствующий заданным показателям пористости.

Во всех проведенных рассуждениях речь идет о показателях сухого грунта. Поэтому следующим методическим шагом является учет фактической влагонасыщенности обследуемого грунта. Действительно, как известно, водонасыщение грунтов может, с одной стороны, способствовать разуплотнению и вымыванию грунтов, и с другой, при этом, существенно увеличивать величину скорости продольной волны при измерениях и тогда оценка степени уплотнения по этому показателю станет не адекватной. Для оценки фактического состояния грунтов используется относительный показатель отношения скоростей сейсмических волн V_s/V_p , где V_p, V_s – скорости продольной и поперечной сейсмических волн. Соотношение скоростей продольной и поперечной сейсмических волн, как известно, позволяет оценивать коэффициент Пуассона среды (коэффициент поперечной деформации) – характеристику состояния и деформируемости среды. Он определяется согласно выражению:

$$v = (V_p^2 - 2V_s^2) / 2(V_p^2 - V_s^2), \quad (8)$$

где v – коэффициент Пуассона среды;

V_p, V_s – скорости продольной и поперечной волны, соответственно.

Диапазон изменения коэффициента Пуассона от 0 до 0.5 охватывает весь возможный спектр состояний отдельно взятой среды. Для упруго-хрупкого состояния, характерного для коренных скальных горных пород, величина v составляет ($v=0-0.25$), до пористо-пластичного состояния значения коэффициента Пуассона 0.30–0.35 (щебень, пески, глины и пр.). Для жидких сред величина v приближается к 0.5. Таким образом, влагонасыщение грунтов способствует росту величин коэффициента Пуассона среды. Согласно данным строительных норм РСН 66–87, для смесей обломочных грунтов и щебня разница в показателях V_s/V_p сухих и водонасыщенных грунтов может

достигать 6–7 раз, что обеспечивает достаточную надежность оценки водонасыщения, используя данные натуральных измерений скоростей.

Мощность замещенного грунта на отдельных участках площадки ПДХ достигала 11–13 м. Заданная степень уплотнения грунта составляет $m=0.95-1.0$. Для оценки $\gamma_{c \text{ max}}$ использована методика [6]. Для условий скально-щебенистой отсыпки использован комплексный квалификационный показатель. Этот показатель разработан на основе большого экспериментального материала, полученного при строительстве различных каменно-земляных плотин при уплотнении горной массы виброкатками. Он представляет собой совокупность известных характеристик грунта, объединенных в один модуль: пористость грунта n , оценивающая соотношение между пустотами в горной массе и ее минеральной частью, показателя сегрегации грунта $k=f(K_{60,10})$, характеризующего неравномерность раскладки частиц в объеме грунта и плотности частиц каменного материала γ_0 , отражающей среднюю плотность минералов породы. Как показывают результаты исследований [4], связь этого комплексного показателя, имеющего вид: $[(1 - n_{i \text{ min}}) \cdot k \cdot \gamma_0]$ и максимально возможной плотности сухого грунта уплотненной горной массы $\gamma_{c \text{ max}}$ аппроксимируется уравнением вида (коэффициент корреляции – $R=0.99$):

$$\gamma_{c \text{ max}} = 1.794 + 0.125 \text{ Ln}[(1 - n_{i \text{ min}})k\gamma_0]; \quad (9)$$

где $(1 - n_{i \text{ min}})$ – объем скелета в единице объема грунта;

$n_{i \text{ min}} = (0.45 - 0.1 \cdot \lg K_{60,10})$ – пористость грунта;

$k = (1 + 0.05 \cdot K_{60,10})$ – коэффициент неравномерности раскладки частиц грунта в уложенном слое.

Принимая для скально-щебенистых грунтов при отсыпке площадки в Сайда-Губе средневзвешенное значение коэффициента $K_{60,10} = 24.4$, определяем параметры квалификационного показателя: $n_{i \text{ min}} = (0.45 - 0.1 \cdot \lg 24.4) = 0.31$; $k = 2.22$; для скальных отдельностей грунта, принимаем $\gamma_0 = 2.67 \text{ т/м}^3$. Величина квалификационного показателя тогда составит 3.91. Из выражения (6) оцениваем величину $\gamma_{c \text{ max}} = 1.97 \text{ т/м}^3$. По условию проекта величина коэффициента уплотнения должна составлять $m = 0.95 - 1.0$. Тогда можно оценить минимально допустимое значение плотности грунта $\gamma_{c \text{ min}} = 0.95 \cdot 1.97 = 1.87 \text{ т/м}^3$. Для грунтов с пористостью $n_{i \text{ min}} = 0.31$ с $\gamma_{c \text{ max}} = 1.97 \text{ т/м}^3$ (случай максимального уплотнения) по *рис. 4* оцениваем величины ожидаемых скоростей упругих волн для уплотненных грунтов в диапазоне

