УДК 624.131.3

О.П. Минаев

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПЕСЧАНЫХ ОСНОВАНИЙ КРУПНЫХ ОБЪЕКТОВ

O.P. Minaev

QUALITY CONTROL OF SANDY GROUNDS IN LARGE STRUCTURES

При уплотнении грунтов оснований важно оценить качество их укладки после вибродинамической обработки, в частности плотность и физико-механические характеристики грунтов после уплотнения, определяющие надежность и прочность оснований и сооружений. В случае маловлажных грунтов при их послойной укладке такая задача решается путем отбора образцов грунта в каждом уплотняемом слое основания. Автор статьи, базируясь на проведенных сравнительных испытаниях различных методов (статический, ударный, вибрационный и взрывной) зондирования грунтов оснований, показывает возможность их применение для оценки свойств водонасыщенных песчаных грунтов после вибродинамического глубинного уплотнения.

ОСНОВАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ; ВОДОНАСЫЩЕННЫЕ ГРУНТЫ РАЗЖИЖЕНИЕ ГРУНТОВ; ВИБРОДИНАМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УПЛОТНЕНИЯ; СТАТИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ; УДАРНОЕ И ВИБРАЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ; ВЗРЫВНОЕ МЕТОД ЗОНДИРОВАНИЯ ГРУНТОВ; СТРУКТУРНАЯ ПРОЧНОСТЬ ГРУНТОВ; ПЛОТНОСТЬ.

An important task at the soil compaction of foundations is to assess the quality of their laying after dynamic vibration processing. This task is necessary to determine the density and physico-mechanical properties of soil after compaction, which defines reliability and durability of foundations and structures. In the slightly wet ground with layer-by-layer stacking this task is solved by selecting soil samples in each compacted layer of the foundation. The author of the article has conducted comparative tests of different methods of soil sounding (static, shock, vibration and explosive) and claims the possibility of their usage to assess the properties of water-saturated sandy grounds after dynamic vibration deep compaction.

FOUNDATIONS AND STRUCTURES; WATER-SATURATED SOIL; LIQUEFACTION OF SOILS; DYNAMIC VIBRATION METHODS OF COMPACTION; CPT; SHOCK AND VIBRATION SENSING; EXPLOSIVE METHOD OF SOIL SOUNDING; STRUCTURAL SOIL STRENGTH; DENSITY.

Анализ состояния водонасыщенных песчаных грунтов оснований, создаваемых свободным намывом и отсыпкой под воду, показывает, что независимо от гранулометрического состава они укладываются с плотностью скелета в рыхлом сложении или близкой к этому [1–4].

Относительная плотность песков подводного намыва составляет $I_D = 0,1–0,3$, причем наиболее рыхлое сложение имеют нижние слои подводного намыва и отсыпки.

При строго организованном надводном намыве рассредоточенной трубоподачей гидросмеси может быть достигнута плотность укладки песков оснований $I_D = 0,4$. Однако последующее перемещение осушенных масс песков при планировке основания способствует их разрыхлению и очень рыхлой укладке.

При возведении бетонных сооружений и зданий на формируемых песчаных основаниях, прокладки инженерных сетей в них, устройстве дорог и железнодорожных путей и т. п. должен учитываться как фактор однородности по плотности сформированного массива, так и величина этой плотности. Последнее особенно важно при возможных динамических (сейсмических) воздействиях. Это требует уплотнения грунтов до заданной проектом плотности.

Выбор методов вибродинамического уплотнения песчаных грунтов оснований и их осуществление могут быть произведены с использованием эффективных разработок [5–14 и др.] и опубликованных исследований автора статьи, его рекомендаций, которые основаны на работах ведущих российских ученых и научных школ в области динамики грунтов, разжижения и консолидации грунтов оснований, виброметода в строительстве, динамики и сейсмики оснований и фундаментов зданий и сооружений [1–4, 21–23 и др.].

Постановка задачи

Немаловажная задача при уплотнении грунтов оснований — оценка качества их укладки после обработки.

Необходимо определить плотность и физико-механические свойства грунтов после уплотнения, от которых зависят прочность оснований и сооружений.

