



**VII Международный научно-методический семинар**  
**"ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**  
**И ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ"**

**Секция VI**

**НОВЫЕ ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ,**  
**ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ**

УДК 624.154.33.001.4

Ермашов В.П., Машкарев Д.Г., Кудин Д.П.

**ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ИСПЫТАНИЕ**  
**ВИБРОНАБИВНЫХ СВАЙ ПИРАМИДАЛЬНОЙ ФОРМЫ**

Практика фундаментостроения показывает, что свайные фундаменты являются одним из наиболее применяемых решений в сложных инженерно-геологических условиях. В настоящее время массовое применение получили главным образом забивные железобетонные сваи, что не всегда является оправданным. Зачастую при определенных условиях более экономически эффективным и технически целесообразным является использование набивных свай. Однако, существующие способы их изготовления имеют ряд недостатков, например потребность в крупногабаритных дорогих механизмах, большая энергоемкость технологий, сложность применения в водонасыщенных грунтах и другие.

Альтернативой существующим способам изготовления набивных свай могут стать вибронабивные сваи [1], эффективность их возрастает в сочетании с технологией виброфлотации грунтов. Технология закрепления слабых водонасыщенных грунтов методом виброфлотации позволяет значительно увеличить несущую способность основания, при этом исключается потребность в сложном громоздком обо-

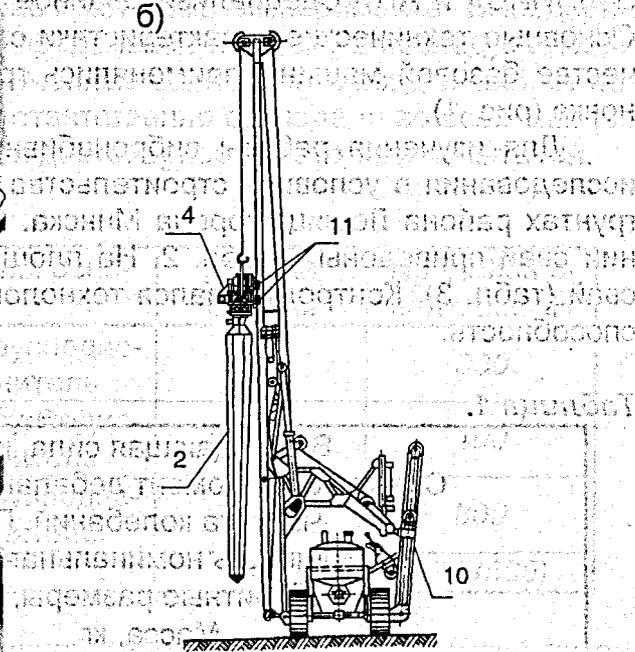
В проведении экспериментов участвовал инж. В. Ю. Кива

рудовании, а также появляется возможность ведения работ в стесненных условиях и при реконструкции зданий и сооружений [2].

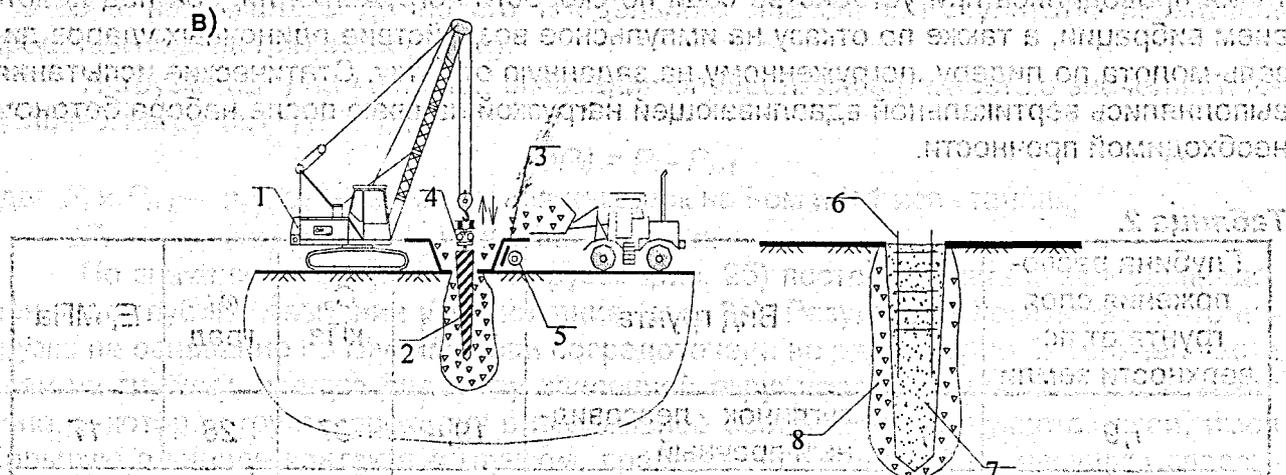
а)



