

**DRAGAN V.I., GLUSHKO K.K. Detection of regularities of frost penetration in the peat soil**

The temperature regime fires Youth Sport Complex number 2 in Kalinkovichi band model for the calculation of fires. The stress-strain state of structural slab system «BrGTU» under different scenarios of fire. The evaluation of structural fire resistance plate.

УДК 624.138.003

**Пойта П.С., Юськович В.И., Пчелин В.Н.**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТА ТРАМБОВКАМИ С ИЗМЕНЯЕМЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ КОНТАКТНЫМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ**

В ряде случаев для улучшения физико-механических характеристик слабых грунтов основания производят их уплотнение сбрасываемыми с высоты тяжелыми трамбовками.

Важными параметрами, определяющими эффективность уплотнения грунта тяжелыми трамбовками, являются: масса трамбовки, высота ее сбрасывания, расстояние между точками сбрасывания, рабочая площадь трамбовки и создаваемые в грунте при нанесении удара динамические контактные напряжения [1].

В соответствии с [2] при уплотнении грунта трамбовками с созданием в грунте в процессе его уплотнения возрастающих динамических контактных напряжений от 0,6 до 2 МПа через интервал 0,45...0,7 МПа глубина уплотнения увеличивается на 15-20% с одновременным снижением энергозатрат на 14%. Кроме того, обеспечивается получение устойчивой плотности всей массы уплотненного грунта, так как исключается образование буферной зоны (взрыхленного слоя).

Возрастание создаваемых трамбовкой в грунте динамических контактных напряжений может быть обеспечено путем:

- уменьшения рабочей площади трамбовки [2, 3];
- увеличения массы трамбовки;
- увеличения высоты сбрасывания трамбовки.

Для изменения рабочей площади и массы трамбовки на объекте достаточно иметь набор трамбовок с разными указанными параметрами [2], однако при этом увеличиваются затраты труда на уплотнение грунта, связанные с необходимостью периодической замены трамбовок. Кроме того, вследствие уменьшения рабочей площади трамбовок уменьшается зона уплотнения грунта в плане, что приводит к снижению их производительности.

Для устранения указанных недостатков в Брестском государственном техническом университете разработаны новые конструкции трамбовок, обеспечивающие возможность регулирования создаваемых в грунте динамических контактных напряжений одной трамбовкой без существенного уменьшения размеров зоны уплотнения грунта в плане.

Одна из разработанных конструкций трамбовок представлена на рисунке 1. Предлагаемая трамбовка содержит цилиндрический корпус с нижним и верхним основаниями. К верхнему основанию корпуса соосно прикреплен выступ в виде втулки с кольцевым поперечным сечением, внутренний диаметр рабочей части которой принимается из условия пересечения в плане зон уплотнения грунта участками торца втулки. В стенках верхней части втулки выполнены сквозные отверстия, соединяющие полость втулки с атмосферой.

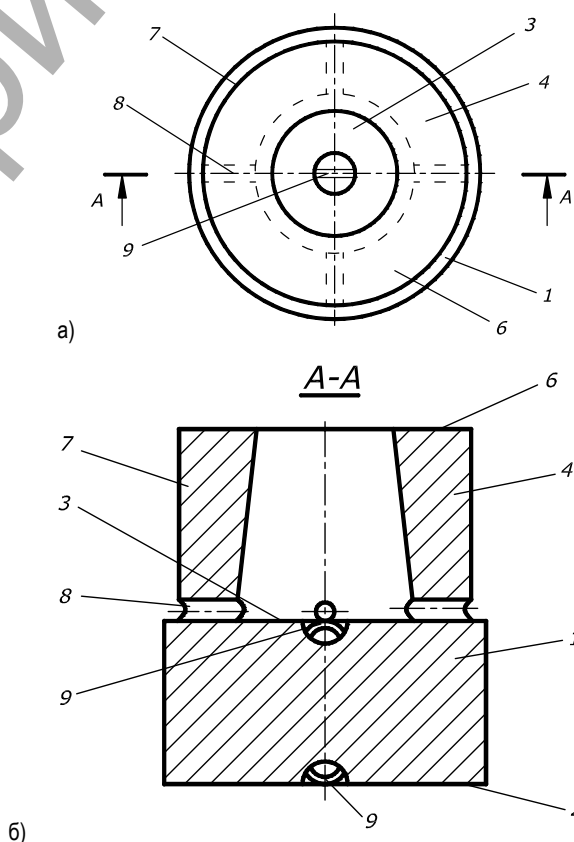
Масса трамбовки и рабочая площадь ее нижнего основания, высота сбрасывания подбираются из условия создания в грунте при нанесении удара нижним основанием необходимых начальных динамических контактных напряжений  $P_k$ , которые можно принимать порядка 1...1,5 МПа.