Если в грунтах естественной влажности при их послойной укладке такая задача решается путем отбора образцов грунта в каждом слое основания, то в водонасыщенных грунтах (да еще при значительной их толще) такую задачу или вообще невозможно решить, или она представляет значительные трудности. Причем в водонасыщенных песчаных грунтах основания даже незначительные сотрясения в зоне определения плотности могут привести к переукладке частиц и искажению результатов замеров.

В настоящее время для определения характеристик водонасыщенных грунтов оснований применяются косвенные методы, в частности различные методы зондирования: статический, ударный, вибрационный и взрывной.

Однако эти методы не позволяют непосредственно находить плотность скелета ρ_d водонасыщенных песчаных грунтов основания. Особенно необходимо определять ρ_d при оценке качества уплотнения песчаных грунтов основания по показателю их относительной плотности I_D, учитывающей как гранулометрический состав, так и форму частиц песчаного грунта. Отметим также, что все расчетные данные, используемые в проекте, основываются на результатах определения физико-механических характеристик грунтов заданной плотности ρ_d (I_D).

При этом полученные данные зондирования основания можно сопоставить с ρ_d непосредственном отборе образцов грунта путем предварительного зондирования выбранного участка основания и последующей, после водопонижения, разборки опытной насыпи основания или ее шурфования.

При устройстве оснований зданий и сооружений, особенно в сейсмоопасных районах, обязательно необходима оценка динамической устойчивости структуры песчаных грунтов оснований с разработкой рекомендаций по их уплотнению.

Основная характеристика грунтов песчаных оснований, определяющая динамическую устойчивость их структуры и возможность разжижения, — относительная плотность грунтов основания I_D, комплексно учитывающая как его гранулометрический состав, так и форму частиц грунта основания.

При рыхлом состоянии песчаных грунтов основания необходимо его уплотнение до величины относительной плотности, исключающей возможность разжижения.

Существуют различные подходы [1–4, 15–23] к оценке величины относительной плотности, которая необходима для обеспечения динамической устойчивости песчаных грунтов оснований.

Анализ собственных исследований и исследований других крупных отечественных и зарубежных ученых, проведенный профессором П.Л. Ивановым, показывает, что при относительной плотности $I_D \geq 0{,}6$ песчаный грунт основания практически гарантирован от воздействия любых динамических и, тем более, статических воздействий. Он практически не реагирует даже на взрыв.

Однако в последние годы в связи с катастрофическими землетрясениями, приведшими, в частности, к разрушению атомной электростанции и экологической катастрофе в Японии и повреждению различных объектов в других странах, некоторые радикальные российские ученые высказывают требования о необходимости уплотнения песчаных оснований до близких к единице значений I_D.

При этом не учитывают фактор значительного возрастания трудоемкости и стоимости уплотнения оснований, а также возможность применения других мероприятий, направленных на повышение надежности оснований и фундаментов: создание экранов в грунтах оснований для сейсмической защиты зданий и сооружений, устройство сейсмоизолирующих фундаментов зданий [11, 24, 25].

В первом приближении (без проведения виброкомпрессионных испытаний грунтов исследуемого основания на заданную динамическую нагрузку) оценка должна основываться на результатах исследований, которые регламентируют величину относительной плотности грунтов песчаного основания: $I_D \geq 0,6$.

В реальных условиях при полном разжижении слоя грунта на всю глубину осадки рыхлых оснований могут достигать от нескольких десятков сантиметров до метра и более.

Кроме того, следует иметь в виду, что в песчаных грунтах оснований за счет развития структурных связей максимальный прирост величин при зондировании в течение более 10 лет может достигать 2—2,5 раз, что может давать ложное представление об истинной плотности. При этом первый цикл сейсмодинамического воздействия будет переводить слежавшийся прочный грунт с многолетними структурными связями в исходное рыхлое состояние по плотности, а последующие — к разжижению грунта основания и внезапной потере несущей способности грунтов в основании зданий и сооружений.

С учетом вышеизложенного в зоне строительства комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений по предложению автора статьи были проведены сравнительные исследования с использованием различных методов зондирования по оценке свойств и плотности подводной укладки песчаных грунтов основания.

Испытания по статическому зондированию и виброзондированию велись с привлечением Санкт-Петербургского треста инженерно-геологических изысканий, а по ударному зондированию — 19-й экспедиции института «Ленгидропроект». Работы по взрывному зондированию осуществлялись одной из военных частей.

