

doi: 10.5862/MCE.51.8

## Выбор и использование метода уплотнения песчаных оснований и сооружений

*К.т.н., докторант О.П. Минаев,  
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследований по выбору метода и основных параметров вибродинамического глубинного уплотнения намывных (и насыпных) песчаных грунтов оснований и данные практического опыта по широкомасштабному апробированию основных их положений в натуральных условиях. Основным фактором при выборе метода вибродинамического глубинного уплотнения песчаных грунтов оснований принимается величина вибродинамического воздействия, необходимая для достижения заданной глубины уплотнения основания.

Результаты практического применения разработанного обоснования для выбора метода и основных параметров глубинного уплотнения основания виброустановкой продольного вибрирования с пространственным уплотнителем типа «елочка» были подтверждены опытными испытаниями по уплотнению мощного 9-метрового слоя грунта тела песчаной дамбы в основании скоростной автодороги и на других объектах.

Приведенные в статье данные практического опыта свидетельствуют о значительном уплотнении песчаных оснований эффективными способами, разработанными автором, до относительной плотности, соответствующей в основном плотному сложению.

**Ключевые слова:** песчаные грунты основания; вибродинамические методы уплотнения; вибродинамическое воздействие; глубина уплотнения; гранулометрический состав; плотность; относительная плотность; модуль упругости грунтов; угол внутреннего трения грунтов; плотное сложение

### Введение

Как отмечают отечественные и зарубежные ученые, известные специалисты в области вибродинамического уплотнения грунтов оснований и сооружений, уплотнение грунтов является эффективным способом улучшения физико-механических свойств оснований в грунтовых сооружениях. Уплотнение грунтов производится наиболее известными на практике взрывным методом [1–7], глубинными виброуплотнителями [8–10] и тяжелыми трамбовками [11–14].

Уплотнение позволяет существенно увеличить несущую способность, уменьшить осадку основания и крутизну откосов грунтовых сооружений, сократить фильтрацию как в пределах всего сооружения, так и через отдельные его элементы, обеспечить устойчивость структуры грунтов при воздействии динамических (сейсмических, волновых, фильтрационных и т. п.) нагрузок и тем самым повысить надежность и экономичность сооружений.

При динамическом воздействии на слабосвязные, в том числе песчаные водонасыщенные, грунты имеют место два ярко выраженных процесса: вначале происходит их разжижение, а затем гравитационное уплотнение.

Задача по подготовке песчаных грунтов оснований актуальна для возведения дамб и грунтовых плотин в гидроэнергетическом строительстве, при устройстве оснований на намывных территориях для гражданского и промышленного строительства, в мостостроении, в дорожном и других видах строительства.

Основная цель данной работы состоит в обосновании выбора метода и основных параметров вибродинамического уплотнения песчаных грунтов оснований для возведения зданий и сооружений, а также в разработке эффективных способов уплотнения.

По многолетним исследованиям автора статьи (см. например [15–18]), имеющих объем практического внедрения более 10 млн. м<sup>3</sup> грунтов оснований и сооружений, в качестве основных методов динамического глубинного уплотнения водонасыщенных песчаных грунтов оснований могут быть применены взрывной метод (в том числе в зимних условиях) и метод поверхностного трамбования.

При этом уплотнение поверхностного слоя маловлажных (влажных) песчаных грунтов основания и песчаных грунтов при наращивании насыпи должно осуществляться методом послойного виброуплотнения виброкатками при интенсивном увлажнении песка.

Минаев О.П. Выбор и использование метода уплотнения песчаных оснований и сооружений

При наличии поверхностного слоя маловлажных (влажных) песчаных грунтов оснований толщиной слоя более 1,5–2 м следует применять метод глубинного виброуплотнения сразу на всю глубину уплотняемого песчаного основания при насыщении маловлажного слоя песка водой непосредственно в процессе его виброуплотнения.

При этом запрещается применять метод глубинного виброуплотнения при наличии в основании песчаных грунтов коренных пород, сложенных глинистыми грунтами текучей или текучепластичной консистенции. Ввиду высокочастотного вибрационного воздействия на данные грунты существует реальная опасность потери их структурной прочности.

### *Постановка задачи*

В настоящее время выбор конкретного метода вибродинамического уплотнения и основных параметров уплотнения песчаных грунтов оснований ведется в основном на базе известного практического опыта. Кроме того, известные ученые и специалисты, созданные ими научные школы и специализированные фирмы (в основном за рубежом) сосредоточены на разработке одного метода уплотнения [1–14].

