

$$\frac{2d_{mp}^2 l(1+e_{yn})}{1+e_{yn}} - 2d_{mp}^2 h_1 - d_{mp}^3 = x^3 - x^2 d_{mp} - d_{mp}^2 x \quad (6)$$

Выражение (6) можно записать в виде

$$x^3 - d_{mp} x^2 - d_{mp}^2 x + k = 0, \quad (7)$$

где

$$k = 2d_{mp}^2 \cdot h_1 - d_{mp}^3 - \frac{2d_{mp}^2 l(1+e_{yn})}{1+e_0}.$$

Выполнив замену $x = y - \frac{(-d_{mp})}{3}$, сведем выражение

(7) к неполному кубическому уравнению, вида

$$y^3 + Py + q = 0, \quad (8)$$

где

$$P = -\frac{(d_{mp})^2}{3} + (-d_{mp}^2); \quad (9)$$

$$q = 2\left(\frac{-d_{mp}}{3}\right)^3 - \frac{(-d_{mp})(-d_{mp}^2)}{3} + k. \quad (10)$$

Корни "неполного" кубического уравнения вычислим по формулам Кардано. Здесь представляют интерес только действительные корни.

$$y = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{\left(\frac{p}{3}\right)^3 + \left(\frac{q}{3}\right)^2}} + \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{\left(\frac{p}{3}\right)^3 + \left(\frac{q}{3}\right)^2}} \quad (11)$$

УДК 624.131

Пойта П.С., Тарасевич А.Н., Рубанов В.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ФОРМИРОВАНИЕ ЗОНЫ УПЛОТНЕННОГО ГРУНТА, НА ВЕЛИЧИНУ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ТОЧКАМИ УДАРА ТРАМБОВКИ

Уплотнение грунтов тяжелыми трамбовками широко используется при устройстве искусственных оснований. Однако эффективность интенсивного динамического уплотнения грунтов зависит от ряда технологических параметров [1, 2]. Весьма важное значение, при уплотнении грунтов тяжелыми трамбовками, имеет величина расстояния между точками удара трамбовки. Если это расстояние велико, то невозможно получить однородное по плотности уплотненное основание. При близком расположении точек удара трамбовкой друг от друга в значительной степени теряется эффективность интенсивного ударного уплотнения грунтов. В связи с этим нами решена задача определения оптимального расстояния между точками уплотнения грунта трамбовками, в основу которой, положено размещение точек удара трамбовки в вершинах равностороннего треугольника. На рис. 1 показана развертка схемы уплотнения грунта в вершинах равностороннего треугольника.

Расстояние L между точками уплотнения грунта тяжелыми трамбовками, диаметром d_{mp} , можно определить исходя из следующих рассуждений. Площадь части сектора отпечат-

Выполнив анализ выражения (11) с использованием программного комплекса "Математика", и задавая различные значения параметров d_{mp} , ρ_d , ρ_s^{mp} , можно получить диаметр зоны, уплотненной до требуемой плотности.

Выводы.

Полученные результаты определения размеров зоны уплотненного грунта имеют несколько приближенный характер. Вместе с тем они являются хорошей основой, учитывающей многообразие факторов, влияющих на формирование зоны уплотненного грунта, позволяющей с достаточной степенью точности определить ее параметры.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Зарецкий Ю.К., Гарицелов М.Ю. Глубинное уплотнение грунтов ударными нагрузками. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 192с.
2. Пойта П.С., Тарасевич А.Н. Исследование зоны уплотнения грунта при применении тяжелых трамбовок // Тезисы докладов научно-технической конференции «Архитектура и строительные конструкции», Новосибирск, 1992, с. 69 - 70.
3. Макарук П.Н., Пойта П.С., Тарасевич А.Н. Исследование зоны уплотнения грунтов // Тезисы докладов юбилейной научно-технической конференции, посвященной 25-летию института, часть II, Брест, 1991, с. 14.
4. Петров М.С. Опыт уплотнения смеси песчаных и глинистых грунтов на Загорской ГАЭС методом интенсивного ударного уплотнения / Минэнерго СССР. Экспрессинформ. Сер. Стр-во гидроэлектростанций и монтаж оборудования. 1986. №11. С. 11-15.

