

УДК 69+624.151.5

Д.Н. Клебанюк, П.С. Пойта, П.В. Шведовский
(УО БрГТУ, г. Брест, Республика Беларусь)

НЕКОТОРЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УСТРОЙСТВА ИСКУССТВЕННЫХ ОСНОВАНИЙ МЕТОДАМИ ИНТЕНСИВНОГО УДАРНОГО УПЛОТНЕНИЯ

Опыт проектирования строительства искусственных оснований зданий и сооружений методами интенсивного ударного уплотнения показывает, что повышение экономичности принятых решений, снижение трудоёмкости при их возведении может быть достигнуто за счёт совершенствования как конструктивных, так и технологических параметров, определяющих выбранную технологию. Правильно выбранные конструктивно-технологические параметры позволяют получить качественное основание при минимальных энергозатратах, а следовательно, снижают сроки строительства и стоимость работ [1, 2].

Экспериментальные данные [1 – 5] свидетельствуют 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 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 ($N_{\text{óàè}}$), затрачиваемая на уплотнение грунта будет минимальной (N_{min}), т. е.

$$N_{\text{óàè}} = M \cdot H \cdot \frac{B}{A} \cdot n \in N_{\text{min}}, \quad (1)$$

где M – масса трамбовки, принимаемая с учётом грузоподъёмности механизма, тс; H – высота сбрасывания трамбовки, м; B – площадь участка в пределах которого требуется уплотнение грунтов, м²; A – площадь основания трамбовки, м²; n – число ударов трамбовки в одной точке.

Как было отмечено исследованиями [2, 3] одним из важнейших факторов определяющих однородность уплотнённого основания является расстояние между точками уплотнения. Оптимизация этого фактора всегда обеспечивает высокое, качество искусственного основания при минимальных трудозатратах.

Из рисунка 1 видно, что расстояние между точками трамбования зависит от угла наклона секущей прямой (φ) к горизонту. Мощность зоны уплотнения в этих условиях изменяется в пределах $l = 4.5 - 7.5$ м, ширина периферийной зоны, за пределы центральной зоны (столба), – в пределах $r = 2.6 - 4.0$ м, а угол наклона секущей прямой к горизонту варьирует в пределах $\varphi_i = 22^\circ - 50^\circ$, при этом, при больших значениях угла φ , обеспечивается более качественное уплотнение грунта как по глубине, так и по площади. 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 деформации периферийной зоны: естественная плотность грунта; степень радиального расширения и уплотнения грунта в центральной зоне; величины сил трения на контакте центральной и периферийной зон.

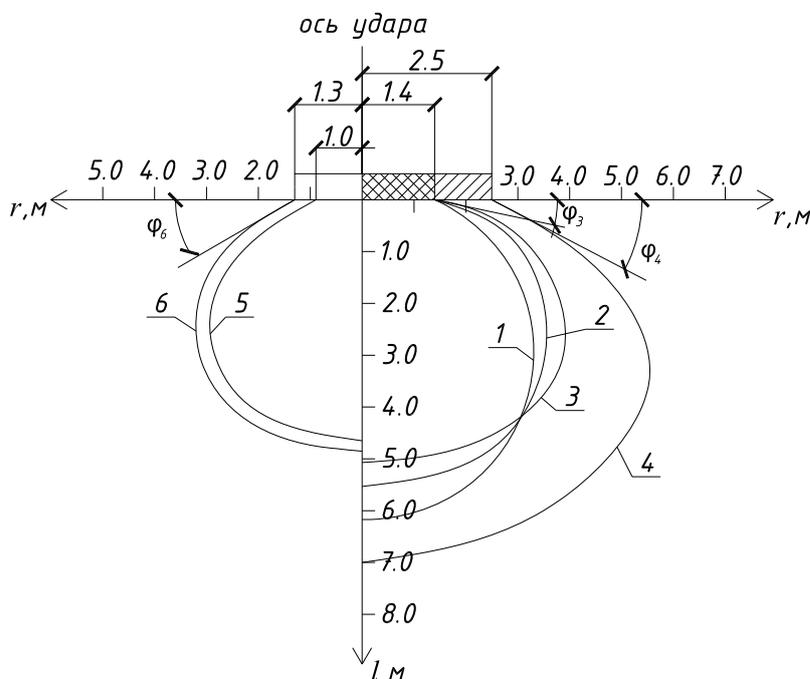


Рис. 1. Контуры зон уплотнения:

1,2,3 – при уплотнении трамбовками $\varnothing 2.6$ м естественных оснований сформированных однородными связными грунтами; 4 – $\varnothing 5$ м трамбовки, при наличии прочного подстилающего слоя песчаных грунтов; 5 и 6 – соответственно для трамбовок $\varnothing 2$ и 2.6 м на намывных территориях из песчаных грунтов

Имеющиеся исследования [1–5] в целом позволяют определить эти закономерности. На рис. 2 приведены графики взаимосвязи $d_{\delta\delta}$ со свойствами уплотняемых грунтов и технологическими параметрами.

Анализ графиков взаимосвязи позволил определить предпочтительный диапазон взаимосвязей требуемых свойств грунтовых оснований и требуемых свойств грунтовых оснований и конструктивно-технологических параметров тяжёлых трамбовок. Характер $S_{cm} = f(d_{mp})$, $\sqrt{Mgn} = \varphi(d_{mp})$, $m = \phi = \psi(d_{mp})$, $ub = \xi(d_{mp})$ позволяет сделать вывод что, оптимизация процесса уплотнения может быть ориентирована и на выбор форм поверхностей подошвы трамбовок, т. е. использование вместо плоских – выпуклых поверхностей подошвы.

В качестве выпуклых поверхностей подошвы трамбовок рассмотрены два варианта – сфера вращения и сфероид (рис. 3).

Анализ особенностей формирования контуров зон уплотнения грунта и изменения углов наклона (φ_i) секущей прямой к горизонту для трамбовок широко используемых в практике (круглая плоская подошва) и предлагаемых трамбовок с выпуклой сферической и сфероидной и вогнутой и с 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 сферической подошвой.

Бесспорно это требует создания специальных конструкций тяжёлых трамбовок.

Отметим, что некоторым аналогом тяжёлой трамбовки, которая в некоторой мере не допускает выпора грунта в периферической зоне уплотнения, является конструкция трамбовки рекомендуемая ТКП 45-5 01-107–2008 [6] (рис. 4, а). Она состоит из цилиндрической емкости (1) заполненной в нижней части (2) забетонированными металлическими отходами а в верхней – тяжёлым бетоном. К боковой поверхности крепится фланец уширения (4).

Принципиальным отличием является форма фланца:- плоский заменён на сферический шестисекционный, при этом конструкция трамбовки позволяет обеспечить переход от выпуклой формы фланца к вогнутому (рис. 4, б).

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

Давление на грунт соответственно будет определяться по зависимостям:

- для трамбования с выпуклыми подошвами
- вариант а)

$$A_{\delta\delta} = 2 \cdot \pi \cdot R_{\delta\delta}^2 - 2 \cdot \pi \cdot R_{\delta\delta} \cdot h_{mp}, \quad (2)$$

где $h_{тр}$ – высота нижней части трамбовки и после соответствующих преобразований –

$$A_{\partial\partial} = 2 \cdot \pi \cdot D_{\partial\partial} (D_{\partial\partial} - 2 \cdot h_{\partial\partial}), \tag{3}$$

$$P_{\partial\partial} = \frac{M_{\partial\partial}}{A_{\partial\partial}} = \frac{2 \cdot m_{\partial\partial}}{\pi \cdot D_{\partial\partial} (D_{\partial\partial} - 2 \cdot h_{\partial\partial})}, \tag{4}$$