Отсутствие теоретического обоснования и методики выбора конкретного метода вибродинамического уплотнения и основных его параметров затрудняет подбор наиболее эффективного из них, а также требует обширных экспериментальных исследований в полевых условиях, результаты которых целиком зависят от технических возможностей контрольно-измерительных приборов и аппаратуры и интерпретации полученных данных контроля. Кроме того, представляет трудности сравнение необходимых параметров уплотнения оснований на стадии ТЭО (ТЭР) проекта.

Целью настоящей работы является проведение исследований для выбора метода и основных параметров вибродинамического глубинного уплотнения намывных (или насыпных), в том числе под воду, песчаных грунтов оснований на коренные породы подстилаемого основания для возведения на них капитальных зданий и сооружений. Ставилась также задача внедрить разработанную методику для выбора метода глубинного уплотнения заданного песчаного основания.

Практическое применение выбранного метода было рассмотрено на примере виброуплотнения грунтов оснований пространственным уплотнителем продольного вибрирования.

Данный уплотнитель включает в себя трубчатую штангу, которую с целью повышения производительности путем увеличения радиуса действия уплотнителя вдоль ее длины снабжают радиальными элементами для придания уплотнителю пространственной структуры [8, 9].

Пространственная структура представляет собой многоярусную систему, напоминающую «елочку». Для искусственного насыщения водой уплотняемого грунта основания непосредственно в процессе работы уплотнителя трубчатая штанга снабжена в нижнем конце соплом и патрубком в верхней части для подачи воды под давлением в грунт основания.

Собранная вибрационная установка, включающая в себя вибропогружатель и уплотнитель, подвешивается на крюке крана.

Впоследствии данный метод уплотнения получил развитие, в частности, путем принципиального совершенствования конструкции виброуплотнителя, облегчающего работу вибропогружателя и повышающего его надежность, а также увеличивающего глубину уплотнения и улучшающего процесс уплотнения грунтов основания. Его суть заключается в размещении пространственных элементов только в нижней части штанги уплотнителя на заданной высоте уплотнения основания [19].

### *Теоретическое обоснование*

В качестве основного фактора при выборе различных вибродинамических методов глубинного уплотнения оснований автором статьи принимается достигаемая глубина уплотнения  $h_{\text{упл}}$  основания, которая зависит от величины вибродинамического воздействия.

Величина вибродинамического воздействия определяется максимальным давлением ударной волны или ускорений колебаний на грунты основания.

При уплотнении водонасыщенных песчаных грунтов оснований основным критерием для определения достигаемой глубины уплотнения является критическое значение соотношения  $\Delta_k$  между давлением ударной волны и статическими напряжениями в скелете грунта или ускорений

колебаний грунта  $A_k \omega^2$  на заданной глубине уплотнения основания, которые выражаются зависимостями:

- для динамического уплотнения грунтов оснований методом глубинных взрывов и поверхностного трамбования

$$\Delta_k = \frac{\sigma(p_{\max})}{\sigma(\gamma_{zp})}, \quad (1)$$

где  $\sigma(p_{\max})$  – максимальные давления ударной волны, передающиеся на скелет грунта основания;  $\sigma(\gamma_{zp})$  – вертикальные напряжения в скелете грунта основания на глубине  $Z$  уплотняемого основания, определяемые по формуле:

$$\sigma(\gamma_{zp}) = (\gamma_s - \gamma_w)(1-n) \times Z, \quad (2)$$

где  $\gamma_s$ ,  $\gamma_w$  – удельный вес частиц грунта и воды;  $n$  – пористость грунта основания;

- для виброуплотнения песчаных грунтов оснований

$$A_k \omega^2 = (0,9 \div 1) g, \quad (3)$$

где  $A_k$  – критическая амплитуда вибрации грунтов основания;  $\omega$  – круговая частота колебаний;  $g$  – ускорение свободного падения.

Значение  $\Delta_k$  рекомендуется принимать равным 5–15 для рыхлых песков и 15–30 для песков средней плотности.

Для практических расчетов величина  $\sigma(p_{\max})$  может быть принята равной 0,01 ( $p_{\max}$ ).