б)



в)



**Рис. 1.**

Виброфлотационный агрегат на базе гусеничного крана (а) и сваебойной установки (б); в) технологическая схема устройства вибронабивной сваи; 1 – базовая машина; 2 – лидер; 3 – вибробункер; 4 – вибропогружатель; 5 – вибратор; 6 – арматурный каркас; 7 – бетонная смесь; 8 – виброуплотненное основание

Технологический процесс устройства вибронабивных свай на основаниях, закрепленных по методу виброфлотации, состоит из следующих основных операций: вибропогружение лидера в грунт; заполнение вибробункера жесткой бетонной смесью; виброфлотация скважины с образованием жестких уплотненных стенок скважины; установка арматурного каркаса; заполнение скважины бетонной смесью с уплотнением.

При устройстве виброфлотационных свай использовано технологическое оборудование, разработанное и изготовленное специалистами НИЭП ГП «Институт БелНИИС» и АП «Специализированное управление механизации №96» г. Минска. Основные технические характеристики силового агрегата В402 даны в табл.1. В качестве базовой машины применялись грузоподъемный кран или сваебойная установка (рис. 1).

Для изучения работы вибронабивных свай произведены экспериментальные исследования в условиях строительства каркасного здания школы на лессовидных грунтах района Лошица города Минска. Основные характеристики грунта в основании свай приведены в табл. 2. На площадке испытанию подвергнуты четыре типа свай (табл. 3). Контролировался технологический процесс устройства и их несущая способность.

Таблица 1.

Вынуждающая сила, кгс	27000
Статический момент дебалансов, кН*м	не менее 1200
Частота колебаний, Гц	$23,8 \pm 1$
Мощность номинальная, кВт	не более 55
Габаритные размеры, мм	1500×1100×2400
Масса, кг	3240

Сваи испытаны на динамическую и статическую нагрузки. Динамические испытания проводились при устройстве свай по скорости погружения лидера под действием вибрации, а также по отколу на импульсное воздействие одиночных ударов дизель-молота по лидеру, погруженному на заданную отметку. Статические испытания выполнялись вертикальной вдавливающей нагрузкой на сваю после набора бетоном необходимой прочности.

Таблица 2.

Глубина расположения слоя грунта от поверхности земли	ИГЭ	Вид грунта	$\gamma_n$ , кН/м <sup>3</sup>	$C_n$ , кПа	$\varphi_n$ , град	$E$ , МПа
1,9	1	суглинок лессовидный прочный	19,4	37	28	17
1,2	2	песок мелкий	16,5	-	32	15
1,7	1	суглинок лессовидный прочный	19,4	37	28	17
4,5	3	суглинок лессовидный средней прочности	20,2	29	29	12
11,8	4	пески гравелистые	19,0	1	39	33
16	5	супесь прочная	22,1	50	29	42

При статических испытаниях определялась осадка и несущая способность свай, а также послойное распределение нагрузки от свай на основание по глубине. Основной аспект методики определения характера распределения нагрузки по глубине состоял в разбивке основания в пределах длины эталонной металлической

сваи на  $n$  слоев и поочередном выключении участков сваи из совместной работы с основанием при фиксации соответствующих нагрузок.

До начала этих испытаний проверялась методика эксперимента. Выполнено три опыта, в которых сваи нагружались до предельной нагрузки с последующей их разгрузкой. При этом экспериментально полученные зависимости осадки сваи от нагрузок и размер их предельных значений соответственно совпадали во всех опытах. Контрольные опыты подтвердили строгость и достоверность методики испытаний.

Таблица 3.

Материал ствола сваи	Способ усиления основания	Длина сваи, м	Предельная нагрузка, кН
Щебень	Вибрация + крупнодисперсный заполнитель	2	300
Щебень	Вибрация + крупнодисперсный заполнитель	4	400
Бетонная смесь	Вибрация + крупнодисперсный заполнитель	4	800
Металл (эталон)	вибрация	4	670 (565)

После стандартного испытания эталонной сваи статической нагрузкой по ее периметру послойно (толщина каждого слоя 400 мм) откапывалась узкая щель, освобождающая участок сваи от контакта с грунтом. Часть сваи, оставленная в грунте, повторно нагружалась до нового предельного значения. Результаты испытаний представлены на графиках (рис.2).