ка трамбовки равна 1/6 всей площади ее подошвы. В площадь треугольника входит три таких сектора, составляющие в сумме половину площади подошвы трамбовки, т.е.

$$A_s = \frac{\pi d_{mp}^2}{8}.$$

Площадь треугольника равна

$$A = \frac{L^2 \sqrt{3}}{4}.$$

Обозначим требуемую глубину уплотнения грунта через L . Тогда объем твердых частиц в единице объема грунта до уплотнения будет равен

$$V_{m.ч.} = \frac{1}{1+e_0} = \frac{\rho_d}{\rho_s},$$

где e_0 – коэффициент пористости грунта природного сложения;

ρ_d – плотность сухого грунта природного сложения;

ρ_s – плотность частиц.

Тарасевич Алексей Николаевич, к.т.н., доцент каф. оснований, фундаментов, инженерной геологии и геодезии Брестского государственного технического университета.

Рубанов Владимир Степанович, к.ф.-м.н., доцент, зав. каф. высшей математики Брестского государственного технического университета.

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

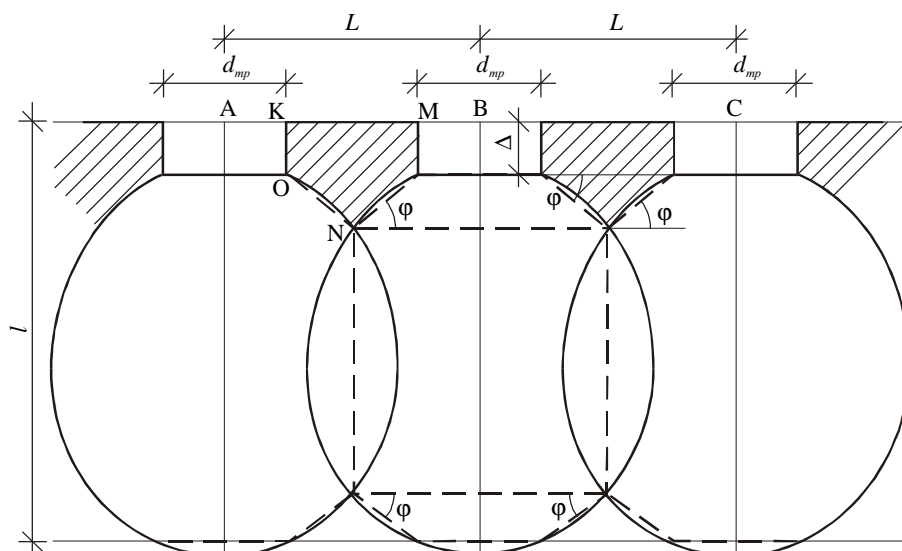


Рис. 1. Развертка схемы уплотнения грунта в вершинах равностороннего треугольника.

Объем твердых частиц в единице объема грунта после уплотнения равен

$$V_{м.ч.}^1 = \frac{1}{1 + e_{yn}} = \frac{\rho_d^{mp}}{\rho_s},$$

где e_{yn} – среднее значение коэффициента пористости грунта после уплотнения;

ρ_d^{mp} – среднее значение плотности сухого грунта после уплотнения, или требуемая в проекте уплотнения плотность сухого грунта.

Объем треугольной призмы, образованный плоскостями проходящими по трем точкам трамбования и высотой l , будет равен

$$V_n = \frac{\sqrt{3}}{4} L^2 l.$$

Объем пространства между отпечатками

$$V_{н} = \frac{\sqrt{3}}{4} L^2 \delta - \frac{\pi d_{mp}^2}{2} \delta,$$

где δ – глубина отпечатка образовавшегося при трамбовании; d_{mp} – диаметр трамбовки.

