

**Таблица 3.** Концентрация ионов хлора в зависимости от времени хранения

Номер состава материала	Средняя глубина отбора проб (мм)	Концентрация ионов хлора в водной вытяжке из цементного камня (г-экв/л. 10-3) образцов, твердевших до испытания (сут):		
		28	60	90
I	11	8,75	6,00	5,7
	33	4,50	3,50	3,4
	55	3,00	2,75	2,6
II	11	4,50	4,15	4,1
	33	2,50	3,00	2,98
	55	2,00	2,25	2,17
III	11	2,75	3,00	2,97
	33	2,00	2,00	1,98
	55	1,50	3,80	3,17
IV	11	4,50	0,70	0,65
	33	2,50	0,60	0,53
	55	1,75	2,50	2,5

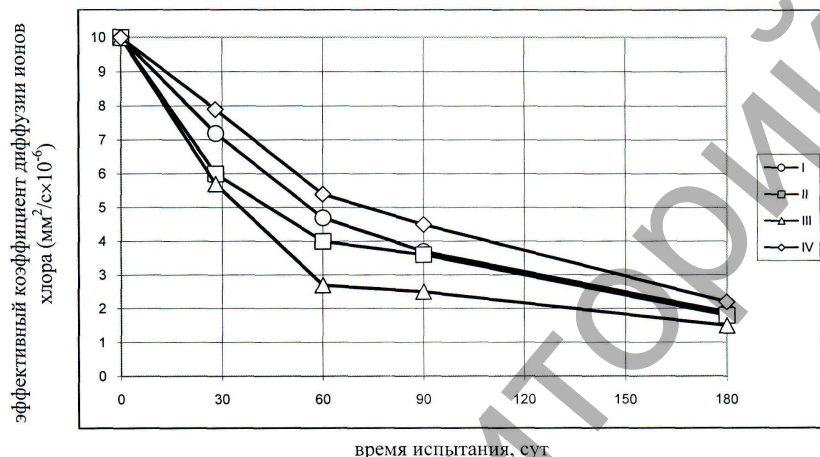
Анализируя данные испытания диффузионной проницаемости для ионов хлора можно сделать вывод о зависимости ее от состава цементных материалов. Так, в сравнении с контрольным составом (I), диффузионная проницаемость цементного камня с супер- и гиперпластифицирующими добавками (II и III) существенно ниже при

равном их водоцементном отношении. Пластифицирующие добавки не только снижают водопотребность цемента, но и характер пористости, а так же величину поверхностной энергии внутренних пор материала вследствие полярной структуры молекул высокомолекулярных органических соединений исследуемых добавок.

Необходимо отметить, что влияние пластификаторов на диффузионную проницаемость цементного камня проявляется в основном в ранние сроки его твердения (рис. 3). Диффузионная проницаемость для всех исследуемых составов материала практически одинакова при испытании образцов после 180 суток их твердения.

**СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Products and systems for the protection and repair of concrete structures, Test methods. Part I. Measurement of chloride ion ingress by Diffusion of repair mortars and concretes: EN 13396-1:2002.
2. Resistance of Concrete to Chloride Ingress – From Laboratory Tests to In-field Performance.– Report, project № GRD1-202-71808-CHLORTEST. – January 2003 – December 2005. – 273 p.
3. Concrete, Hardened, Accelerated Chloride Penetration: NT BUILD 492:94.
4. Concrete, Mortar and Cement Based Repair Materials: Chloride Migration Coefficient from Non-Steady State Migration Experiments: NT BUILD 492:99.
5. Способ определения диффузионной проницаемости бетона / Н.К. Розенталь, Г.В. Чехний, Д.Ю. Федоров. – 10.02.2006. Патент РФ №2269777.



**Рис. 3.** Зависимость эффективного коэффициента диффузии ионов хлора через цементные материалы составов I, II, III и IV

Материал поступил в редакцию 14.04.14

**TUR V.V., LEVCHUK N.V., ZAMIROVSKY A.V. Researches of Concrete permeability of chloride ions of various structures**

The article describes comical processes was penetrated chloride-ions across structure cement. Results of analyses definition chloride- ions difference methods.