Величина максимального давления  $p_{\max}$  ударной волны и амплитуды  $A_0$  вибраций определяются по зависимостям:

- для глубинных взрывов

$$p_{\max} = 60,0 \left( \frac{3\sqrt{C}}{R} \right)^{1,05}, \quad (4)$$

где  $p_{\max}$  – максимальное давление, МПа;  $C$  – масса заряда взрывчатых веществ (ВВ – тротил), кг;  $R$  – расстояние от центра взрыва заряда, м;

- для поверхностного трамбования

$$p_{\max} = 10,0 \left( \frac{\sqrt{Q \cdot H}}{R} \right)^{1,05}, \quad (5)$$

где  $Q$  – вес трамбовки, кН;  $H$  – высота сбрасывания трамбовки, м;  $R$  – расстояние от центра удара трамбовки, м;

- для глубинного виброуплотнения

$$A_0 = A_k e^{\frac{r}{\delta}}, \quad (6)$$

где  $A_0$  – амплитуда вибрации виброуплотнителя на заданной глубине уплотнения основания;  $r$  – расстояние от виброуплотнителя, на котором происходит эффективное виброуплотнение грунтов основанием;  $\delta$  – коэффициент затухания вибрации с расстоянием от источника колебаний, который должен приниматься равным 0,8–0,9 и 0,3–0,4 м для среднего и мелкого песка соответственно.

Расстояние  $r$  определяется из зависимости:

$$D = 2 \left[ r + \frac{d_{ynl}}{2} \right], \quad (7)$$

где  $d_{\text{упл}}$  – диаметр зоны виброуплотнения, принимаемый из практического опыта равным 3 и 2 м для средних и мелких песков соответственно;  $d_{\text{упл}}$  – диаметр пространственного виброуплотнителя вместе с радиальными элементами, м.

Величина амплитуды вибрации виброуплотнителя  $A_o$  на заданной глубине уплотнителя основания определяется по выражению:

$$A_o = \frac{P_o - (P_{\text{тр}}^{\text{дин}} + P_{\text{лоб}}^{\text{дин}})}{(m_g + m_{\text{упл}})(2\pi f)^2}, \quad (8)$$

где  $P_o$  – максимальная вынужденная сила вибропогружателя;  $m_g$  и  $m_{\text{упл}}$  – масса вибропогружателя и виброуплотнителя;  $P_{\text{тр}}^{\text{дин}}$  и  $P_{\text{лоб}}^{\text{дин}}$  – сила динамического сопротивления соответственно трению по боковой поверхности виброуплотнителя и лобовому его вибропогружению, кН.

При вибропогружении вибрирующего элемента в водонасыщенные песчаные грунты основания значение динамического сопротивления трению  $P_{\text{тр}}^{\text{дин}}$  вибрирующего элемента и его лобовому сопротивлению  $P_{\text{лоб}}^{\text{дин}}$  должно приниматься с учетом их снижения по сравнению со статическим сопротивлением трению  $P_{\text{тр}}^{\text{стат}}$  по боковой поверхности виброуплотнителя и лобовому сопротивлению  $P_{\text{лоб}}^{\text{стат}}$  его погружению в соотношениях:

$$P_{\text{тр}}^{\text{дин}} = (4,5 - 6)P_{\text{тр}}^{\text{стат}} \quad (9)$$

и

$$P_{\text{лоб}}^{\text{дин}} = (2,5 - 3)P_{\text{лоб}}^{\text{стат}}. \quad (10)$$

Сила статического трения  $P_{\text{тр}}^{\text{стат}}$  по боковой поверхности виброуплотнителя определяется

$$P_{\text{тр}}^{\text{стат}} = S_{\text{бок}} f_{\text{тр}}, \quad (11)$$

а сила лобового сопротивления погружению виброуплотнителя

$$P_{\text{лоб}}^{\text{стат}} = F R, \quad (12)$$

где  $S_{\text{бок}}$  – площадь боковой поверхности штанги виброуплотнителя с пространственными элементами уплотнителя, м<sup>2</sup>;  $f_{\text{тр}}$  – расчетное статическое сопротивление трению уплотняемого слоя основания;  $F$  – площадь опирания виброуплотнителя на грунт уплотняемого основания;  $R$  – расчетное статическое сопротивление под острием виброуплотнителя на заданной глубине погружения в грунт основания.

Значения  $f_{\text{тр}}$  и  $R$ , кПа, должны определяться по СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты [20].

### Практическое применение

При выборе метода и основных параметров уплотнения считаем, что основание, подлежащее уплотнению, сложено песками средней крупности мощностью слоя 9 м.

Необходимые для расчетов технические характеристики вибропогружателей ВШ-1 и В-402 возьмем из таблицы 1, а уплотнителя ВУУП-6 примем согласно [9].