Одну шестую объема межконусного пространства найдем вычислив двойной интеграл при угле 30° (рис. 2).

$$V'_k = \iint_D (z_1 - z_2) dx dy, \quad (1)$$

где $z_1 = -\frac{d_{mp}}{2} \operatorname{tg} \varphi$ – верхняя плоскость конуса (отпечаток трамбовки;

$$z_2 = -\operatorname{tg} \varphi \sqrt{x^2 + y^2} \text{ – уравнение конуса.}$$

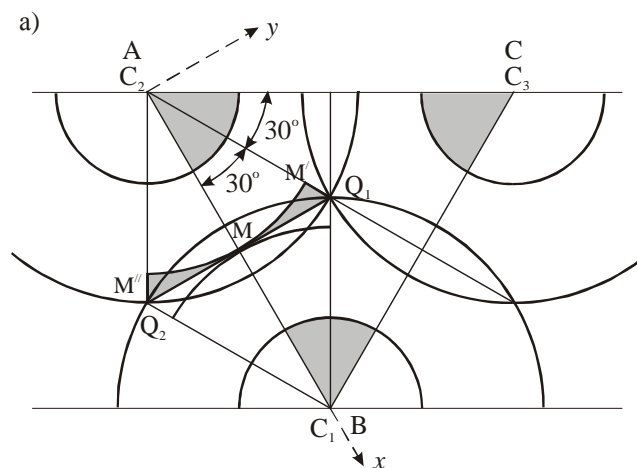
Подставляя выражения z_1 и z_2 в уравнение (1) и переходя к полярным координатам получим

$$V'_k = \operatorname{tg} \varphi \iint_D \left(-\frac{d_{mp}}{2} + \sqrt{x^2 + y^2} \right) dx dy =$$

$$\begin{aligned} &= \operatorname{tg} \varphi \int_0^{\frac{\pi}{6}} \left[\int_{\frac{d}{2}}^{\frac{L}{2 \cos \theta}} \left(-\frac{d_{mp}}{2} + r \right) r dr \right] d\theta = \\ &= \operatorname{tg} \varphi \int_0^{\frac{\pi}{6}} \left[\left(-\frac{r^2 d_{mp}}{4} + \frac{r^3}{3} \right) \Big|_{\frac{d}{2}}^{\frac{L}{2 \cos \theta}} \right] d\theta = \\ &= \operatorname{tg} \varphi \int_0^{\frac{\pi}{6}} \left(-\frac{L^2 d_{mp}}{16 \cos^2 \theta} + \frac{L^3}{24 \cos^3 \theta} - \frac{d_{mp}^3}{24} + \frac{d_{mp}^3}{16} \right) d\theta = \\ &= \frac{\operatorname{tg} \varphi}{48} \int_0^{\frac{\pi}{6}} \left(-\frac{3L^2 d_{mp}}{\cos^2 \theta} + \frac{2L^3}{\cos^3 \theta} + d_{mp}^3 \right) d\theta = \\ &= \frac{\operatorname{tg} \varphi}{48} \left[\frac{\pi d_{mp}^3}{6} + 2L^3 \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{4} \ln 3 \right) - \sqrt{3} L^2 d_{mp} \right], \end{aligned}$$

где $x = r \cos \theta, y = r \sin \theta, dx dy = r dr d\theta$,

φ – угол наклона образующей конуса.