УДК 69 + 624.151.5:561.5

**Клебанюк Д.Н., Пойта П.С., Шведовский П.В.**

**ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ УСТРОЙСТВА ИСКУССТВЕННЫХ ОСНОВАНИЙ НА ЗАСТРАИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ СО СЛОЖНЫМИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ**

**Введение.** Опыт проектирования строительства искусственных оснований зданий и сооружений методами интенсивного ударного уплотнения показывает, что повышение экономичности принятых решений, снижение трудоёмкости при их устройстве может быть

достигнуто за счёт совершенствования как конструктивных, так и технологических параметров, определяющих выбранную технологию. Правильно запроектированные конструктивно-технологические параметры позволяют получить качественное основание при мини-

**Клебанюк Дмитрий Николаевич**, ассистент кафедры геотехники и транспортных коммуникаций Брестского государственного технического университета.

**Пойта Петр Степанович**, д.т.н., профессор кафедры геотехники и транспортных коммуникаций, ректор Брестского государственного технического университета.

**Шведовский Петр Владимирович**, к.т.н., профессор, заведующий кафедрой геотехники и транспортных коммуникаций Брестского государственного технического университета.

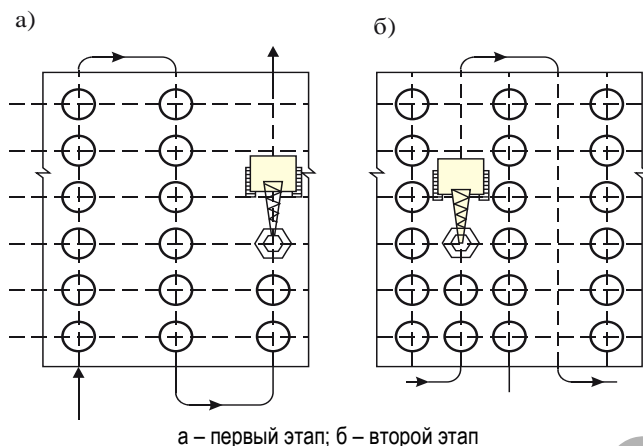
Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

мальных энергозатратах для любых инженерно – геологических условий, а следовательно, снижают сроки строительства и стоимость работ [1, 2].

**Анализ и методика исследований.** В производственной практике наиболее распространена квадратная схема размещения точек уплотнения. Суть этой схемы – уплотнение грунтового основания по условной сетке определенных размеров в один или два этапа (рис. 1).

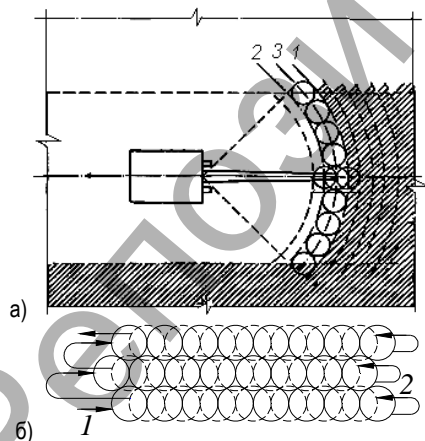
При этом для одноэтапной схемы точки уплотнения располагаются по вершинам квадратов, а для двухэтапной – в начале производят уплотнение в точках располагаемых по вершинам больших квадратов, затем делают технологический перерыв (10–15 суток) и производят дальнейшее уплотнение по точкам располагаемым в средней части зоны между первоначальными точками уплотнения.

Не менее широкое распространение получила и схема трамбования по участкам с перекрытием следов отдельными циклами (рис. 2).