Нагрузка ( $\Delta P_i$ ) на  $i$ -ый слой основания определялась разностью значений предельных нагрузок ( $P_i$  и  $P_{i+1}$ ):

$$(\Delta P_i) = P_i - P_{i+1}$$

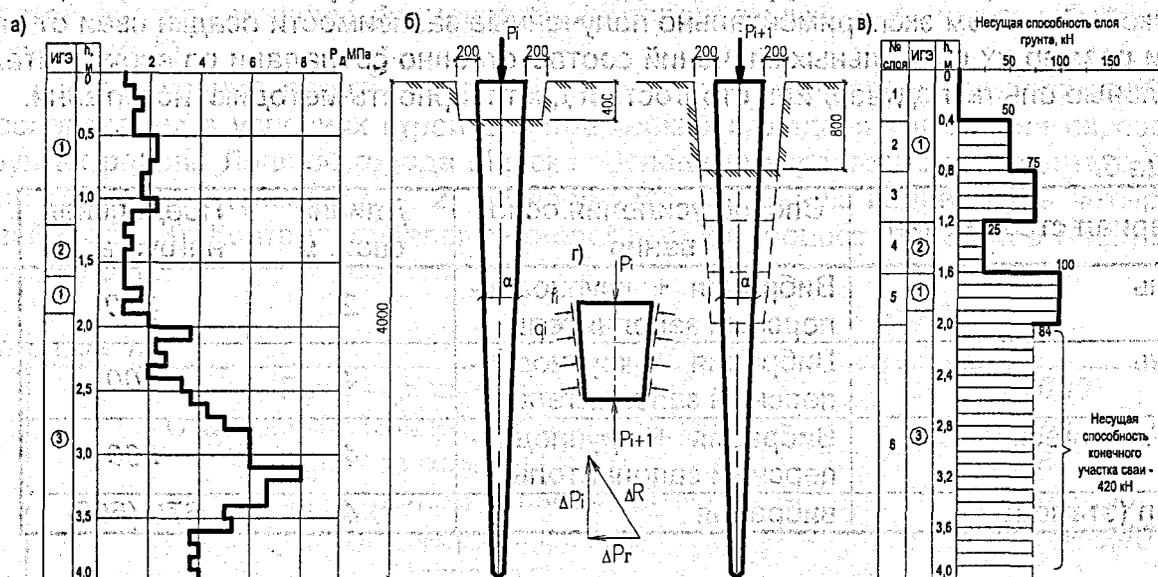
где:  $P_i$  и  $P_{i+1}$  — предельные значения нагрузок на  $i$ -ом и  $i+1$  испытаниях;

$\Delta P_i$  — нагрузка на  $i$ -ый слой основания.

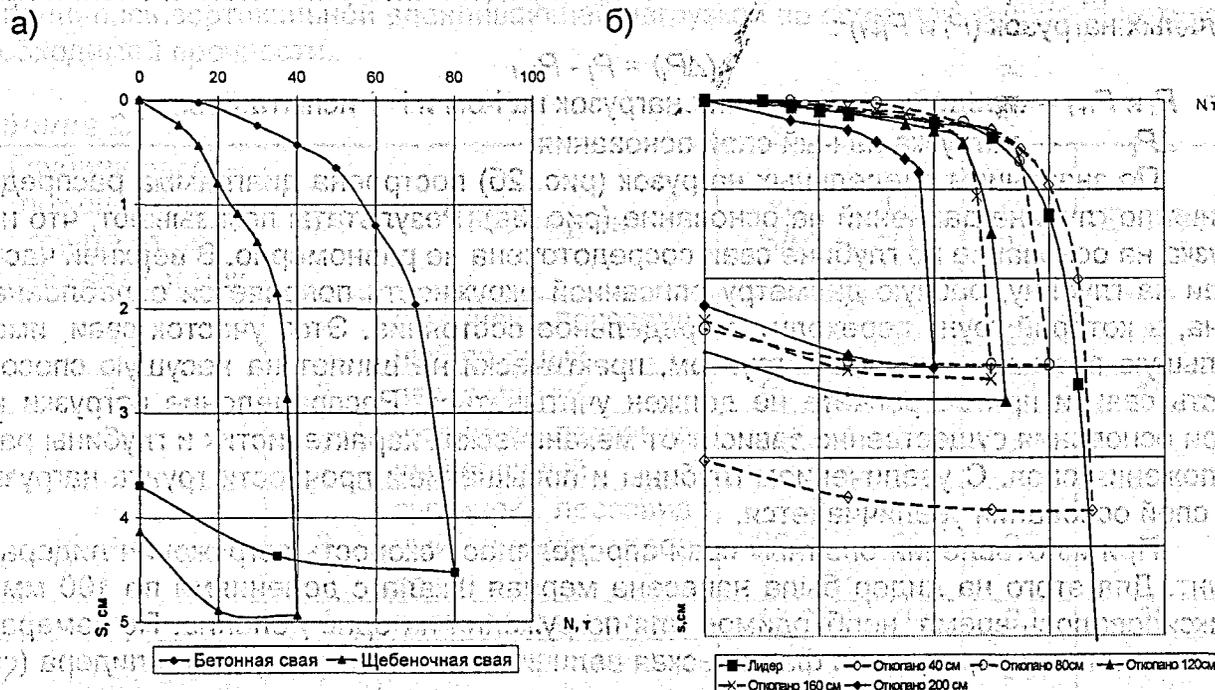
По значениям предельных нагрузок (рис. 2б) построена диаграмма распределения по глубине давлений на основание (рис. 3в). Результаты показывают, что нагрузка на основание по глубине сваи сосредоточена не равномерно. В верхней части сваи на глубину, равную диаметру описанной окружности появляется ослабленная зона, в которой грунт переходит в предельное состояние. Этот участок сваи, имея большую площадь контакта с грунтом, практически не влияет на несущую способность сваи и при ее расчете не должен учитываться. Распределение нагрузки на слои основания существенно зависит от механических характеристик и глубины расположения слоя. С увеличением глубины и повышением прочности грунта нагрузка на слои основания увеличивается.