**Таблица 1. Сравнительные характеристики вибропогружателей В-402 и ВШ-1 конструкции ВНИИГС**

№ п/п	Показатель	Марка	
		В-402, В-402ВЧ (ВПП-2)	ВШ-1 ВШ-1М
1	Номинальная мощность приводного электродвигателя, кВт	55	44 (22 x 2)
2	Статический момент массы дебалансов, кг x см	1200, 600	2500
3	Частота колебаний, Гц	24, 33	13, 16, 20
4	Максимальная амплитуда вынуждающей силы, кН	270,256	400
5	Усилие полного сжатия пружин амортизатора, кН	120	290
6	Тип наголовника	Клиновой, гидравлический	Клиновой, гидравлический
7	Масса вибрирующей (ударной) части, кг	940	3000
8	Общая масса, кг	2710	5000
9	Габаритные размеры, мм: в плане высота	1550 x 1 095 1 980	1280 x 1250 2740

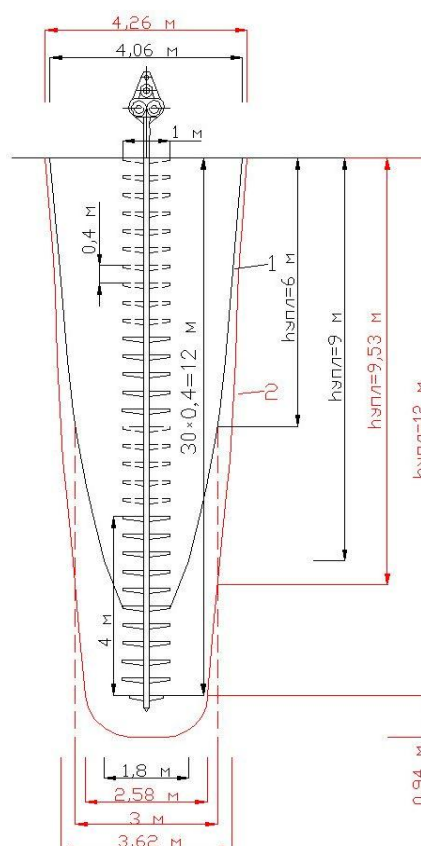
Примечание. ВПП-2, В 402, В 402ВЧ – вибрационные машины; ВШ-1 и ВШ-1М – вибрационные машины с перенастройкой при необходимости на ударно-вибрационный режим

Вначале проверим возможность использования вибропогружателя ВШ-1 с уплотнителем конструкции ВНИИГС для виброуплотнения заданного основания. При этом считаем, что должна быть обеспечена зона уплотнения вокруг уплотнителя диаметром 3 м. В соответствии с проведенными расчетами по зависимостям (6)–(12) достигаемая глубина составит порядка 9 м, что является достаточным для практического осуществления данного метода для виброуплотнения заданного основания.

Проведем сравнительные расчеты для уплотнителя конструкции ВНИИГС, погружаемого вибропогружателем ВПП-2.

Полученные расчетные значения свидетельствуют о том, что при достигаемой глубине уплотнения, равной 6 м, зона уплотнения грунта вокруг «виброелочки» увеличивается с 3 до 4,06 м при приближении уплотнителя к поверхности грунтового основания.

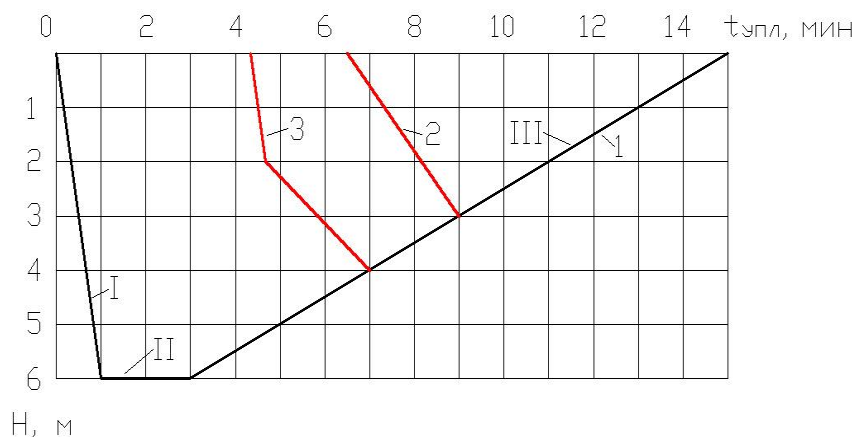
Проведем аналогичные расчеты для виброустановки с модернизированным уплотнителем при сокращении количества пространственных элементов уплотнителя в три раза и построим кривую зоны уплотнения для модернизированного виброуплотнителя. Полученные данные представим кривой на рисунке 1.