а – первый этап; б – второй этап  
**Рис. 1.** Схема уплотнения грунтового основания по условной сетке

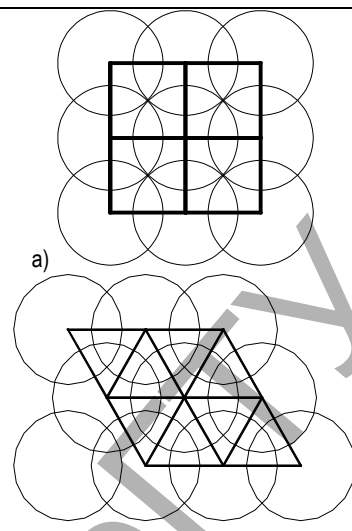
Уплотнение обычно выполняется в два или три цикла (при постоянном поворачивании стрелы по мере перехода с одного следа на другой (рис. 2а) или постоянном продвижении уплотняющего механизма (рис. 2б)). По каждому следу производится соответственно по 2 и 3–4 удара.



а) трехцикловая (по два–три удара в каждом цикле с повторением циклов до получения отказа); б) двухцикловая (по пять–шесть ударов в цикле); 1, 2, 3 – соответственно I, II и III циклы

**Рис. 2.** Схема уплотнения грунтового оснований с перекрытием следов

Нормативными документами [6] рекомендуется точки уплотнения размещать по вершинам квадрата (а) или равностороннего треугольника (б) (рис. 3).

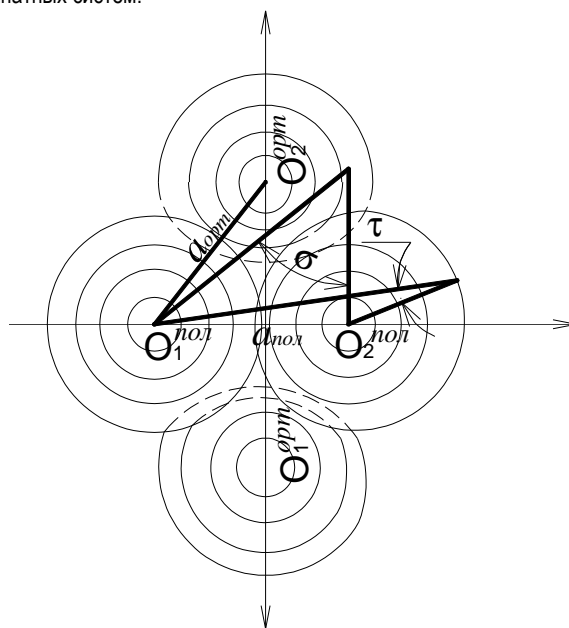


**Рис. 3.** Схемы размещения точек уплотнения грунта трамбовками по вершинам квадрата (а), равностороннего треугольника (б)

Исследованиями [3] показано, что при одних и тех же энергетических затратах площадь уплотненного основания при треугольном расположении точек уплотнения в 1,5 раза больше, чем при квадратном.

Проведенный анализ особенностей наложения зон уплотнения определяют необходимость перехода от полярных координат к сферическим ортогональным. При этом, в зависимости от особенностей уплотняемой толщи грунтов – однородная или многослойная, где верхний слой подстилается более прочным грунтом, необходимо рассматривать соответственно системы координат для полюсных ( $a_{пол}$ ) и ортогональных ( $a_{орт}$ ) сфер и эллипсоидов.

На рис. 4 приведены соответствующие расчетные схемы координатных систем.



**Рис. 4.** Расчетные схемы координатных поверхностей для полюсных и ортогональных сфер и эллипсоидов

В соответствии с [7, 8] рассматриваемая расчетная схема координат позволяет получить следующие зависимости для определения расстояний между точками уплотнения:

- в полюсных плоскостях –

$$a_{пол} = \sqrt{\frac{(\sigma \cdot \tau)^2 \cdot (\cos \alpha + \sin \varphi)^2}{(\sigma^2 - 1) \cdot \sin \alpha} + \frac{1.56 \cdot d_{тр}^2}{\sigma^2}}; \quad (1)$$

• в ортогональных плоскостях –

$$a_{opt} = 1.56 \cdot \sqrt{\frac{(\sigma \cdot \tau)^2 \cdot (1 + \operatorname{tg} \varphi \cdot \cos \alpha)^2}{(\tau^2 - 1)} + \frac{d_{mp}^2 \cdot h_{om}}{\tau^2}}, \quad (2)$$

где  $\sigma$  и  $\tau$  – углы координатных точек сферических плоскостей;  $\varphi$  – угол внутреннего трения грунта в естественном состоянии;  $\alpha$  – угол наклона образующей сферы уплотнения;  $h_{om}$  – глубина отпечатка;  $d_{mp}$  – диаметр трамбовки.