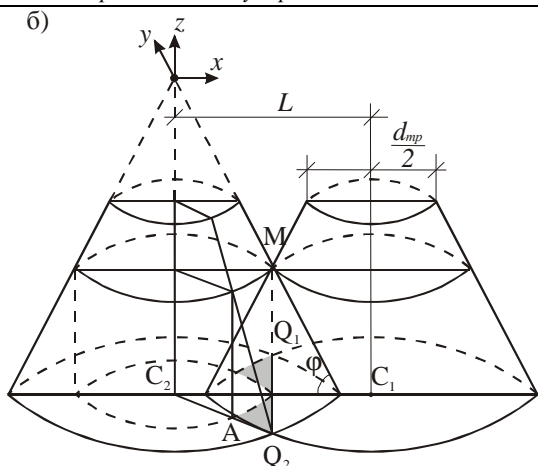


Рис. 2. Схема для определения объема межконусного пространства:
а) расположение зон уплотнения грунта; б) сопряжение конусных частей зон уплотнения грунта.

Тогда объем твердых частиц до уплотнения

$$V_{до} = V_n - V_m - V_k = V_n - 12V'_k - V_m,$$

а объем твердых частиц после уплотнения

$$V_{но} = V_n - 12V'_k - V_m - \frac{\pi d_{mp}^2}{2} \delta.$$

Исходя из того, что объем твердых частиц до уплотнения и объем твердых частиц после уплотнения равны, имеем следующее соотношение

$$\frac{\rho_d}{\rho_s} V_{до} = \frac{\rho_d^{mp}}{\rho_s} V_{но}$$

или $\rho_d V_{до} = \rho_d^{mp} V_{но}.$

Подставим выражения объемов в (5.13).

$$\begin{aligned} & \rho_d \left\{ \frac{\sqrt{3}}{4} L^2 l - \left(\frac{\sqrt{3}}{4} L^2 \delta - \frac{\pi d_{mp}^2}{2} \delta \right) - \right. \\ & \left. - \frac{tg\varphi}{4} \left[\frac{\pi d_{mp}^3}{6} + 2L^2 \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{4} \ln 3 \right) - \sqrt{3} L^2 d_{mp} \right] \right\} = \\ & = \rho_d^{mp} \left\{ \frac{\sqrt{3}}{4} L^2 l - \left(\frac{\sqrt{3}}{4} L^2 \delta - \frac{\pi d_{mp}^2}{2} \delta \right) - \right. \\ & \left. - \frac{tg\varphi}{4} \left[\frac{\pi d_{mp}^3}{6} + 2L^2 \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{4} \ln 3 \right) - \sqrt{3} L^2 d_{mp} \right] \right\} - \\ & - \rho_d^{mp} \frac{\pi d_{mp}^2}{2}. \end{aligned}$$

Приведа подобные, получим уравнение

$$\begin{aligned} & - \frac{tg\varphi}{2} \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{4} \ln 3 \right) (\rho_d - \rho_d^{mp}) L^3 + \\ & + \left(\frac{\sqrt{3}}{4} l - \frac{\sqrt{3}}{4} \delta + \frac{\sqrt{3}}{4} tg\varphi \cdot d_{mp} \right) (\rho_d - \rho_d^{mp}) L^2 + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & + \left(\frac{\pi d_{mp}^2}{2} \delta - \frac{\pi}{24} tg\varphi \cdot d_{mp}^3 \right) (\rho_d - \rho_d^{mp}) - \\ & - \rho_d^{mp} \frac{\pi d_{mp}^2}{2} \delta = aL^3 + bL^2 + c = 0. \end{aligned}$$

Решение уравнения можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} L = & \sqrt[3]{-\frac{c}{2a} - \left(\frac{b}{3a}\right)^3} + \sqrt{\left[-\frac{1}{9}\left(\frac{b}{a}\right)^2\right]^3} + \left[2\left(\frac{b}{3a}\right)^3 + \frac{d}{a}\right]^2} + \\ & + \sqrt[3]{-\frac{c}{2a} - \left(\frac{b}{3a}\right)^3} + \sqrt{\left[-\frac{1}{9}\left(\frac{b}{a}\right)^2\right]^3} + \left[2\left(\frac{b}{3a}\right)^3 + \frac{d}{a}\right]^2}, \end{aligned} \quad (3)$$