Рабочая площадь торца втулки принимается по выражению:

$$A = \frac{A_k \cdot P_k}{P_k + P_w}, \tag{1}$$

где  $A_k$  – рабочая площадь цилиндрического корпуса;  $P_k$  – создаваемые в грунте динамические контактные напряжения при его уплотнении цилиндрическим корпусом;  $P_w$  – шаг возрастания динамических контактных напряжений.

Шаг возрастания динамических контактных напряжений  $P_w$  следует принимать равным 0,6...1 МПа, при этом в грунте, в случае нанесения удара втулкой, будут создаваться динамические контактные напряжения, равные 2...2,1 МПа.

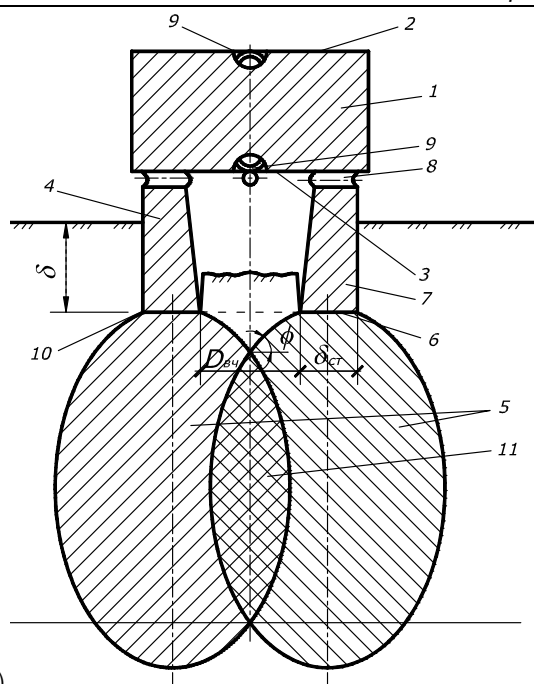


**Пойта Петр Степанович**, доктор технических наук, профессор, ректор Брестского государственного технического университета.

**Пчелин Вячеслав Николаевич**, доцент кафедры технологии строительного производства Брестского государственного технического университета.

**Юськович Виталий Иванович**, кандидат технических наук, зав. кафедрой технологии строительного производства Брестского государственного технического университета.

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



в)  
1 – цилиндрический корпус; 2 – нижнее основание корпуса; 3 – верхнее основание корпуса; 4 – втулка; 5 – зона уплотнения грунта; 6 – торец втулки; 7 – стенки втулки; 8 – сквозные отверстия; 9 – устройства для зацепления; 10 – отпечатки от трамбовки в грунте  
**Рис. 1.** Схема кольцевой трамбовки, обеспечивающей двухстадийное уплотнение

С целью обеспечения пересечения в плане зон уплотнения грунта участками торца втулки внутренний диаметр рабочего торца втулки принимается по выражению:

$$D_{вн} \leq \sqrt[3]{\frac{c}{2a} - \left(\frac{b}{3a}\right)^3} + \sqrt{\left[-\frac{1}{9}\left(\frac{b}{a}\right)^2\right]^3} + \left[2\left(\frac{b}{3a}\right)^3 + \frac{\delta_{cm}}{a}\right]^2} + \sqrt[3]{\frac{c}{2a} - \left(\frac{b}{3a}\right)^3 - \sqrt{\left[-\frac{1}{9}\left(\frac{b}{a}\right)^2\right]^3} + \left[2\left(\frac{b}{3a}\right)^3 + \frac{\delta_{cm}}{a}\right]^2} - \delta_{cm}, \quad (2)$$

где  $C = \left(\frac{\pi \cdot \delta_{cm}^2}{2} \cdot \delta - \frac{\pi}{24} \cdot \text{tg} \phi \cdot \delta_{cm}^3\right) \cdot (\rho_d - \rho_d^{mp}) - \rho_d^{mp} \cdot \frac{\pi \cdot \delta_{cm}^2}{2} \cdot \delta$ ;

$$a = -\frac{\text{tg} \phi}{2} \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{4} \ln 3\right) \cdot (\rho_d - \rho_d^{mp});$$

$$b = \left(\frac{\sqrt{3}}{4} \cdot l - \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \delta + \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \text{tg} \phi \cdot \delta_{cm}\right) \cdot (\rho_d - \rho_d^{mp}),$$

здесь  $\delta_{cm}$  – толщина стенки рабочего торца втулки 4;  
 $\delta$  – глубина отпечатка втулки 4 трамбовки после уплотнения ею грунта;  
 $\phi$  – угол наклона образующей конуса зоны уплотнения 5 грунта втулкой 4;  
 $\rho_d$  – плотность сухого грунта до его уплотнения втулкой 4;  
 $\rho_d^{mp}$  – требуемая плотность сухого грунта после уплотнения втулкой 4;

$l$  – глубина уплотняемой толщи грунта.