Соответственно –  $l_2 = \frac{a_{opt}}{2}$ , а  $l_1 = \frac{\sqrt{a_{opt}^2 + a_{non}^2}}{2}$  со следующей схемой размещения точек уплотнения (рис. 5).

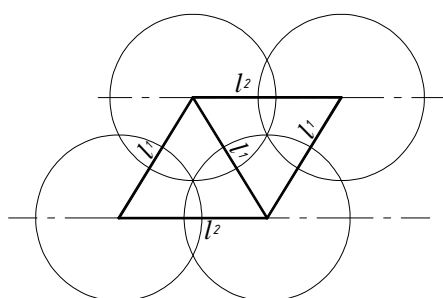


Рис. 5. Схема размещения точек уплотнения

Анализ соотношения значений  $l_1$  и  $l_2$  позволяет отметить, что  $l_2 > l_1$ , а это указывает, что размещение точек уплотнения должно быть по вершинам равнобедренного, а не равностороннего треугольника.

Проведенные исследования [4, 5, 8] также свидетельствуют и о целесообразности увеличения массы трамбовок, что позволяет получить не только требуемую осадку поверхности грунта, с меньшими энергетическими затратами, но и более равномерное распределение плотности по глубине уплотняемой толщи.

Однако трамбовка одной и той же массы может иметь не только различные размеры подошвы, но и различные ее формы, что обуславливает совершенно разное статическое давление ( $S_{cm}$ ) на грунт А, как показывает практика, чем меньше статическое давление на грунт, тем больше ударов в одной точке необходимо выполнять для достижения грунтом требуемой плотности. Малые размеры подошвы трамбовки не только затрудняют производство работ, но, и при достижении определённого предела по диаметру, делают эти работы практически невозможными из-за выпора грунта.

Следовательно, оптимальная площадь основания трамбовки будет лишь в том случае, когда работа ( $N_{фак}$ ), затрачиваемая на уплотнение грунта будет минимальной ( $N_{min}$ ), т.е.

$$N_{фак} = M \cdot H \cdot \frac{B}{A} \cdot n \in N_{min}, \quad (3)$$

где  $M$  – масса трамбовки, принимаемая с учётом грузоподъёмности механизма, тс;  $H$  – высота сбрасывания трамбовки, м;  $B$  – площадь участка в пределах которого требуется уплотнение грунтов, м<sup>2</sup>;  $A$  – площадь основания трамбовки, м<sup>2</sup>;  $n$  – число ударов трамбовки в одной точке.

Анализ особенностей зоны уплотнения и направления нормалей к площадкам главных максимальных деформаций сжатия при уплотнении оснований тяжёлыми трамбовками с круглой плоской подошвой, показывает, что в зоне уплотнения наблюдается в основном радиальное направление нормалей к площадкам главных деформаций

сжатия, т.е. на преобладание радиальных деформаций над вертикальными, а это обуславливает на начальном этапе уплотнения сжатие центральной зоны (столба) грунта, с последовательным радиальным его боковым расширением, которое и вызывает радиальное сжатие грунта в периферийной зоне.

При этом если плотность грунта периферийной зоны относительно высокая, то радиальное сжатие может сопровождаться выпором грунта.

Всё это и определяет основные факторы механизма (геотехнические особенности) деформации периферийной зоны: естественная плотность грунта; степень радиального расширения и уплотнения грунта в центральной зоне; величины сил трения на контакте центральной и периферийной зон.