Опытные исследования

Сравнительные опытные исследования различных методов зондирования грунтов основания проводились на отсыпанной песчаной дамбе, предварительно уплотненной взрывами глубинных зарядов массой 5—7 кг при глубине заложения в грунты песчаного основания 4,5—6 м.

Уплотнение осуществлялось в основном более эффективным способом последовательного взрывания одиночных зарядов в каждой очереди [7]. Единственный участок в опытных работах при сравнительных испытаниях различных способов взрывания зарядов был уплотнен по схеме одновременного взрывания всех зарядов в каждой очереди.

На этом участке при глубине подводной отметки 5,5 м масса заряда составляла 6 кг при глубине заложения 4,5—5,5 м. Полученные средние осадки поверхности песчаного основания после каждой очереди взрывов составляли 5,6 см после первой очереди взрывов, 6 и 4,9 см соответственно после второй и третьей, 4,2 см после четвертой. Окончательная суммарная осадка после взрывов равнялась 21,1 см.

По данным статического зондирования установкой СП-59 на этом участке основания значение $q_з$ (сопротивление внедрению острия зонда) до уплотнения составляло 2 МПа, после уплотнения — 6 МПа.

На момент проведения испытаний отметка верха отсыпки составляла плюс 1—2 м выше ординара, а подводной — минус 5—7 м. Испытания по зондированию основания проводились через 1—3 месяца после взрывного уплотнения.

Гранулометрический состав песков, уложенных в тело дамбы, отражен на рис. 1.

По лабораторным определениям плотность сухого грунта в рыхлом сложении составляла $\rho_{d\,\text{рыхл}}$ = 1,46—1,52 г/см^3, а в плотном $-\rho_{d\,\text{плотн}}$ = = 1,78—1,83 г/см^3.

Для выполнения работ по сравнительным испытаниям различных механических методов зондирования были выбраны три площадки песчаного основания по длине дамбы, на которых проводились статическое зондирование установками СП-59 и «ПИКА-10», бурение скважин, вибро- и ударное зондирование. Причем на первом этапе испытаний использовались статические методы оценки свойств грунтов песчаного основания, а на втором — динамические при максимально возможном удалении мест их проведения на принятой схеме испытаний. Это позволило ограничить влияние динамических воздействий на изменение характеристик грунтов песчаного основания при небольшом расстоянии «точек» испытаний одна от другой.

Глубина зондирования и бурения скважин при всех испытаниях составляла 10 м.

В качестве характерного примера на рис. 2 и 3 приведены данные, полученные на одном из участков.

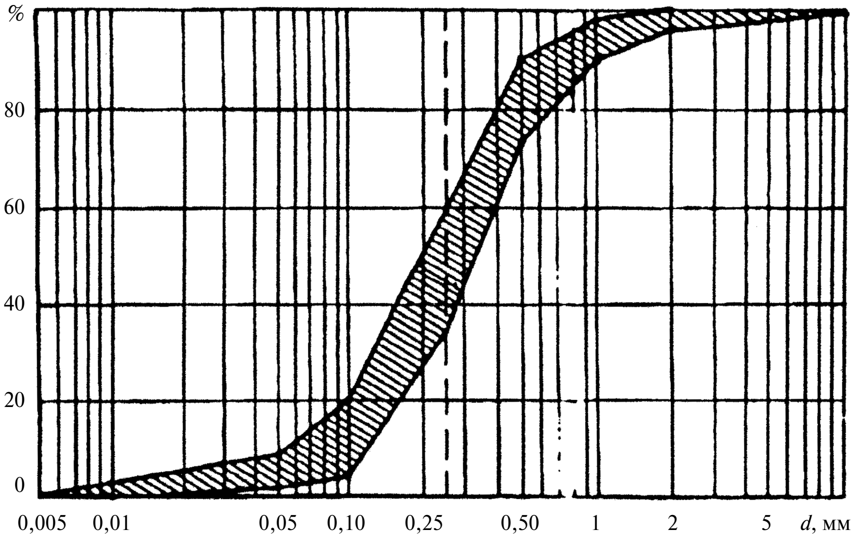

Рис. 1. Гранулометрический состав уложенного грунта в тело дамбы по данным отбора проб грунта из буровых скважин