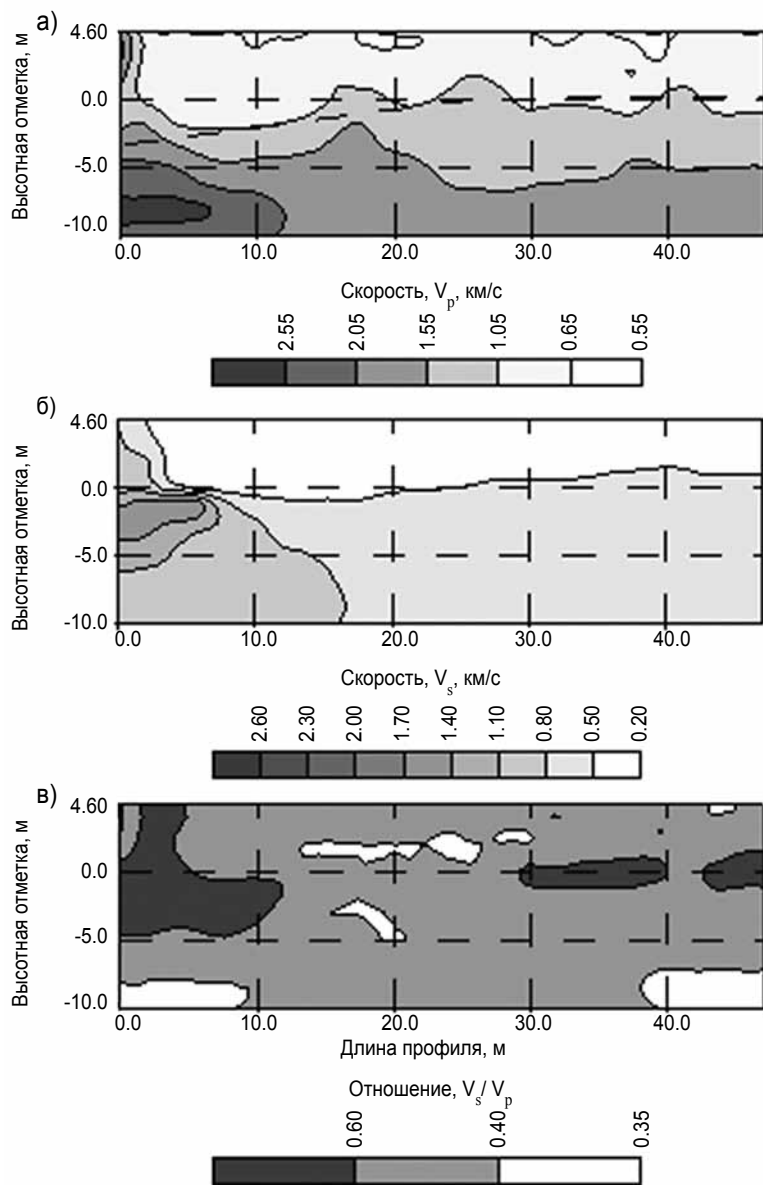


Рис. 5
 Томограммы скоростей продольных (а), поперечных (б) волн и соотношения V_s/V_p (в) по данным натурных измерений

$V_{pi\ max} = (0.75-0.90)$ км/с. Минимально допустимые значения скоростей, удовлетворяющие требованиям по уплотнению можно оценить следующим образом. По определению, пористость однородного, однозернистого грунта определяется согласно выражению:

$$n = (1 - \gamma_{ic}/\gamma_0) \cdot 100\%, \quad (10)$$

где γ_0 – плотность скальной отдельности составляющей грунт засыпки.

Тогда, для оцененного выше допустимого интервала плотностей скелета грунта $\gamma_{ci} = (1.87 - 1.97)$ т/м³ и величины $\gamma_0 = 2.67$ т/м³

оцениваем интервал предельно допустимых значений пористости для однородного грунта. Он составляет $n_{i\ \text{однородн.}} = (26-30)\%$. Как видно из полученных значений, разница величин минимально допустимых пористостей грунта $n_{i\ \text{min}}$, определенных по выражениям (6) и (7), обусловлена неоднородностью реального грунта (для реального грунта пористость выше). Эта разница будет определять поправочный коэффициент λ_i на неоднородность грунта (неравномерность укладки, разница грансостава, формы и пр.):

$$\lambda_i = n_i/n_{i\ \text{однородн.}} = 0.31/0.26 = 1.19.$$

Вводя полученную поправку, уточняем величину наибольшей допустимой пористости для реального грунта: $n_{i\ \text{max}} = 0.30 \cdot 1.19 = 0.36$. Тогда по графику рис. 4 нижний допустимый интервал ожидаемых скоростей составит $V_{pi\ \text{min}} = (0.60-0.70)$ км/с.

Исходя из приведенных рассуждений, при проведении натурных измерений на площадке допустимый интервал изменения скоростей упругих волн в грунте следует ожидать в диапазоне (0.65–0.85) км/с. Для оценки влагонасыщения грунтов воспользуемся данными РСН 66–87 [6] для смесей обломочных грунтов и щебня, причем считаем грунт водонасыщенным при $V_s/V_p < 0.30$.