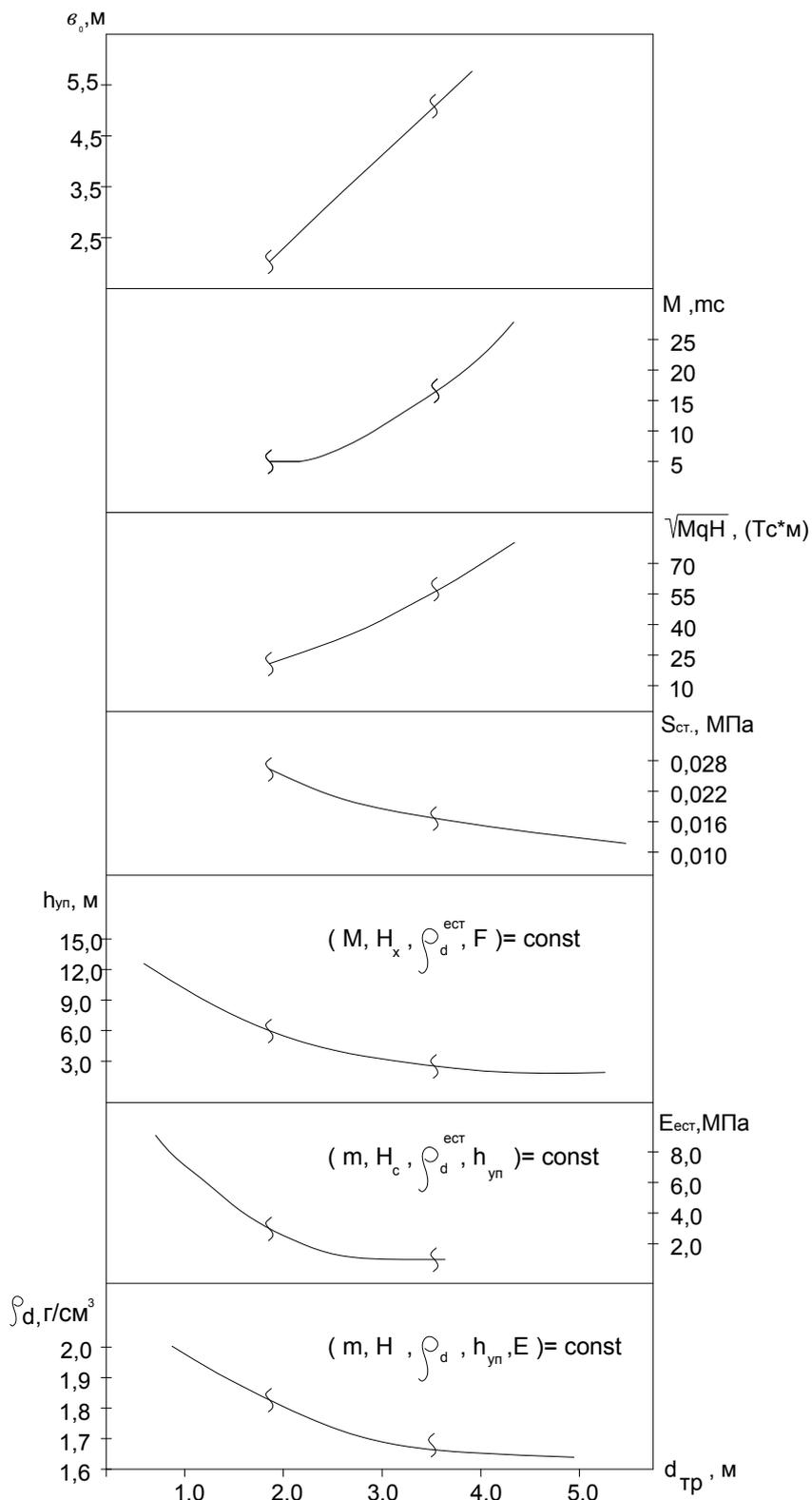


Рис. 2. График взаимосвязи диаметров трамбовок со свойствами уплотняемых грунтов $d_{mp} = f(P_d^{mp}, E_{ест})$ и технологическими параметрам