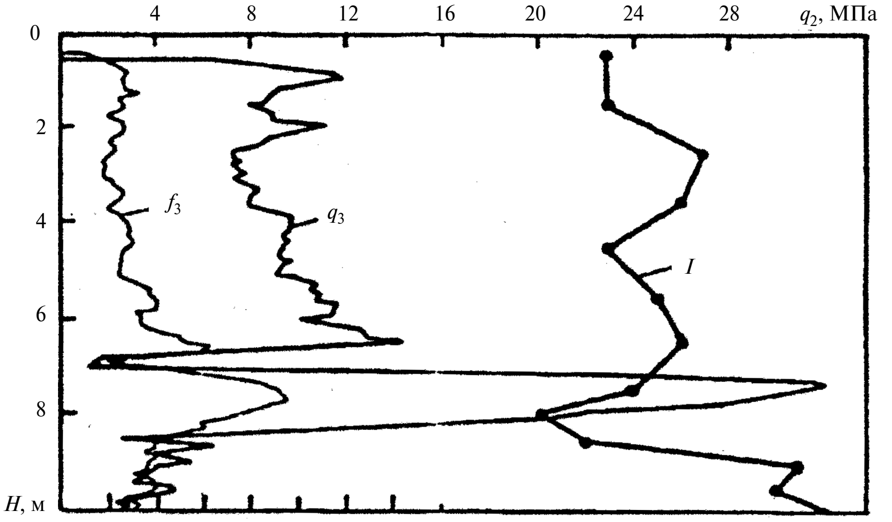

Рис. 2. График (по глубине *H*) статического зондирования установкой «ПИКА-10»:

$q_з$ — сопротивление внедрению острия зонда; $f_з$ — сопротивление трению на муфте зонда; *I* — данные измерения естественного гамма-излучения грунтов

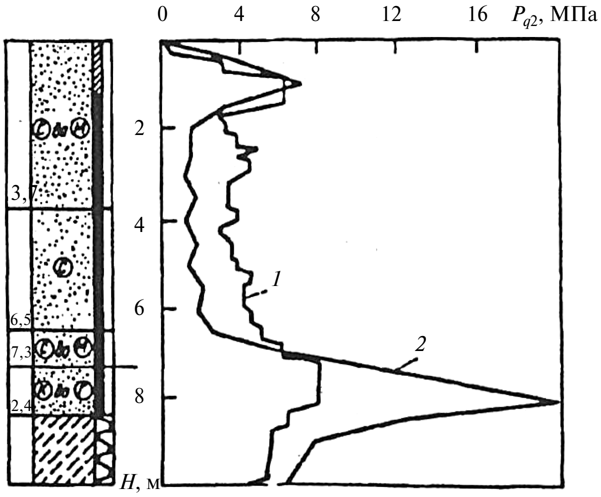

Рис. 3. Данные бурения скважин в грунтах основания и динамического зондирования песчаного основания: *1* — ударное; *2* — вибрознондирование; С — песок средний; М, К и Г — соответственно песок мелкий, крупный и гравелистый

В целом при статическом зондировании установкой СП-59 и «ПИКА-10» сопротивление погружению зонда $q_з$ на всех участках песчаного основания составило от 8 до 18 МПа.

Для сравнения использовались данные зондирования и данные непосредственного отбора образцов грунта, полученные из песчаной подушки в основании водопропускного сооружения.

Пробы грунта отбирали после водопонижения котлована. По данным образцов среднее значение плотности сухого грунта ρ_d составило 1,55 г/см^3. Статическое зондирование установкой СП-59, проведенное в песчаной подушке до процесса ее уплотнения взрывами, дало значение $q_з = 2$ МПа.

Анализ результатов испытаний

Проведем анализ в соответствии с действующими нормами СП 11–105–97 на инженерно-геологические изыскания для строительства.

В проведенных испытаниях получены достаточно близкие результаты статического зондирования песчаного основания при использовании установок СП-59 и более современной «ПИКА-10» конструкции НИИОСП (см. рис. 2).