При изготовлении опытных свай определялась скорость погружения лидера в грунт. Для этого на лидер была нанесена мерная шкала с делениями по 100 мм и фиксировалось время, необходимое для погружения на одно деление. По замеренным значениям определена фактическая величина скорости погружения лидера (см. рис.4).

При изготовлении свай в плотных грунтах скорость формирования лидерной скважины невелика, это объясняется высоким значением сил трения по боковой



**Рис. 2.** Зависимость осадки свай от нагрузки:  
 а) бетонная и щебеночная свая (длина 4 м); б) металлическая свая (эталон)

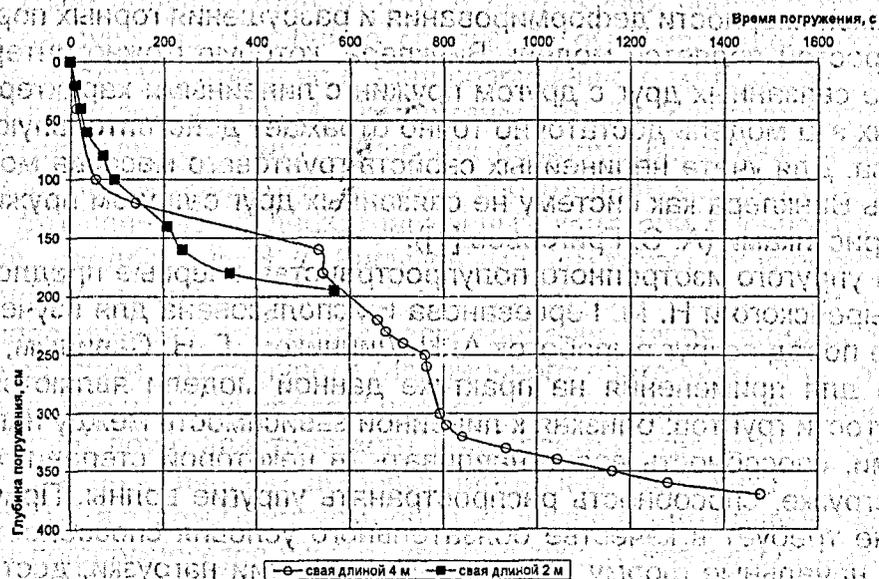


**Рис. 3.** Распределение давления сваи на основание в предельной стадии нагружения: а) диаграмма динамического зондирования основания; б) схема испытаний сваи; в) послойное распределение сил давления сваи на основание; г) участок сваи, воздействующий на элементарный слой основания.

поверхности лидера. При устройстве лидерной скважины сваи № 3, для уменьшения сил трения, была организована подача небольших порций воды. На рис. 4 представлен график зависимости скорости погружения лидера от глубины при формировании скважины глубиной 2 и 4 метра. Вода подавалась при погружении лидера на глубину 160 и 250 см. При этом наблюдается значительное увеличение скорости формирования лидерной скважины.