$d_{\partial\partial} = \varphi(h_{\partial\partial}, S_{ст}, M, H, \sqrt{MgH}, a_o)$:
 M – масса трамбовки; $h_{уп}$ – мощность уплотняемой зоны; v_o – расстояния между точками трамбования, MgH – энергия одиночного удара; $E_{ест}$ – модуль деформации; $S_{ст}$ – статическое давление на грунт

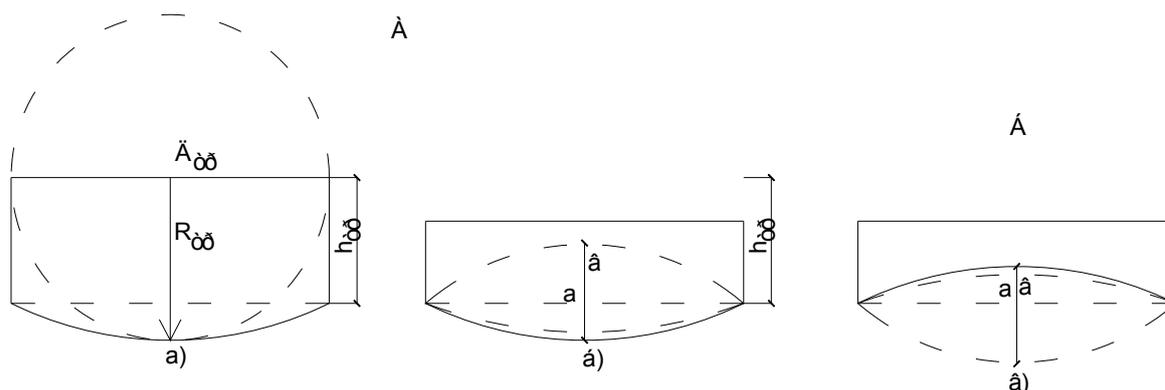


Рис. 3. Принципиальные схемы трамбовок А – с выпуклой подошвой (сферической и сфероидной) – а); Б – с выгнутой (б) и выпуклой (в) сфероидной

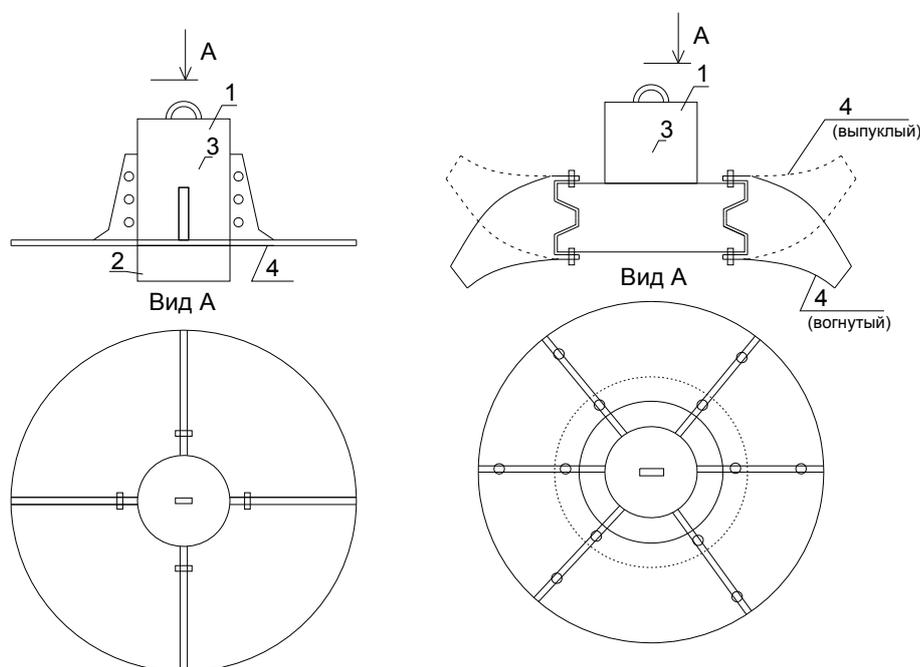


Рис. 4. Конструктивная схема тяжёлых трамбовок а) рекомендуемая по ТКП [6]; б)- предлагаемая авторами.