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

$$b = \left(\frac{\sqrt{3}}{4} l - \frac{\sqrt{3}}{4} \delta + \frac{\sqrt{3}}{4} tg\varphi \cdot d_{mp} \right) (\rho_d - \rho_d^{mp});$$

$$c = \left(\frac{\pi d_{mp}^2}{2} \delta - \frac{\pi}{24} tg\varphi \cdot d_{mp}^3 \right) (\rho_d - \rho_d^{mp}) - \rho_d^{mp} \frac{\pi d_{mp}^2}{2} \delta.$$

Анализ полученного решения выполнен с помощью прикладного пакета "Математика" на ПЭВМ.

Из рис. 2 видно, что величина расстояния между точками трамбования будет зависеть от угла наклона секущей прямой к горизонту, т.е. от угла φ . Очевидно, что необходимо установить возможные пределы изменения угла φ , а также его минимальное и максимальное значения, при которых всегда будет обеспечена требуемая плотность грунта основания.

Выполненные нами исследования формирования зон уплотнения грунта при уплотнении трамбовками различной энергией удара, примененных в различных инженерно-геологических условиях показали, что угол φ может меняться от 22° до 50°. С учетом этого, нами был выполнен анализ влияния угла наклона секущей на величину расстояния между точками трамбования (рис. 3).

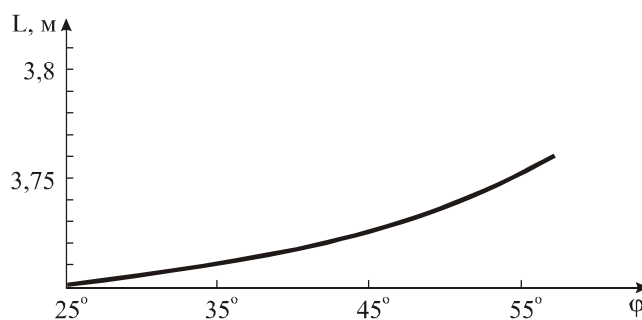


Рис. 3. Влияние угла наклона секущей на величину расстояния между точками трамбования.

Влияние угла наклона φ на величину L получено при постоянном значении мощности уплотняемого слоя.

Из графика (рис. 3) видно, что при увеличении угла φ расстояние между точками трамбования увеличивается. Объясняется это тем, что при трамбовании грунта происходит вдавливание твердых частиц грунта, расположенных под подошвой трамбовки в глубь и в периферийную зону. Если исходный грунт находится в рыхлом состоянии, то при первых

ударах трамбовки происходит в основном уплотнение в пределах цилиндра, образуемого подошвой трамбовки. При последующих ударах в большей степени происходит уплотнение грунта в периферийной зоне. Для таких грунтов значение угла ϕ будет иметь максимальное значение. Если же уплотнить достаточно плотные грунты, то с самого начала уплотнения будет преобладающим процесс расширения периферийной зоны, т.е. угол ϕ будет иметь минимальное значение.

Общая картина уплотнения грунта дана Ю.К. Зарецким и М.Ю. Гарицеловым [1, 2], которая предполагает вначале сжатие центрального столба грунта, которое затем сопровождается радиальным расширением, которое в свою очередь вызывает радиальное сжатие в окружающем грунте периферийной зоны. Таким образом, центральный столб грунта в результате прохождения по нему продольной волны становится источником еще одного фронта продольной волны, распространяющегося в радиальном направлении.

Следует отметить, что в целом, влияние угла ϕ на величину расстояния между точками трамбования незначительно. Из рис. 3 видно, что при изменении ϕ от 25° до 55° расстояние между точками удара изменилось всего на 5 см, что, учитывая весьма значительную неоднородность грунтов, позволяет сделать вывод об отсутствии какого-нибудь существенного влияния на величину L .

Выводы.