Проведенный анализ позволил определить предпочтительный диапазон взаимосвязей требуемых свойств грунтовых оснований и конструктивно-технологических параметров тяжёлых трамбовок. Характер взаимосвязей  $S_{cm} = f(d_{mp})$ ,  $\sqrt{MgH} = \varphi(d_{mp})$ ,

$m = \psi(d_{mp})$  и  $\epsilon_0 = \xi(d_{mp})$ , где  $S_{cm}$ ,  $\sqrt{MgH}$ ,  $m$ ,  $\epsilon_0$  – соответственно статическое давление, энергия одиночного удара, масса трамбовки и расстояние между точками трамбования, позволяет сделать вывод что, оптимизация процесса уплотнения может быть ориентирована и на выбор форм поверхностей подошвы трамбовок, т.е. использование вместо плоских – криволинейных поверхностей подошвы.

В качестве криволинейных поверхностей подошвы трамбовок рассмотрены два варианта форм – сфера вращения и сфероид (рис. 6).

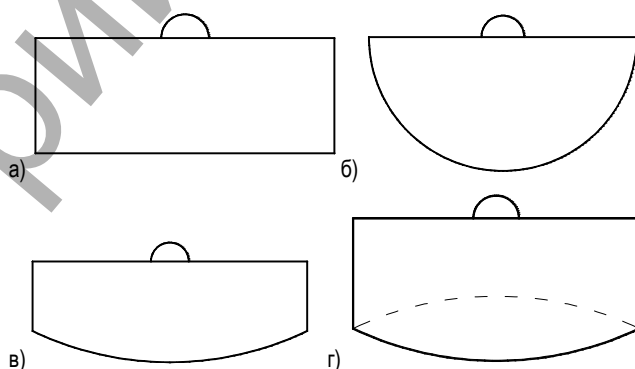


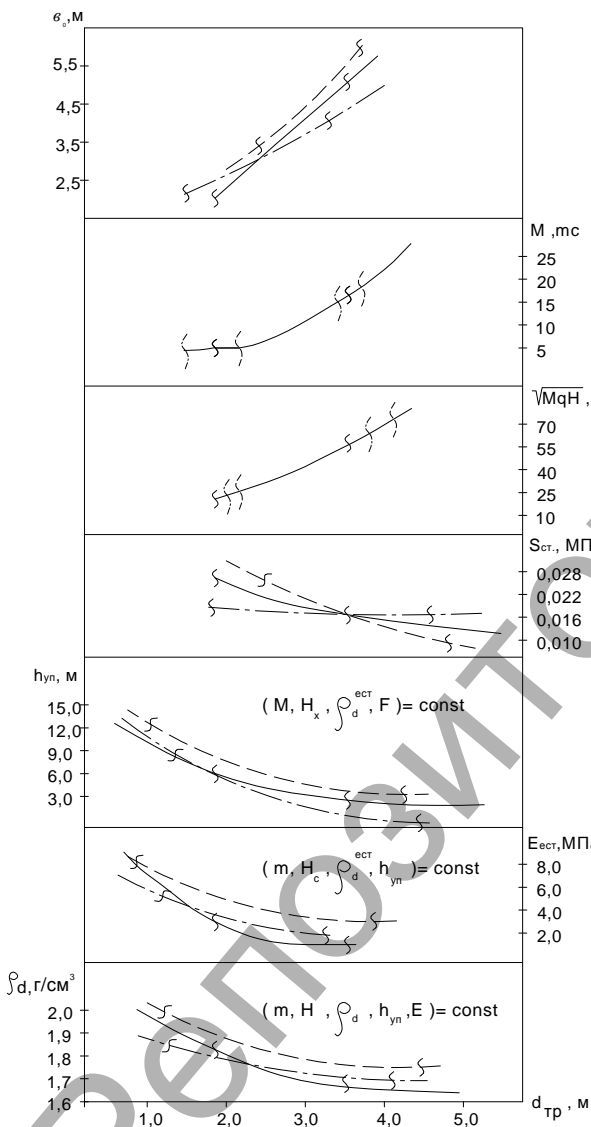
Рис. 6. Принципиальные схемы круглых трамбовок с плоской (а), сферической (б), сфероидной выпуклой (в) и сфероидной вогнутой (г) подошвами

**Результаты эксперимента и их обсуждение.** Детальный анализ имеющихся производственных и приведенных теоретических исследований позволил выявить некоторые закономерности и основные параметрические взаимосвязи в зависимостях  $S_{cm} = f(d_{mp})$ ,  $\sqrt{MgH} = \varphi(d_{mp})$ ,  $m = \psi(d_{mp})$ ,  $\epsilon_0 = \xi(d_{mp})$  и  $E_{ECT} = \beta(d_{mp})$  (рис. 7).