Проверка изложенных теоретических представлений о формировании состояния грунтов обратной засыпки осуществлялась по измерениям, выполненным в специально созданном на площадке ПДХ эталонном блоке грунта с параметрами: мощность грунтов обратной засыпки 5.0–8.0 м, длина-ширина блока 50x50 м. Предельное уплотнение достигнуто за четыре прохода виброкатка, при этом скорости продольных сейсмических волн, характеризующие это состояние, достигают значений 0.8–1.0 км/с. Все результаты измерений на площадке соотнесены к результатам, полученным на эталонном блоке.

Сейсмоизмерения производились с использованием 24-канальной цифровой сейсмостанции «Elliss» (сертификат соответствия рег. № ССГП 01.1.1.–125). При проведении сейсмического профилирования установлены следующие параметры регистрации: окно частотного диапазона

аппаратуры – до 500 гц, период дискретизации – 0.5 мс, длина записи – до 1.0 сек, шаг расстановки сейсмоприемников – 2.0 м., длина одной расстановки сейсмоприемников (24 шт.) – 46.0 м. Расчеты скоростных кинематических разрезов при моделировании и при обработке данных натурных наблюдений выполнены с использованием программного томографического пакета «XТомо» (version 1.0, разработка компании X-Geo, г. Санкт-Петербург, лицензия А-545). В качестве начальной скоростной модели среды выбрана двухслойная среда «грунт – коренная порода» с параметрами скоростей $V_{p0} = 0.6–0.85$ км/с – для однородных грунтов обратной засыпки и $V_{p0} = 1.4–4.0$ км/с – для коренных пород.

В качестве примера, иллюстрирующего возможности разработанной методики, на *рис. 5* приведены сейсмотомографические разрезы скоростей

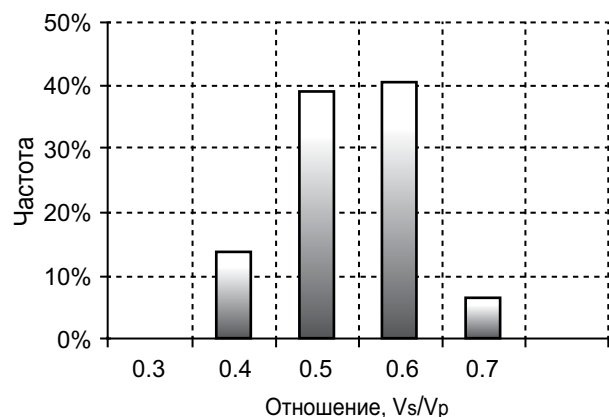


Рис. 6

Гистограмма распределения отношения V_s/V_p по данным натурных измерений.

продольной (а) и поперечной (б) сейсмических волн по одному из профилей на площадке. Мощность насыпных грунтов варьирует от 4.5 до 8 метров.

Зона низких скоростей продольных волн в поверхностном слое грунта, не удовлетворяющая условию достаточного уплотнения по скорости продольной волны $V_p < 0.65$ км/с (белая палитра рисунка ПК 35–40), фиксируется в самой приповерхностной части и незначительна. Внутри слоя засыпки на отметках +1–2 м фиксируются незначительные локальные зоны (менее 1% распространенности на участке) с пониженным значением соотношения V_s/V_p в диапазоне 0.35–0.4.

Гистограмма распределения отношения величин V_s/V_p , для разреза *рис. 5* в, представленная на *рис. 6*, показывает, что характерные значения соотношений V_s/V_p составляют 0.4–0.7.

Это присуще грунтам с низким водонасыщением. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о низкой пористости слоя замещенного грунта, а уплотнение соответствует проектным требованиям.

Полученные в результате проведенных исследований на площадке ПДХ данные показали эффективность оперативного геофизического контроля. На 75% территории площадки сейсмическая балльность может быть снижена на 0.35–1.3 балла по сравнению с нормативной сейсмичностью по картам ОСР. На 25% территории величина превышения балльности может достигать 0.6–0.9 балла. Контроль уплотнения грунтов обратной засыпки позволил оперативно выделять участки с $m \leq 0.95–1.0$ (где m – проектный коэффициент уплотнения грунтов) для своевременного проведения дополнительного уплотнения.

Литература:

1. Жарницкий В.Я. Оценка качества укладки горной массы из известняков в упорные призмы каменно-земляных плотин. Гидротехническое строительство, №12, 2004 г., С. 22–25.
2. Медведев С.В. Инженерная сейсмология. М., 1962, 283 с.
3. Оперативный региональный сейсмологический каталог. Северо-западный регион. Кольский региональный сейсмологический центр (КРСЦ ГС РАН). 1.11.99. – 31.12.2003.
4. Республиканские строительные нормы. РСН 60–86. Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Нормы производства работ.
5. Сейсмическое микрорайонирование и техногенез. Сб. статей, / АН СССР, Научный совет по инженерной геологии. Произв., и НИИ по инженерным изысканиям в строительстве, Под ред. Н.И.Кригер, М.: Наука, 1985, 102 с.
6. СНиП II-7-81 часть II. Нормы проектирования. Строительство в сейсмических районах.
7. Никитин В.Н. Основы инженерной сейсмологии. М., Изд-во МГУ, 1981, 176 с.