$\delta$  и  $\phi$  могут определяться на основании пробного уплотнения трамбовкой грунта, при этом  $\delta$ , как правило, принимается не более 0,6...0,8 м, так как в противном случае затрудняется выемка втулки из грунта.

Трамбовка работает следующим образом.

На первой стадии уплотнения путем многократного подъема и сбрасывания трамбовкой наносятся удары нижним основанием корпуса (рис. 1, б) с рабочей площадью  $F_k$ , при этом в грунте создаются динамические контактные напряжения 1...1,5 МПа.

На второй стадии, после уплотнения всей площади грунтового массива корпусом, трос грузоподъемной машины открепляют от устройства для зацепления верхнего основания, поворачивают трамбовку на 180°, цепляют ее за устройство для зацепления нижнего основания и производят заключительный этап уплотнения путем нанесения ударов втулкой до отказа понижения поверхности с образованием отпечатков и полным формированием пересекающихся зон уплотнения грунта (рис. 1, в).

На обеих стадиях точки уплотнения располагаются на расстоянии друг от друга, принимаемом из условия пересечения в плане зон уплотнения грунта рядом расположенных точек уплотнения [1].

Благодаря выполнению выступа в виде втулки, внутренний диаметр рабочего торца которой принимается из условия пересечения в плане зон уплотнения грунта участками торца втулки, обеспечивается незначительное изменение размеров зоны уплотнения грунта в плане.

К недостатком описанной трамбовки следует отнести то, что она может обеспечить только две стадии уплотнения грунта, что несколько снижает эффективность уплотнения.

Трехстадийное уплотнение грунта обеспечивает представленная на рис. 2 трамбовка, содержащая цилиндрический корпус, прикрепленный соосно к его верхнему основанию выступ и устройство для зацепления. Выступ выполнен в виде втулки с кольцевым поперечным сечением, а корпус – с соосным сквозным отверстием, сообщаемым с полостью втулки.

Диаметр отверстия  $D_2$  в корпусе принимается по выражению:

$$D_2 = D_1 \sqrt{1 - \frac{P_1}{P_1 + P_w}}, \quad (3)$$

где  $D_1$  – наружный диаметр цилиндрического корпуса;  $P_1$  – создаваемые в грунте динамические контактные напряжения при его уплотнении цилиндрическим корпусом с сердечником;  $P_w$  – шаг возрастания динамических контактных напряжений.

Внутренний диаметр  $D_3$  рабочего торца втулки принимается по выражению:

$$D_3 = \sqrt{D_4^2 - \frac{D_1^2 \cdot P_1}{P_1 + 2P_w}}, \quad (4)$$

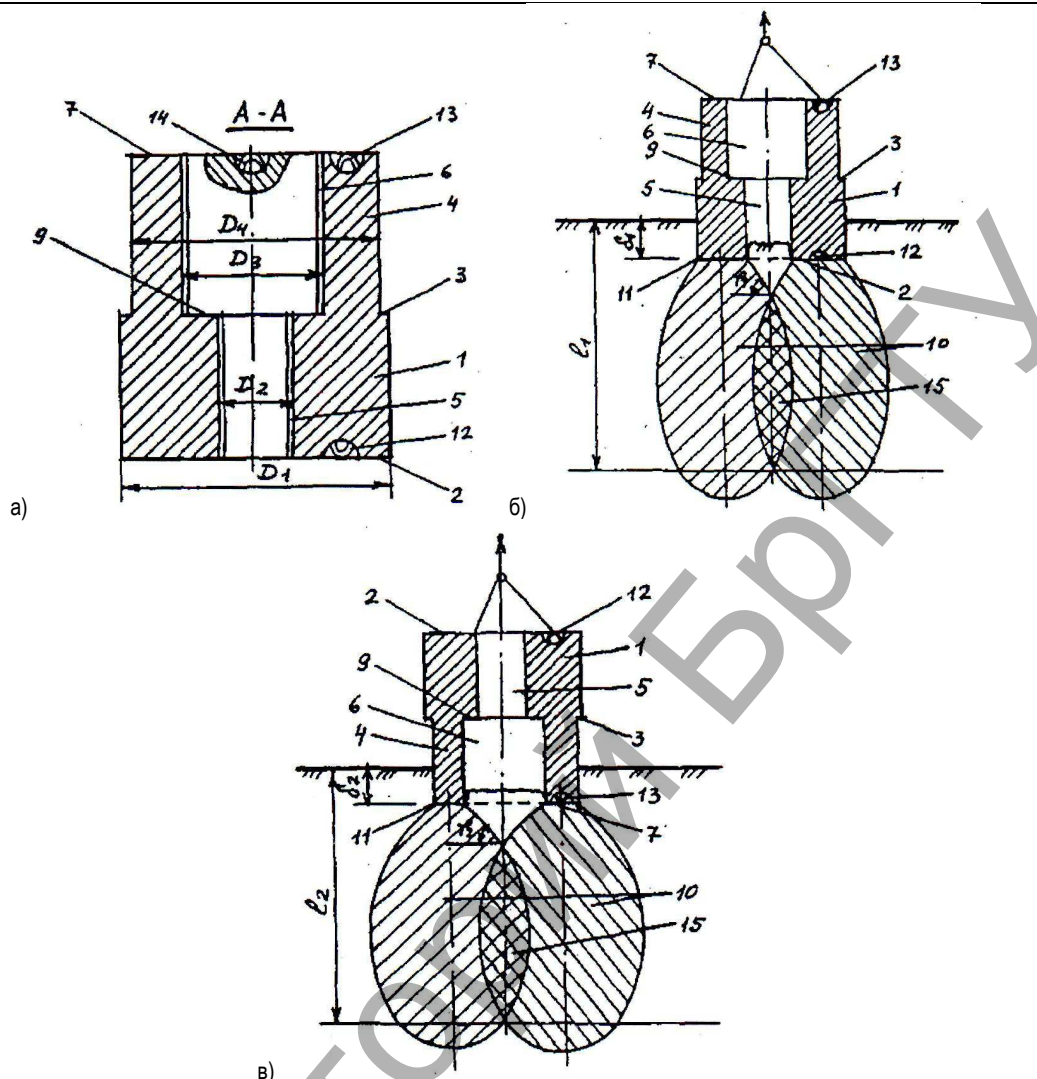
где  $D_4$  – наружный диаметр втулки.

При назначении диаметра отверстия  $D_2$  по выражению (3), а внутреннего диаметра  $D_3$  рабочего торца втулки – по выражению (4), обеспечивается создание в грунте корпусом с сердечником, торцом корпуса без сердечника и торцом втулки возрастающих динамических напряжений от 1 до 2,1 МПа с шагом 0,3...0,55 МПа, благодаря чему на 15...20% увеличивается глубина уплотнения, на 14% снижаются энергозатраты на уплотнение и обеспечивается получение устойчивой плотности всей массы уплотненного грунта.

Кроме того, диаметр отверстия корпуса и внутренний диаметр рабочего торца втулки принимаются из условия пересечения в плане зон уплотнения грунта рабочими участками торцов втулки и корпуса, соответственно (смотри выражение (2)).

В полости втулки и отверстия корпуса монтирован с возможностью выемки из них сердечник.

Масса и диаметр нижнего основания трамбовки, высота ее сбрасывания подбираются из условия создания в грунте при нанесении удара нижним основанием корпуса с сердечником необходимых начальных динамических контактных напряжений  $P_1$ , которые можно принимать порядка 1...1,5 МПа.



а) при уплотнении грунта цилиндрическим корпусом с сердечником; б) при уплотнении грунта цилиндрическим корпусом; в) при уплотнении грунта втулкой; 1 – цилиндрический корпус; 2 – нижнее основание; 3 – верхнее основание; 4 – втулка; 5 – отверстие; 6 – полость втулки; 7 – рабочий торец втулки; 8 – сердечник; 9 – ступенчатый упор; 10 – зона уплотнения грунта; 11 – отпечаток трамбовки; 12, 13, 14 – устройства для зацепления; 15 – место пересечения зон уплотнения

**Рис. 2.** Схема кольцевой трамбовки, обеспечивающей трехстадийное уплотнение [4]

На первом этапе уплотнения путем многократного подъема и сбрасывания трамбовкой наносятся удары нижним основанием корпуса с сердечником с максимальной рабочей площадью, при этом в грунте создаются динамические контактные напряжения 1...1,5 МПа. На втором этапе вынимают сердечник и производят уплотнение грунта нижним основанием корпуса (кольцевым сечением), при этом, благодаря уменьшению рабочей площади контакта, создаются динамические контактные напряжения 1,3...1,8 МПа. На третьем этапе производят заключительный этап уплотнения путем нанесения ударов торцом втулки до отказа понижения поверхности, при этом, вследствие дальнейшего уменьшения рабочей площади контакта, создаются динамические контактные напряжения 1,6...2,1 МПа.