Анализ особенностей формирования контуров зон уплотнения грунта трамбовками с выпуклой сферической и сфероидной и вогнутой и выпуклой сфероидной подошвами позволяет сделать вывод, что оптимальным вариантом уплотнения грунтов тяжёлыми трамбовками, с технологической точки зрения, для обеспечения максимальной глубины зоны уплотнения, с достаточно однородной степенью уплотнения являются двухэтапное уплотнение: в начальный период – трамбовками с выпуклой сфероидной подошвой, а затем – трамбовками с вогнутой сфероидной подошвой (рис. 8).

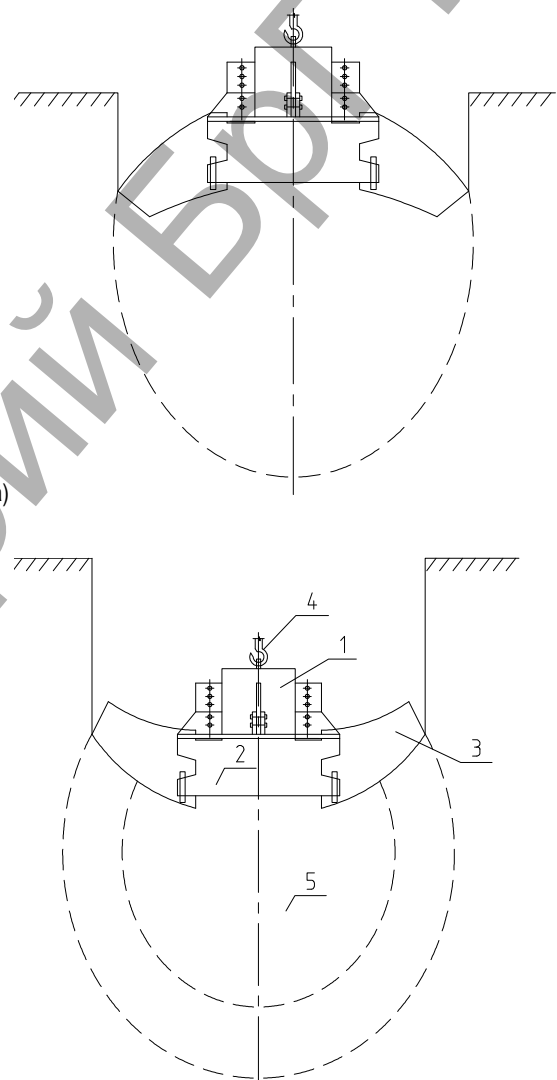
Таблица 1. Диаметры трамбовок при различных формах подошвы

Объект исследований, грунт	M, тс	H, м	h <sub>уп.</sub> , м	ρ <sub>d</sub> <sup>ест.</sup> , т/м <sup>3</sup>	E, МПа	ρ <sub>d</sub> <sup>тр.</sup> , т/м <sup>3</sup>	d <sub>тр.</sub> , м			
							с плоской подошвой	с криволинейной подошвой		
								сфероидной	сферическая комбинированная	сферическая
Насыпь Загорской ГЭС	15	15	5.5	1.62	1.0	1.98	2.8	3.7	2.75	3.5
Насыпь Кайшадарской ГЭС	15	15	6.0	1.63	1.4	1.96	2.8	3.1	2.9	3.2
Аллювиальные отложения надпойменной террасы	25	25	7.8	1.72	3.3	1.94	3.95	4.6	3.65	4.15
Насыпные глинистые грунты	5.5	6.0	4.25	1.53	0.95	11.78	2.0	1.65	1.75	1.92
Супесь пластичная	12	10	6.0	1.4	6.0	1.50	3	2.1	2.8	2.6
Стройплощадка капролактама Гродненского ПО "Азот"	7	12	3.0	1.66	4.2	1.79	2.0	1.75	1.7	2.2