– вариант б)

$$A_{\delta\delta} = 2 \cdot \pi \cdot a^2 + \pi \cdot \frac{b^2}{\varepsilon} \cdot \ln \frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon}, \quad (5)$$

где $\varepsilon = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$; а и b – большая и малая оси сфероиды (сплюснутого эллипсоида) вращения вокруг малой оси, при этом $a = D_{\delta\delta}$.

После соответствующих преобразований имеем:

$$A_{\delta\delta} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\delta\delta}^2 + \frac{\pi \cdot b_0^2}{\sqrt{D_{\delta\delta}^2 - 4 \cdot b_0^2}} \cdot \ln \sqrt{1 - \frac{4 \cdot b_0^2}{D_{\delta\delta}^2}}), \quad (6)$$

с учётом незначительной величины второго составляющего –

$$A_{\delta\delta} = \frac{\pi}{4} \cdot \left(D_{\delta\delta}^2 + \frac{\pi \cdot b_0^2}{\sqrt{D_{\delta\delta}^2 - 4 \cdot b_0^2}} \right), \quad (7)$$

где b_0 – максимальная высота выгиба подушки трамбовки.

Тогда соответственно –

$$P_{\dot{n}\delta} = \frac{M_{\delta\delta}}{A_{\delta\delta}} = \frac{4 \cdot m_{\delta\delta}}{\pi \cdot \left(D_{\delta\delta}^2 + \frac{\pi \cdot b_0^2}{\sqrt{D_{\delta\delta}^2 - 4 \cdot b_0^2}} \right)}. \quad (8)$$

Для выгнутой подошвы трамбовки (вариант в) расчётная зависимость будет аналогична зависимости (8). Но с другой стороны, согласно исследований [8] для трамбовок с параболическими нагрузками –

$$P_{\dot{n}\delta} = \frac{M_{\delta\delta}}{2 \cdot \nu \cdot \pi \cdot h^2} \cdot \exp\left(-\frac{D_{\delta\delta}^2}{8 \cdot \nu \cdot h^2}\right), \quad (9)$$

где h – некоторая постоянная.

Так как непосредственно под подошвой трамбовки –

$$\frac{\sigma_z}{P_0} = \frac{R_{\delta\delta}^2}{2 \cdot \nu \cdot h^2}, \quad (10)$$

где P_0 – среднее давление под подошвой, то тогда –

$$h = \sqrt{\frac{R_{\delta\delta}^2}{\left(\frac{\sigma}{P_0}\right) \cdot 2 \cdot \nu}}. \quad (11)$$

Учитывая, что $P_0 = 2.55P$ и приняв $\frac{\sigma_z}{P} \approx 1$, получаем

$$h = \sqrt{\frac{0.3 \cdot D_{\delta\delta}^2}{\nu}}. \quad (12)$$

Откуда после соответствующих подстановок и преобразований –

$$P_{\dot{n}\delta}^{\max} = \frac{4.16}{\pi \cdot D_{\delta\delta}^2} \cdot M_{\delta\delta}. \quad (13)$$

В соответствии с исследованиями [3] осадка от параболической нагрузки –

$$S_{cm} = \frac{2 \cdot P_{\max} \cdot D_{\delta\delta}}{\pi \cdot E} \cdot (1 - \nu^2). \quad (14)$$

Учитывая (13) имеем:

$$S_{\dot{n}\delta} = \frac{8.32 \cdot M_{\delta\delta}}{\pi^2 \cdot D_{\delta\delta} \cdot E} \cdot (1 - \nu^2). \quad (15)$$

Подставив $S_{\dot{n}\delta}$ в расчётные уравнения $S_{\dot{a}\dot{e}\dot{i}}$ и $\Delta_{\delta\delta}$ получим:

$$d_{\delta\delta} = \frac{1.75 \cdot M \cdot H \cdot (1 - \nu^2)}{k_0 \cdot \frac{\rho_d^{\delta\delta} - \rho_d}{\rho_d^{\delta\delta}} \cdot E} \quad (16)$$

Сопоставление диаметров трамбовок с плоской формой подошвы и криволинейной приведены в табл. 1.