**Рисунок 1. Зона уплотнения водонасыщенных песчаных грунтов основания средней крупности на глубину 9–12 м виброустановкой модернизированной конструкции (2) и уменьшение зоны уплотнения грунта и глубины погружения уплотнителя конструкции ВНИИГС (1)**

Из рисунка 1 видно, что глубина уплотнения грунта увеличивается с 6 м у виброустановки конструкции ВНИИГС до 9,53 м при использовании модернизированного уплотнителя при сохранении размеров зоны уплотнения, равной 3 м, для обоих типов уплотнителей при прочих равных параметрах.

Для проведения сравнительных исследований достигаемой плотности грунтов основания в качестве основополагающего был принят график времени воздействия виброустановки конструкции ВНИИГС на грунты основания, а также построенные на его основе временные графики для модернизированной виброустановки, которые приведены на рисунке 2.



**Рисунок 2. Графики времени вибровоздействия на грунты основания: 1 – виброустановкой конструкции ВНИИГС; 2 и 3 – модернизированной виброустановкой при высоте размещения пространственных элементов в нижней части штанги уплотнителя, соответственно равной 1/2 и 1/3 глубины уплотнения; I – стадия погружения уплотнителя; II – выдержки на заданной глубине уплотнения; III – стадия подъема уплотнителя**

Опытные испытания по виброуплотнению песчаных грунтов оснований производились на строительстве комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений.

Первоначально была апробирована виброустановка конструкции ВНИИГС, включающая в себя вибропогружатель ВШ-1 и уплотнитель длиной 11,2 м из толстостенной трубы диаметром 133 мм, к которой по всей длине приварены горизонтальные ребра с шагом до 500 мм. С учетом этих ребер диаметр пространственного уплотнителя составлял 700 мм. Вода к патрубку подавалась насосом с максимальной производительностью 300 м<sup>3</sup>/ч с напором 90 м вод. ст. и возможностью регулирования этих параметров с помощью заслонки, установленной в системе забора воды.

Опытному уплотнению подвергались мелкие и средние пески основания на отсыпанной грунтовой дамбе до отметки около 4 м выше нулевого ординара. При этом глубина подводной отсыпки указанных песков составляла 5 м.

Данные статического зондирования показали, что грунт в целом уплотнялся в радиусе до 2 м от центра уплотнителя на глубину до 9 м.

Наиболее значительное уплотнение водонасыщенных песков ниже ординара происходило вблизи от центра уплотнителя, а уже на расстоянии 0,5 м от него снижалось. При этом в центральной зоне происходил размыв – разрыхление поверхностного слоя песка на глубину 1,5–2 м и более напором воды при вытаскивании уплотнителя. Попытка же прекращения подачи воды при вытаскивании уплотнителя из грунтов песчаного основания приводила к его заклиниванию в грунте.

Однако при дальнейшем уплотнении основания выявилась невысокая надежность этой виброустановки из-за частого выхода из строя вибропогружателя. Поэтому конструкция уплотнителя была видоизменена и проведены новые опытные работы по уплотнению грунтов основания модернизированной виброустановкой на том же участке дамбы.

Сравнение натуральных исследований виброустановки конструкции ВНИИГС и модернизированной конструкции виброуплотнителя производилось при видоизменении конструкции уплотнителя, которое заключалась в срезке верхних горизонтальных ребер и сохранении их только на участке в 3,5–4,5 м в нижней части штанги.



Испытания модернизированного уплотнителя с вибропогружателем ВПП-2 производились при шаге погружения 3х3 м. При этом применялся кран гораздо меньшей грузоподъемности.

По данным статического зондирования глубина уплотнения основания составила 9 м. При этом достигалось более равномерное уплотнение грунта как в центральной части, так и в радиусе 1,5 м. Кроме того, грунт не разрыхлялся в центральной зоне вокруг уплотнителя.

По данным статического зондирования после уплотнения модернизированной установкой сопротивление внедрению острия зонда  $q_3$  повысилось в целом по всей глубине обрабатываемого слоя основания до 9–14 МПа.

Согласно СП 11-105-97 [21] для полученного сопротивления внедрению острия статического зонда достигнутая относительная плотность грунтов основания  $I_D = 0,48...0,64$ . Полученные значения по  $q_3$  до и после уплотнения свидетельствуют также об увеличении модуля деформации песчаных грунтов оснований  $E$  с 6...24 до 27...42 МПа, а угла внутреннего трения  $\varphi$  – с 26...32 до 34...36 градусов.