M – масса трамбовки; h<sub>уп.</sub> – мощность уплотняемой зоны; e<sub>o</sub> – расстояния между точками трамбования, MgH – энергия одиночного удара; E<sub>ест</sub> – модуль деформации, S<sub>ст</sub> – статическое давление на грунт, H – высота сброса

Рис. 7. График взаимосвязи диаметров трамбовок со свойствами уплотняемых грунтов  $d_{тр} = f(\rho_d^{ест}, E_{ест})$  и технологическими параметрам  $d_{тр} = j(h_{уп}, S_{ст}, M, H, \sqrt{MgH}, e_o)$  в зависимости от форм подошвы: — — — — плоская; - - - - сферическая; - · - · - сфероидная; σ – граница оптимальных значений



б) 1 – цилиндрическая емкость, заполненная тяжелым бетоном; 2 – плоский фланец уширения; 3 – шестисекционный сферический фланец; 4 – устройство сброса; 5 – зона уплотнения  
Рис. 8. Принцип работы комбинированной сфероидной трамбовки по стадиям: а) начальная; б) заключительная

Изменённая форма подошвы трамбовки определяет необходимость корректировки расчётных зависимостей по конструктивно – технологическим параметрам трамбовок.

Проведенные исследования позволили получить расчётную зависимость для определения оптимального диаметра трамбовки с криволинейной подошвой имеющую вид:

$$d_{mp} = \frac{k_{\phi} \cdot M \cdot H \cdot (1 - \nu^2)}{k_0 \cdot \left( \frac{\gamma_d^1 - \gamma_d}{\gamma_d^1} \cdot h_{yn} \right)^2 \cdot E}, \quad (4)$$

где  $\nu$  – коэффициент относительной поперечной деформации грунта;  $\gamma_d^1$  и  $\gamma_d$  – соответственно удельный вес грунта после и до уплотнения;  $h_{yn}$  – глубина зоны уплотнения;  $E$  – модуль деформации грунта до уплотнения;  $k_0$  – коэффициент, учитывающий неупругие свойства грунта при повторных нагрузках и скорость удара;  $k_{\phi}$  – коэффициент формы подошвы, соответственно равный 1,75 – для сферических, 1,64 – сфероидных и 1,84 – комбинированных сферических.

Сопоставление диаметров трамбовок с плоской формой подошвы и криволинейных, для конкретных объектов исследования, приведено в таблице 1.

**Заключение.** Сравнительный анализ диаметров трамбовок, применяемый в практике и определённый по действующим нормативным документам [6] и согласно предложенной методике, показывает, что обеспечить требуемые характеристики грунтовых оснований позволяют трамбовки меньшего диаметра, но с криволинейной подошвой, при выполнении технологических рекомендаций.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пойта, П.С. Исследование зоны уплотнения при применении тяжелых трамбовок / П.С. Пойта, А.Н. Тарасевич // В сб. «Архитектура и строительные конструкции», Новосибирск. – 1992. – С. 69–73.
2. Пойта, П.С. Влияние физико-механических свойств уплотняемого грунта на оптимальный диаметр трамбовок / П.С. Пойта // Журн. «Строительство», Минск. – 2003. – № 1. – С. 243–247.