На всех этапах уплотнения точки уплотнения располагаются на расстоянии друг от друга, принимаемом из условия пересечения в плане зон уплотнения грунта рядом расположенных точек уплотнения.

Предлагаемые конструкции трамбовок обеспечивают повышение на 15–20% производительности при уплотнении грунта, что позволяет рекомендовать их к широкому внедрению в практике строительства.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пойта, П.С. Строительные свойства искусственных оснований. – Брест: Издательство БГТУ. – 2004. – С. 126.
2. А.С. 1289959 СССР, МКИ Е 02 D 3/046. Способ уплотнения связных грунтов трамбованием / В.Д. Зотов, Е.А. Сорочян, Ю.П. Кальнин, И.В. Ананьев, А.И. Семенов, Ш.М. Шлафман; Ростовский инженерно-строительный ин-т. – №3899039/29-33; Заявл.01.04.85; Опубл.15.02.87; Бюл.№6 // Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки. – 1987. – № 6.
3. А.С. 1335643 СССР, МКИ Е 02 D 3/046. Трамбовка для уплотнения грунта / Ю.П. Кальнин, В.Д. Зотов, А.И. Семенов; Ростовский инженерно-строительный ин-т. – №4048966/29-33; Заявл.04.04.86; Опубл.07.09.87; Бюл.№33 // Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки. – 1987. – № 33.
4. Трамбовка для уплотнения грунта: патент №2618 Респ. Беларусь, МПК7 Е 02 D 3/046 / В.Н. Пчелин, П.С. Пойта, В.П. Чернюк. – Учреждение образования "Брестский государственный технический университет" (ВУ); Заявл. 08.08.2005; Опубл. 30.04.2006; Бюл. № 2 // Афицыны бюлетень. – 2006. – № 1. – С. 183.

Материал поступил в редакцию 05.03.14

The new ring rammers providing two- and three-stage increasing of dynamic contact stresses in the soil and allowing increase the depth of seal by 15–20% with one-time reduction in energy consumption by 14% were developed to improve the efficiency soil sealing.

УДК 624.155.33.001.572

Юськович Г.И., Юськович В.И., Пчелин В.Н., Лешкевич Н.В.

## ЭНЕРГОЗАТРАТЫ ПРИ ПОГРУЖЕНИИ МОДЕЛЕЙ СВАЙ С ОБМАЗКАМИ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ОАО «ЖАБИНКОВСКИЙ САХАРНЫЙ ЗАВОД»

В проведенных экспериментальных исследованиях использовались для приготовления обмазочных составов отходы производства сахара ОАО «Жабинковский сахарный завод»: фильтрационный осадок (далее дефекат) и отходы в виде извести с примесями мусора, которые складываются на прилегающей к заводу территории. Следует отметить, что эти отходы частично используются для подщелачивания осветленных промывочных вод.

Пробы для проведения экспериментов, отобранные на территории их складирования, можно характеризовать как известьсодержащий материал, находящийся в плотном состоянии и содержащий (23...32)% твердых включений с размером частиц более 2,5 мм. Влажность составляет (58...73)%, активность (содержание  $\text{CaO}+\text{MgO}$ ) – 18...26%. При добавлении воды материал легко переходит в пастообразное состояние.

Дефекат представляет собой мелкодисперсный материал, в состав которого входит углекислый кальций, углекислый магний, а также азот (0,2...0,4)% N, фосфор (0,3...0,5)%  $\text{P}_2\text{O}_5$ , калий (0,3...0,5)%  $\text{K}_2\text{O}$ . При затворении дефеката водой образуется липкая тестообразная масса. Фильтрационный осадок вырабатывается по технологическому регламенту сахарного производства и должен соответствовать требованиям [1].