Полученные данные по  $q_3$  характеризуют мелкие и средние пески как в основном плотные, что обеспечивает устойчивость структуры песчаных грунтов оснований зданий и сооружений при большинстве вибродинамических воздействий.

Виброустановкой с модернизированным уплотнителем, погружаемым вибропогружателем ВПП-2, было произведено уплотнение верхового откоса дамбы в основании скоростной автодороги, уплотнения песчаного заполнителя балластов наплавных ворот судопропускных сооружений и других объектов на строительстве комплекса защитных сооружений (КЗС) Санкт-Петербурга от наводнений. Объем внедрения только на строительстве КЗС составил несколько миллионов кубических метров уплотненного грунта.

### Выводы

1. Проведенные исследования позволили обосновать и разработать методику выбора метода и основных параметров уплотнения песчаных грунтов оснований по величине вибродинамического воздействия для заданной глубины уплотнения основания.

2. Разработанная методика позволяет выбрать конкретный метод и основные параметры уплотнения грунтов основания, сравнить необходимые параметры уплотнения при осуществлении как различных методов уплотнения, так и одного выбранного метода уплотнения оснований.

3. Результаты практического применения данного обоснования для выбора метода и основных параметров глубинного уплотнения основания виброустановкой продольного вибрирования с пространственным уплотнителем типа «елочка» были подтверждены опытными испытаниями по уплотнению мощного 9-метрового слоя грунта тела песчаной дамбы в основании скоростной автодороги и на других объектах.

4. В сравнительных опытных испытаниях применялись вибропогружатели ВШ-1 и ВПП-2 для вибропогружения уплотнителя конструкции ВНИИГС и модернизированной конструкции уплотнителя соответственно. В результате наряду с расчетной глубиной уплотнения был обеспечен расчетный диаметр зоны уплотнения, равный 3 м.

5. Для погружения уплотнителя целесообразно использовать вибропогружатель ВПП-2 (В-402) ввиду сравнительно небольшой его стоимости и высокой надежности при работе с усовершенствованным уплотнителем. При этом рекомендуется применять модернизированный виброуплотнитель для уплотнения песчаных грунтов оснований и сооружений при толщине слоя, подлежащего уплотнению, от 3 до 12 м.

6. Уплотнение грунтов оснований и сооружений выбранным методом было осуществлено в значительном объеме на строительстве комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений. В результате уплотнения было достигнуто в основном плотное сложение грунтов.