3. Пойта, П.С. Оптимизация технологических параметров уплотнения грунтов тяжелыми трамбовками / П.С. Пойта // Вестник БГТУ, «Строительство и архитектура». – Брест. – 2003. – №1 (19). – С. 109–110.
4. Пойта, П.С. Особенности формирования зоны уплотнения грунтов при уплотнении грунтового основания тяжелыми трамбовками / П.С. Пойта, П.В. Шведовский, Д.Н. Клебанюк // Матер. XVIII Межд. науч.-метод. семинара «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовка инженерных кадров в Республике Беларусь» ПГУ, Новополоцк. – 2012. – С. 189–196.
5. Клебанюк, Д.Н. Особенности процесса распределения давлений и напряжений при уплотнении неоднородных грунтовых оснований тяжелыми трамбовками / Д.Н. Клебанюк, А.Ю. Дроневиц, П.В. Шведовский, П.С. Пойта // Матер. XVIII Межд. науч.-метод. семинара «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовка инженерных кадров в Республике Беларусь» ПГУ, Новополоцк. – 2012. – С. 239–244.
6. Грунтовые основания, уплотнение тяжелыми трамбовками. Порядок проектирования и устройства: ТКП 45-5.01-107-2008 (02250). – Введ. 08.09.2008. – Мн.: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2008. – 33 с. Технический кодекс установившейся практики.
7. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн // Наука, Москва. – 1973 – 831 с.
8. Шведовский, П.В. Влияние конструктивных параметров и особенностей формы подошвы тяжелых трамбовок на формирование свойств грунтов в зоне уплотнения / П.В. Шведовский, П.С. Пойта, Д.Н. Клебанюк // Вестник БрГТУ, «Строительство и архитектура». – 2013. – № 1. – С. 20–23.

Материал поступил в редакцию 15.01.14

#### KLEBANYUK D.N., POYTA P.S., SHVEDOVSKY P.V. Geotechnical features of technologies of the device of the artificial bases in built-up territories with difficult inzhenerno-geological conditions

Results of researches influence of forms of a sole of heavy tampers on nature of consolidation of soil of the artificial bases are given in building sites with difficult inzhenerno-geological conditions.

УДК 624.1 + 624.015:551.5

Пойта П.С., Дроневиц А.Ю., Шведовский П.В., Клебанюк Д.Н.

### ОСОБЕННОСТИ УПЛОТНЕНИЯ НЕОДНОРОДНОГО ОКОЛОСВАЙНОГО ПРОСТРАНСТВА ПРИ ЗАБИВКЕ СВАЙНОГО ПОЛЯ

**Введение.** На строительных площадках со сложными инженерно-геологическими условиями устройство свайных фундаментов из забивных свай зачастую оказываются не только самым эффективным, но и единственно возможным вариантом.

Все возрастающие объемы применения свайных фундаментов определяют необходимость поиска резервов повышения их эффективности как по экономическим, так и эксплуатационным требованиям.

Как показывают наши исследования и исследования других авторов [1, 2, 3] важнейшим резервом является достоверная оценка несущей способности свай, определяемой суммой сопротивления грунта по боковой поверхности и острию. Существующие методы расчета, базирующиеся на тех или иных группах факторов [3] могут дать погрешность в определении несущей способности сваи до 50%.

**Анализ и методика исследований.** Анализ результатов испытаний свай в различных грунтовых условиях свидетельствует что от 60 до 80% несущей способности сваи определяется силами трения грунта по боковой поверхности, поэтому особенности формирования зоны уплотнения в околосвайном пространстве будут не только влиять, но будут и значимо определять величину несущей способности.

Как видно из рис. 1 не меньшее значение имеет и формирование зоны уплотнения под острием сваи. Радиусы зоны уплотнения как в околосвайном, так и под острием сваи могут достигать  $3d$  ( $d$  – диаметр круглой или сторона квадратной сваи).

Следует также отметить, что при забивке свай в различных зонах грунтового массива происходит множество процессов различной направленности и интенсивности.

С одной стороны забивка свай вызывает уплотнение и связанное с ним упрочнение, а с другой, вследствие разрушения водно-коллоидных и структурных связей, снижение силы сцепления и соответственно величины удельного сопротивления.

Кроме того в верхних слоях грунтового массива может происходить разрыхление и выпирание грунта, что в некоторой мере обуславливает снижение удельного сопротивления в верхнем слое массива на глубину до 0.5–0.7 м, а иногда и до 1.5 м.

Следовательно, очевидным является тот факт, что при определении несущей способности забивных свай необходимо знать динамику изменения характеристик грунта в околосвайной зоне в процессе её погружения.

**Дроневиц Александр Юрьевич**, ассистент кафедры геотехники и транспортных коммуникаций Брестского государственного технического университета

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.