Согласно СП 11–105–97 для песков мелкой и средней крупности независимо от влажности значение $q_з$ должно находиться в диапазоне от 4 до 15 МПа для их уплотнения до средней плотности.

Принимая здесь и далее зависимость между сопротивлением погружению зонда ($q_з$ или $p_д$) и показателем плотности укладки песков I_D линейной, имеем (при сопротивлении внедрению острия статического зонда 8–18 МПа) достигнутое $I_D = 0,45–0,76$. Полученные значения $q_з$ до и после уплотнения свидетельствуют об увеличении модуля деформации песчаных грунтов E с 6–12 до 24–54 МПа, а угла внутреннего трения φ — с 26–28 до 36–38°.

Как известно, установка типа «ПИКА» позволяет расширить диапазон определяемых величин и увеличить их достоверность. Последнее, в частности, относится к определению сил трения $Q_з$ не по всей длине боковой поверхности зонда, в пределах всего слоя испытываемого основания, как это имеет место в установке СП-59, а дифференцированно по слоям основания — на муфте трения $f_з$.

Данные по $f_з$, (см. рис. 2) свидетельствуют о равномерной плотности укладки грунтов по глубине основания после уплотнения.

В результате динамического зондирования основания (см. рис. 3) зафиксировано снижение сопротивления внедрению зонда $p_д$ до 4–7 МПа при ударном и до 1–3 МПа при вибрознондировании по сравнению с данными статического зондирования.

В соответствии с СП 11–105–97 для песков мелких и средней крупности значение $p_д$ должно составлять от 1,6 до 9,8 МПа, чтобы достичь средней плотности. Для полученного $p_д$ при ударном зондировании (см. рис. 3), равного 4–7 МПа, показатель плотности $I_D = 0,43–0,55$, что свидетельствует (также согласно СП 11–105–97) об увеличении E до 23–42 МПА и φ до 32–37°. Эти результаты вполне приемлемо согласуются с данными статического зондирования.

К тому же полученные данные ударного зондирования основания достаточно хорошо согласуются с СП 11–105–97 по определению вероятности разжижения песков при динамических нагрузках. Так, по СП 11–105–97 для установления, что «разжижение песков практически невозможно», $p_д$ должно быть более 3,8 МПа при минимальных значениях более 1,6 МПа.

Учитывая идентичность операций по взрывному зондированию [1–4] и опытному уплотнению на участке одновременного взрывания зарядов, данные осадок поверхности песчаного основания последней очереди взрывов были использованы в качестве данных зондирования.

По данным о средних осадках в четвертой очереди взрывов, равных 4,2 см, и мощности слоя техногенных песков основания, равного на этом участке 5,5 м, находим, что относительная осадка слоя песчаного основания составляет 0,76 %. Таким образом, согласно [4] грунты могут быть характеризированы как средней плотности с устойчивой структурой, у которых разжижение основания маловероятно.

Отметим также, что превышение осадок поверхности основания во второй очереди взрывов над первой (соответственно 6 и 5,6 см) можно объяснить наличием сформировавшихся структурных связей в грунтах песчаного основания в период между завершением этапа отсыпки и началом уплотнения грунтов тела дамбы. Данный временной разрыв составил около 1–1,5 года.

Подтверждением сказанному могут служить данные по уплотнению песчаного тела дамбы в основании скоростной автодороги двухмассной тяжелой трамбовкой.

До начала процесса уплотнения тела дамбы двухмассной трамбовкой на всем протяжении длины дамбы было произведено взрывное зондирование грунтов песчаного основания подводной зоны укладки. Результаты геодезической съемки показали, что осадки грунта песчаного основания вокруг места взрыва не превышали 3–6 см, т. е. около 1–1,5 % высоты исследуемой толщи песка основания.

Полученные данные свидетельствовали о том, что пески в целом по глубине слоя песчаного основания имели среднюю плотность сложения, что было подтверждено данными статического зондирования. При этом данные статического зондирования показали, что в придонной зоне основания в слое толщиной около 1,5–2,5 м пески находились в рыхлом сложении, при котором сопротивление внедрению острия зонда $q_з$ не превышало 2–4 МПа.

Однако в результате взрывного зондирования пески по всей толще укладки перешли в рыхлое сложение, при котором сопротивление внедрению острия зонда $q_з$ не превышало 2 МПа.