## Литература

1. Florin V.A., Ivanov P.L. Liquefaction of Saturated Sandy Soils // Proceedings of the V International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. 1961. Vol. 1. Pp. 182–186.
2. Ivanov P.L. Compaction of Cohesionless Soils by Explosives // Proceedings of the VI International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. 1966. Vol. 3. Pp. 352–354.
3. Ivanov P.L., Krasnikov N.D. Charge Explosion Sounding of Saturated Cohesionless Soils // VI Symposium on Earthquake Engineering. 1978. Vol. 1. Pp. 151–156.
4. Ivanov P.L. Consolidation of Saturated Soils By Explosions// International Conference on Compaction. 1980. Vol. 1. Pp. 331–337.
5. Dembicki E., Kisielowa N., Nowakowski N., Nowakowski Z. Dynamic Consolidation of Mud Soils by Means of Blasting Changes // International Conference on Compaction. 1980. Vol. 1. Pp. 295–299.
6. Dembicki E., Kisielowa N., Nowakowski H., Osiecimski R. Compaction of Sandy Marine Subsoil by Means of Blasting // International Conference on Compaction. 1980. Vol. 1. Pp. 301–305.
7. Иванов П.Л. Уплотнение несвязных грунтов взрывами. М.: Недра, 1983. 230 с.
8. Цейтлин М.Г. Верстов В.В. Азбель Г.Г. Вибрационная техника и технология в свайных и буровых работах. Л.: Стройиздат, 1987. 262 с.
9. Зубков В.М., Ковалевский Е.Д., Анисимов В.М. Способ глубинного уплотнения песчаных оснований // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1983. №2. С. 6–7.
10. Бейтныш Г.Р., Булгаков Б.А., Цельминш В.В. [и др.] Опыт гидровиброуплотнения рыхлых песчаных грунтов и строительства на них // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1988. №5. С. 3–5.
11. Hamidi B., Varaksin S., Nikraz H. Implementation of Optimized Ground Improvement Techniques for Giga Project. Geoshanghai 2010 // Conference ASCE Geotechnical Special Publication: Ground Improvement and Geosynthetics, Shanghai, 3-5 June. 2010. No. 207. Pp. 87–92.
12. Hamidi B., Yee K., Varaksin S., Nikraz H., Wong L.T. Ground Improvement in Deep Waters Using Dynamic Replacement // 20<sup>th</sup> International Offshore and Polar Engineering Conference, Beijing, 20–26 June. 2010. Pp. 848–853.
13. Hamidi B., Varaksin S., Nikraz H. Predicting Menard Modulus Using Dynamic Compaction Induced Subsidence // International Conference on Advances In Geotechnical Engineering (Icage), Perth, 7-11 November. 2011. Pp. 221–226.
14. Varaksin S., Hamidi B. Pressuremeter for Design and Acceptance of Challenging Ground Improvement Works // 18<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Works (18<sup>th</sup> ICSMGE), Parallel Session: Isp6 – Pressure, Paris, 2-6 September. 2013. Pp. 356–363.
15. Минаев О.П. Эффективный метод взрывного уплотнения оснований гидротехнических сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2014. №6(50). С. 32–39.
16. Минаев О.П. Тяжелые трамбовки нового поколения для уплотнения водонасыщенных грунтов оснований // Вестник гражданских инженеров. 2014. №4(45). С. 66–72.
17. Минаев О.П. Развитие виброметода уплотнения грунтов в строительстве // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2011. №5. С. 18–21.
18. Минаев О.П. Разработка динамических методов глубинного уплотнения слабосвязных грунтов оснований // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2013. №6. С. 21–23.
19. Пат. № 2135690 РФ, МКИ Е 02 Д 3/054. Способ глубинного виброуплотнения песчаных грунтов / О.П. Минаев, Ю.К. Севенард, Е.М. Перлей, А.И. Соснин. Заявл. 13.03.1998г., Опубл. В Б.И. 27.08.98, №24.
20. СП 24. 13330.2011. Свайные Фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85.
21. СП 11-105.97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. М.: ПНИИС Госстроя России, 1998. 59 с.

*Олег Петрович Минаев, Санкт-Петербург, Россия*  
Тел. моб.: +7(921)7411535; эл. почта: [minaev.op@bk.ru](mailto:minaev.op@bk.ru)

© Минаев О.П., 2014



doi: 10.5862/MCE.51.8

## The selection and use method of sandy ground compaction

**O.P. Minaev**

*St-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia*  
+79217411535; e-mail: minaev.op@bk.ru

### Key words

sandy foundation soil; dynamic vibration methods of compaction; dynamic vibration exposure; depth of compaction; particle size; density; relative density; the modulus of soil elasticity; the angle of internal friction of soil; dense composition

### Abstract

The article presents the research results on the choice of a method and main parameters of the deep vibrating compaction of sandy fill soil in foundations and practical experience data on large-scale testing of their main provisions in the natural environment. The main factor when choosing a method of the deep vibrating compaction of sandy soils is accepted by the author as a value of the dynamic vibration exposure required to achieve a given depth of the foundation compaction.

The approbation of the choice of the method and the main parameters of the deep foundation compaction using shaker of longitudinal vibration with spatial seal was made by field tests on compaction of a powerful 9-meter soil layer of the sand dam body at the base of a high-speed road, and at other facilities.

These data practical experience indicate a significant compaction of the sandy grounds with an effective method developed by the author to the relative density mainly corresponding to the dense composition.