Сопоставление данных представленных на рис. 4 и рис. 3в свидетельствует о возможной корреляционной зависимости скорости погружения лидера от несущей способности слоев основания. На графиках (рис. 4) можно выделить две характерные стадии: а) стабильного погружения лидера; б) замедленного погружения. На стадии стабильного погружения лидера формируется скважина с упрочнением или вытеснением грунта. Под действием циклических нагрузок интенсивно накапливаются пластические деформации, роль упругих деформаций незначительна. На стадии замедленного погружения с увеличением времени вибрации скорость погружения лидера замедляется, размер пластической деформации значительно уменьшается. Грунт упрочняется и начинает деформироваться упруго. При этом продолжительная вибрация в отдельных случаях вызывала резонансное увеличение амплитуды колебаний, недопустимое для силовой установки.

Натурные испытания показали высокую эффективность применения пирамидальных вибронабивных свай, их несущая способность превысила несущую способность забивных свай, выполненных в аналогичных грунтовых условиях соседней строительной площадки, при этом вибронабивные сваи дешевле забивных.



**Рис. 4.** Зависимость глубины погружения лидера от продолжительности действия вибрации

Для повышения эффективности технологии изготовления вибронабивных свай целесообразно применение более мощных вибропогружателей, с большей амплитудой колебаний.

Устройство вибронабивных свай по технологии виброфлотации возможно при строительстве производственных и гражданских зданий с несущими продольными и поперечными стенами, а также при каркасном исполнении несущих конструкций здания. Присутствие грунтовых вод способствует лучшей вибрации грунта и погружению

материала, закрепляющего стенки скважин. Вибрационный принцип устройства свай исключает потребность в тяжелом и громоздком оборудовании. Появляется возможность выполнять строительство в условиях плотной городской застройки вблизи существующих зданий, сооружений и коммуникаций, без экологических проблем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Цейтлин М. Г., Верстов В. В., Азбель Г. Г. Вибрационная техника и технология в свайных и буровых работах. - Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1987. - с. 262.
2. Ермашов В., Суворцов А., Жилина Ю. Стабилизация водонасыщенных грунтов методом виброфлотации. - Proceedings of 6<sup>th</sup> international conference Modern building materials, structures and techniques. Vilnius "Technika", 1999. - том 3, с.240-246.

УДК 624.131

**Заболотный Д.В., Сидорович Е.М.**

### **ВЫБОР МЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГРУНТОВОГО МАССИВА**

Под моделью грунтового массива принято понимать такую механически конструируемую систему, которая отражает только некоторые, наиболее существенные физические закономерности деформирования и разрушения горных пород.

Самой простой является модель Винклера, которую можно интерпретировать как систему не связанных друг с другом пружин с линейными характеристиками. Во многих случаях эта модель достаточно точно отражает действительную работу грунтового массива. Для учета нелинейных свойств грунтового массива можно рассматривать модель Винклера как систему не связанных друг с другом пружин с нелинейными характеристиками (А. С. Григорьев [1]).

Гипотеза упругого изотропного полупространства впервые предложена в работах Н. П. Пузыревского и Н. М. Герсеванова и использована для изучения напряжений в массиве пород вокруг выработок А. Н. Динником, Г. Н. Савиным, С. Г. Лехницким. Основой для применения на практике данной модели являются следующие свойства упругости грунтов: близкая к линейной зависимость между напряжениями и деформациями, способность восстанавливать (в некоторой степени) форму и размеры при разгрузке, способность распространять упругие волны. Причем применение модели не требует в качестве обязательного условия способности пород восстанавливать начальную форму и размеры при снятии нагрузки, достаточно чтобы диаграмма напряжения-деформации была близка к линейной. М. И. Горбунов-Посадов [2] предлагает уточнять данную модель, рассматривая влияние объемных сил, вызванных весом грунта.

При упругом деформировании массива грунтовых пород модель в виде анизотропного упругого полупространства более близка по механическим характеристикам к реальному массиву.

Полупространство с модулем упругости, изменяющимся по глубине по степенному закону, предложил Г. К. Клейн [3], а Б. Г. Корнеев [4] предложил рассматривать модуль упругости, изменяющийся с глубиной по экспоненциальному закону. Самым распространенным, из анизотропных является трансверсально-изотропное полупространство, которое характеризуется постоянством свойств в плоскости изотропии, в направлении же, перпендикулярном плоскости изотропии, свойства отличаются. Та-