Исследования проводились на деревянных сваях-моделях, имитирующих традиционные сваи с размерами 6000х300х300 мм и углом заострения (углом сбега граней наконечника) 45°. Длина моделей была принята равной 1000 мм, размеры поперечного сечения – 50х50 мм, угол заострения наконечника – 45°. В центре торцевой части оголовка сваи предусмотрено отверстие  $\varnothing 12$  мм и длиной 50 мм для установки металлического стержня  $\varnothing 10$  мм, служащего в качестве направляющей при падении ударного груза.

Забивка моделей осуществлялась с помощью свободно падающего груза цилиндрической формы массой 2,5 кг, скользящего по направляющей металлической штанге длиной 1800 мм, зафиксированной в осевом отверстии сваи. Модели свай погружались в грунт на глубину 800 мм. Соотношение масс ударного груза и моделей свай находилось в пределах 1:(1,58...1,60).

Сущность методики проводимых опытов заключалась в замере числа ударов и определении энергозатрат на погружение моделей свай с применением и без применения обмазочных составов. Высота падения груза была принята равной 1 м. Число ударов груза подсчитывалось на каждые 100 мм погружения свай в грунт, а на последних 100 мм – на каждые 10 мм, для чего выполнялась разметка на боковой поверхности модели. Сваи забивались рядом друг с другом на расстоянии не менее шести размеров стороны поперечного сечения ствола, то есть не менее 0,3 м для исключения влияния напряжений в грунте, возникающих при забивке. В опытах фактическое расстояние между погружаемыми моделями принималось равным 0,3...0,35 м.

Эксперименты проводились в полевых условиях на площадках, расположенных за пределами территории УО БрГТУ. Грунты на экспериментальных площадках были представлены глиной мягкопластичной консистенции и песками разной крупности.

В грунт погружались сваи-модели с применением и без приме-

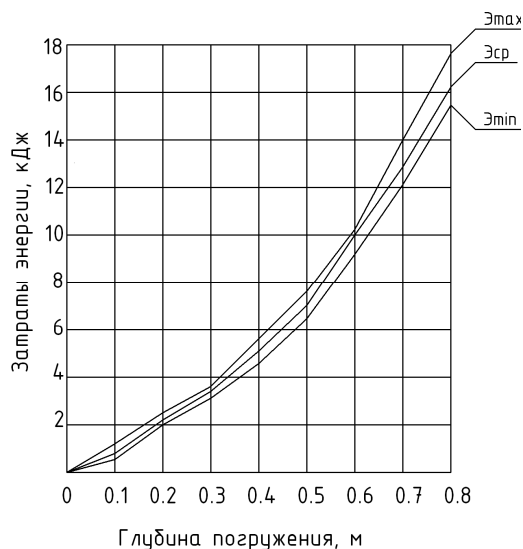
нения обмазывающих составов. В качестве обмазок использовались водные эмульсии отходов сахарного производства ОАО «Жабинковский сахарный завод». Обмазочные составы готовились путем перемешивания с водой порошкообразных известьсодержащего материала или дефеката в соотношении 1:0,25 (25%) и 1:0,5 (50%) и имели жидкую консистенцию. К стволу моделей свай обмазки подавались путем их подлива к боковой поверхности в процессе забивки. Число параллельных опытов, проведенных в одинаковых условиях, принималось равным 8. Для каждой серии параллельных опытов определялось среднее арифметическое значение числа ударов груза.

Для проведения опытов на экспериментальной площадке устанавливались участки с однородными грунтами. С этой целью разрабатывались шурфы глубиной около 1 м и оценивались вид и состояние грунта. В точке погружения каждой модели устраивался приямок глубиной до 100 мм, который в процессе забивки заполнялся обмазочным составом.

Результаты полевых испытаний моделей свай в глинистых грунтах пояснены ходограммами погружения, показанными на рисунке 1.

Статистическая обработка результатов экспериментальных исследований энергозатрат при погружении моделей свай в глинистые грунты показала, что обмазка ствола сваи, а также вид обмазки, оказывают значительное влияние на энергоемкость погружения.

Анализ энергоемкости погружения моделей показывает, что при применении обмазок энергозатраты существенно снижаются в первоначальный период погружения при заглублении сваи примерно на 2/3 ее длины. При дальнейшей забивке затраты энергии возрастают, что объясняется недостаточным проникновением и, соответственно, недостаточной обмазкой ствола эмульсиями.



а)

Юськович Георгий Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительного производства Брестского государственного технического университета.

Лешкевич Николай Васильевич, старший преподаватель кафедры технологии строительного производства Брестского государственного технического университета

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

Строительство и архитектура