### References

1. Florin V.A., Ivanov P.L. Liquefaction of Saturated Sandy Soils. *Proceedings of the V International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 1961. Vol. 1. Pp. 182–186.
2. Ivanov P.L. Compaction of Cohesionless Soils by Explosives. *Proceedings of the VI International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 1966. Vol. 3. Pp. 352–354.
3. Ivanov P.L., Krasnikov N.D. Charge Explosion Sounding of Saturated Cohesionless Soils. *VI Symposium on Earthquake Engineering*. 1978. Vol. 1. Pp. 151–156.
4. Ivanov P.L. Consolidation of Saturated Soils By Explosions. *International Conference on Compaction*. 1980. Vol. 1. Pp. 331–337.
5. Dembicki E., Kisielowa N., Nowakowski N., Nowakowski Z. Dynamic Consolidation of Mud Soils by Means of Blasting Changes. *International Conference on Compaction*. 1980. Vol. 1. Pp. 295–299.
6. Dembicki E., Kisielowa N., Nowakowski H., Osiecimski R. Compaction of Sandy Marine Subsoil by Means of Blasting. *International Conference on Compaction*. 1980. Vol. 1. Pp. 301–305.
7. Ivanov P.L. *Uplotneniye nesvyaznykh gruntov vzryvami* [Compaction of cohesionless soils by explosions]. Moscow: Nedra, 1983. 230 p. (rus)
8. Tseytlin M.G. Verstov V.V. Azbel G.G. *Vibratsionnaya tekhnika i tekhnologiya v svaynykh i burovnykh rabotakh* [Vibration engineering and technology in the pile and drilling operations]. Leningrad: Stroyizdat, 1987. 262 p. (rus)
9. Zubkov V.M., Kovalevskiy Ye.D., Anisimov V.M. Sposob glubinnogo uplotneniya peschanykh osnovaniy [A method of sealing deep sandy grounds]. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 1983. No.2. Pp. 6–7.
10. Beytnysh G.R., Bulgakov B.A., Tselminsh V.V. [et al.] Opyt gidrovibroplotneniya rykhlykh peschanykh gruntov i stroitelstva na nikh [Experience of vibrocompaction of loose sandy soils and building on them]. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 1988. No.5. Pp. 3–5.
11. Hamidi B., Varaksin S., Nikraz H. Implementation of Optimized Ground Improvement Techniques for Giga Project. Geoshanghai 2010. *Conference ASCE Geotechnical Special Publication: Ground Improvement and Geosynthetics*, Shanghai, 3-5 June. 2010. No. 207. Pp. 87–92.
12. Hamidi B., Yee K., Varaksin S., Nikraz H., Wong L.T. Ground Improvement in Deep Waters Using Dynamic Replacement. *20th International Offshore and Polar Engineering Conference*, Beijing, 20–26 June. 2010. Pp. 848–853.

13. Hamidi B., Varaksin S., Nikras H. Predicting Menard Modulus Using Dynamic Compaction Induced Subsidence. *International Conference on Advances In Geotechnical Engineering (ICAGE)*, Perth, 7-11 November . 2011. Pp. 221–226.
14. Varaksin S., Hamidi B. Pressuremeter for Design and Acceptance of Challenging Ground Improvement Works. *18<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Works (18<sup>th</sup> ICSMGE)*, Parallel Session: Isp6 – Pressio, Paris, 2-6 September. 2013. Pp. 356–363.
15. Minaev O.P. Effektivnyy metod vzryvnogo uplotneniya osnovaniy gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [An effective method of explosive compaction of hydraulic structures foundations]. *Magazine of Civil Engineering*. 2014. No.6(50). Pp. 32–39. (rus)
16. Minayev O.P. Tyazhelye trambovki novogo pokoleniya dlya uplotneniya vodonasyshchennykh gruntov osnovaniy [Heavy backfill remmers of the new generation for compacting of water-bearing ground of sub-bases]. *Bulletin of Civil Engineers*. 2014. No.4(45). Pp. 66–72. (rus)
17. Minayev O.P. Razvitiye vibrometoda uplotneniya gruntov v stroitelstve [Development vibromethod soil compaction in construction]. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2011. No.5. Pp.18–21. (rus)
18. Minayev O.P. Razrabotka dinamicheskikh metodov glubinnogo uplotneniya slabosvyaznykh gruntov osnovaniy [Development of dynamic methods deep compaction of noncohesive foundation soils]. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2013. No.6. Pp. 21–23. (rus)
19. Pat. № 2135690 RF, MKI Ye 02 D 3/054. *Sposob glubinnogo vibrouplotneniya peschanykh gruntov* [Method of deep sandy soils vibrocompaction] / O.P. Minayev, Yu.K. Sevenard, Ye.M. Perley, A.I. Sosnin. Declared 13.03.1998, published in B.I. 27.08.98, No.24. (rus)
20. *SP 24. 13330.2011. Svaynyye Fundamenty. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIP 2.02.03-85* [Set of rules 13330.2011. Pile foundations. The updated edition. Building code 2.02.03-85]. (rus)
21. *SP 11-105.97. Inzhenerno-geologicheskiye izyskaniya dlya stroitelstva* [Set of rules 11-105.97. Geotechnical investigations for construction]. Moscow: PNIIS Gosstroya Rossii, 1998. 59 p. (rus)

**Full text of this article in Russian: pp. 66–73**