После уплотнения двухмассной трамбовкой по данным статического зондирования сопротивление внедрению острию зонда $q_з$ увеличилось от среднего сложения, которое было до уплотнения, до 14–20 МПа по всей глубине уплотняемой толщи песчаного основания, что свидетельствует об увеличении относительной плотности до I_D = 0,64–0,82 и очень значительном уплотнении.

При общей осадке поверхности основания 21,1 см на участке дамбы, уплотненной способом одновременного взрывания зарядов, с учетом начальной (до взрывного уплотнения) плотности укладки, равной 1,55 г/см^3, получаем ρ_d = = 1,61 г/см^3. Это соответствует относительной плотности I_D = 0,42.

По данным статического зондирования песчаного основания на этом участке при $q_з$ = = 6 МПа относительная плотность составляет 0,39.

Сопоставление результатов определения I_D по данным статического зондирования и непосредственным отбором образцов грунта и осадок говорит об их довольно близком совпадении. Хотя все же наблюдается тенденция несколько больших значений I_D при отборе образцов грунта, что свидетельствует о некоторой нелинейности в зависимости между $q_з$ и I_D.

В целом для нахождения соотношения между $q_з$ ($p_д$) и I_D (ρ_d) должна быть построена их полная корреляционная зависимость в достаточно широком рабочем диапазоне.

Для этого, в частности, можно использовать специальный бак, предложенный при участии автора статьи. Данный бак устанавливается где-то вблизи строительной площадки вглубь грунта. В него слоями отсыпается испытываемый песок с уплотнением и контролем. После полного заполнения бака производится его медленное водонасыщение с последующим заездом на него установки, например СП-59, и проведения операции зондирования. Эта операция повторяется для различных плотностей укладки грунтов.

Подведем итоги.

Впервые проведенные автором статьи сравнительные испытания всех известных косвенных методов для оценки плотности уплотненных водонасыщенных песчаных грунтов оснований в практически равных условиях свидетельствуют о возможности их применения для указанных целей.

Для оценки качества уплотнения песчаных грунтов в надводной зоне основания должен применяться метод «режущего кольца», а в подводной зоне — взрывной метод, статическое (или ударное) зондирование, которые должны сочетаться с непосредственным отбором образцов грунта.

Взрывным методом зондирования можно также определить возможные осадки слоя грунта песчаного основания и динамическую устойчивость структуры к процессу разжижения при действии сейсмодинамических нагрузок, а статическим (или ударным) зондированием — установить закономерности уплотнения грунтов основания по толщине уплотняемого слоя.

Для окончательной оценки достигнутой плотности укладки песков основания по данным статического или ударного зондирования должна быть построена корреляционная зависимость между параметрами статического $q_{\text{з}}$ ($Q_{\text{з}}$) или ударного $p_{\text{д}}$ зондирования и плотностью ρ_d (степенью плотности I_D).

При предварительной оценке плотности песчаных оснований по данным зондирования должен учитываться фактор увеличения прочности грунтов за счет развития в них структурных связей во времени, искажающих истинное значение плотности песчаных грунтов оснований в сторону мнимого увеличения. Данный фактор должен учитываться при длительности укладки грунтов основания более 1–1,5 лет.

Для уплотнения мощных слоев грунтов оснований должны применяться глубинные методы динамического уплотнения, прежде всего тяжелыми трамбовками, взрывами и виброуплотнителями типа «елочка».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. **Florin V.A., Ivanov P.L.** Liquefaction of Saturated Sandy Soils. *Proceedings of the Y International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering,* Paris, 1961. Vol. 1. P. 182–186.

2. **Ivanov P.L.** Compaction of Cohesioniess Soils by Expiosives. *Proceedings of the YI Internachional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Monreal, 1966. Vol. 3. P. 352–354.

3. **Ivanov P.L., Krasnikov N.D.** Charge Expision Sounding of Saturated Cohesionliss Soils. *YI Simposium on Earthquake Engineering: University of Roorkee.* 1978. Vol. 1. P. 151–156.

4. **Ivanov P.L.** Consolidation of Saturated Soils by Explosions. *International Conference on Compaction. Paris*, 1980. Vol. 1. P. 331–337.