Таблица 1

Диаметры трамбовок определенные по различным методикам

Объект исследований, грунт	M, т·с	H, м	h _{ут.} , м	$\rho_d^{\delta\delta}$, т/м ³	E, МПа	$\rho_d^{\delta\delta}$, т/м ³	d _{тр} , м	
							с плоской подошвой (принятый)	с криволинейной подошвой
Насыпь Загорской ГЭС	13	12	5.5	1.62	1.0	1.98	2.8	2.60
	15	15	5.5	1.62	1.0	1.98	2.8	3.7
Насыпь Кайшадарской ГАЭС	15	15	6.0	1.63	1.4	1.96	2.8	3.1
Аллювиальные отложения надпойменной террасы	25	25	7.8	1.72	3.3	1.94	3.95	4.6
Насыпные глинистые грунты	3.5	6.0	3.2	1.49	1.3	1.75	1.8	1.35
	5.5	6.0	4.25	1.53	0.95	1.78	2.0	1.65
Супесь пластичная	12	10	6.0	1.4	6.0	1.50	3	2.1
Стройплощадка капролактама Гродненского ПО "Азот"	7	12	3.0	1.66	4.2	1.79	2.0	1.75

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.

Литература

1. 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. Влияние физико – механических свойств уплотняемого грунта на оптимальный диаметр трамбовки / П.С. Пойта // В жур. «Строительство», Минск, 2003, № 1-2, с. 243-247.
3. Оптимизация технологических параметров уплотнения грунтов тяжелыми трамбовками / П.С. Пойта // «Строительство и архитектура»: Вестник БГТУ, Брест, 2003, № 1(19), с. 109-110.

1. Особенности формирования зоны уплотнения грунтов при уплотнении грунтового основания тяжелыми трамбовками / П.С. Пойта, П.В. Шведовский, Д.Н. Клебанюк // «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовка инженерных кадров в Республике Беларусь»: Матер. XVIII Межд. науч.-метод. семинара ПГУ, Новополоцк, 2012, – с. 189-196.

2. Особенности процесса распределения давлений и напряжений при уплотнении неоднородных грунтовых оснований тяжелыми трамбовками / Д.Н. Клебанюк, А.Ю. Дронович, П.В. Шведовский, П.С. Пойта // «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовка инженерных кадров в Республике Беларусь»: Матер. XVIII Межд. науч.-метод. семинара ПГУ, Новополоцк, 2012, – с. 239-244.

3. ТКП 45-5.01-107-2008 (02250). Грунтовые основания, уплотнение тяжелыми трамбовками. Правила проектирования и устройства. – Введ. 08.09.2008. – Мн.: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2008. – 33 с. Технический кодекс установившейся практики.

4. 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.

УДК 624.131.534

П. А. Ляшенко (КубГАУ, Краснодар)

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ОДНООСНОГО СЖАТИЯ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА

1. Экспериментальное определение сопротивления образцов грунта одноосному сжатию

Деформации грунта рассмотрены на примере одноосного сжатия образцов твёрдого пылеватого суглинка нарушенной структуры, заформованных с разной плотностью скелета грунта (таблица) при одинаковой влажности. При одноосном сжатии с постоянной скоростью деформации образца $du/dt = B$ ($B=8,33$ мкм/с) сопротивление образца регистрировалось с шагом деформации 0,02 мм. Оно увеличивалось до предельного значения P_s , а затем снижалось (рис. 1).

«Скорость» увеличения сопротивления $v(u) = dP(u)/du$ изменялась циклически, причём максимальные амплитудные значения $v_{i.\max}$, ($i=1..n_c$), в первых n_c циклах возрастают. Рассмотрим участок увеличения, полагая, что он отражает начало разрушения микроструктуры грунта, до момента $\max v_{i.\max}$, который регистрируется визуально (появляется трещина в образце) и в виде резких изменений значений $v_{i.\max}$ обоих знаков (рис. 2).