5. **Minaev O.P., Savinov O.A.** Prospect for the use heavy-duty dual-mass tampers for the compaction of soils. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 1990. Vol. 27(4). P. 145–150.

6. **Minaev O.P., Savinov O.A.** Improvements to longitudinal-vibration apparatus for compacting sandy soils. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 1991. Vol. 28 (1). P. 16–18

7. **Minaev O.P.** Effective methods of compaction of water-saturated soils by blasting. Soil *Mechanics and Foundation Engineering*. 1993. Vol. 30 (2). P. 53–56.

8. **Minaev O.P., Krutov A.P.** Development of a method of compacting saturated sand soil by blasts under winter conditions. *Hydrotechnical Construction*. 1993. Vol. 7. P. 43–46.

9. **Minaev O.P.** Evaluation of the quality of compacting water-saturated sands by sounding. *Soil Mechanics and Foundation Engineering.* 1994. Vol. 31 (4). P. 141–144.

10. **Minaev O.P.** Prospekt of using dunamic compaction when placing ash materials and preparing bases ash dumps. *Hydrotechnical Construction. 1*995. Vol. 29(12). P. 707–712.

11. **Minaev O.P.** Effective method of dynamic compaction slightly cohesive saturated soils. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2002. Vol. 39 (6). P. 208–213.

12. **Minaev O.P.** Modernized vibratory device for deep compaction of sandy soils. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2003. Vol. 40 (6). P. 220–222.

13. **Minaev O.P.** Development of vibratory method for soil compaction during construction. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2011. Vol. 48 (5). P. 190–195.

14. **Minaev OP.** Development of Dynamic Methods for Deep Compaction of Slightly Cohesive Bed Soils. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2014. Vol. 50(6). P. 251–254.

15. **Seed H.B., Idriss I.M.** Ground motions and soil liquefaction during earthquakes. Monograph. USA, Oakland, C.A.: Earthquake Engineering Research Institute, 1982. 320 p.

16. **Seed H.B., Idriss I.M.** Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. *Soil Mechanics and Foundation Division*. 1971. Vol. 97 (SM9). P. 1249–1273.

17. **Idriss I.M., Boulanger R.W.** Soil liquefaction during earthquakes: Monograph. USA, California: EERI, 2008. 240 p.

18. **Ishihara K.** Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics: Monograph. USA, Oxford, Clarendon Press: Department of Civil.: Engineering Science University of Tokyo, 2006. 384 c.

19. **Ishihara K.** New challenges in Geotechnique for ground hazads due to intensely strong earthquake shaking. *Geotechnical, Geological and Eathquake Engineering*. 2009. 11. P. 91–114.

20. **Ishihara K., Araki K., Toshiyuki K.** Liquefaction in Tokyo Bay and Kanto Regions in the 2011 Great East Japan Earthquake. *Geotechnical, Geological and Eathquake Engineering*. 2014. Vol. 28. P. 93–140.

21. **Ilichev V.A., Stavnitser L.R., Shiskin V.Ya.** Reduction of foundation vibration after bed strengthening with cast-inplace sand. Soil *Mechanics and Foundation Engineering*. 1995. Vol. 32(3). P. 92–94.

22. **Stavnitser L.R.** Prediction of accumulation of seismic deformation of bases. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 1992. Vol. 29 (6). P. 187–191.

23. **Uzdin A.M., Belash T.A., Blekhman I.I.** On the heritage of Professor O. A. Savinov. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2011.Vol. 48(5). P. 182–189.

24. **Uzdin A.M., Freze M.V.** Effectiveness of ground shields as seismic protection for building and structures. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2011. Vol. 48 (1). P. 24–27.

25. **Uzdin A.M., Doronin F.A., Davydova G.V., Avidon G.È., Karlina E.A.** Performance analysis of seismic-insulating kinematic foundations on support elements with negative stiffness. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2011. Vol. 46 (3). P. 99–107.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

МИНАЕВ Олег Петрович — кандидат технических наук докторант Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29. E-mail: minaev.op@bk.ru

AUTHORS

MINAEV Oleg P. — St. Petersburg State Polytechnical University. 29, Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia. E-mail: minaev.op@bk.ru