1. Полученное выражение определения оптимального расстояния между точками удара трамбовки при интенсивном

УДК 628.337

Яловая Н.П.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОБЕСКРЕМНИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

К воде, используемой в теплоэнергетике, целлюлозно-бумажном производстве, химико-фармацевтической и др. видах промышленности предъявляются жесткие требования к содержанию соединений кремния [1], являющихся основным компонентом силикатных накипей.

Повышенным содержанием кремния характеризуется вода р. Мухавец (табл. 1), которую потребляют ТЭЦ, электроламповый завод, ковровый и чулочный комбинаты и др. предприятия г. Бреста.

Таблица 1. Показатели качества воды р. Мухавец*

Наименование показателей	Единицы измерения	Значения показателей
Цветность	град	70
Мутность	мг/дм ³	65
Общая жесткость	мг-экв/дм ³	3,8
Хлориды	мг/дм ³	33
Сульфаты	мг/дм ³	49
Гидрокарбонаты	мг/дм ³	54
Железо общее	мг/дм ³	1,2
Кремний, SiO ₂	мг/дм ³	14,2
Растворенный кислород	мг/дм ³	8,2
Окисляемость	мг O ₂ /дм ³	13,8
pH		7,9

* **Примечание.** Отбор проб воды из р. Мухавец проводился в летне-осенний период; средняя температура воды 20°C.

Яловая Наталья Петровна, ст. преподаватель каф. инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.

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

Физика, математика, химия

динамическом уплотнении грунтов позволяет получить однородное по площади и по глубине основание, уплотненное до требуемой плотности. При проектировании уплотнения грунтов тяжелыми трамбовками обеспечение требуемого качества уплотнения при минимальных энергозатратах возможно только при условии соблюдения рекомендаций по выбору оптимального расстояния между точками удара трамбовки.

2. Установлено, что для различных инженерно-геологических условий и технологических параметров уплотнения угол наклона секущей меняется от 22° до 50°. В этом диапазоне изменения угла ϕ его влияние на величину оптимального расстояния между точками удара трамбовки весьма незначительно.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Зарецкий Ю.К., Гарицелов М.Ю. Глубинное уплотнение грунтов ударными нагрузками. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 192с.
2. Петров М.С. Опыт уплотнения смеси песчаных и глинистых грунтов на Загорской ГАЭС методом интенсивного ударного уплотнения / Минэнерго СССР. Экспресс-информ. Сер. Стр-во гидроэлектростанций и монтаж оборудования. 1986. №11. С. 11-15.
3. Пойта П.С., Тарасевич А.Н. Исследование зоны уплотнения грунта при применении тяжелых трамбовок // Тезисы докладов научно-технической конференции «Архитектура и строительные конструкции», Новосибирск, 1992, с. 69 - 70.

Существующие химические методы удаления кремния из воды громоздки, требуют больших расходов реагентов, дорогостоящих ионообменных материалов.

Нами исследован электрохимический метод обескремнивания воды р. Мухавец в электролизере с растворимым алюминиевым анодом.

Для выбора наиболее оптимального технологического режима и области применения электрохимического метода изучено влияние анионного и катионного состава минеральных примесей воды на качество очистки ее от соединений кремния электрохимически получаемым гидроксидом алюминия.

Минеральный состав исходных проб воды был ограничен содержанием анионов Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻ и катионов Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, что характерно для большинства природных пресных вод [1, 2]. Исходные растворы готовили из химически чистых солей NaCl, Na₂SO₄, NaHCO₃, CaCl₂, MgCl₂ в профильтрованной речной воде с учетом содержания в ней основных анионов и катионов. Общая концентрация солей - 2,5; 5 и 10 мг-экв/дм³. Для каждой диаграммы исследовали 15 составов, т.е. концентрация анионов в соседних точках отличалась на 25%. В той части диаграммы, где соединения кремния удалялись трудно, исследовались промежуточные точки для более точного определения границ очистки воды.

Исследования проводились в непроточном электролизере с использованием анодов из листового алюминия и катодов из нержавеющей стали при анодной плотности тока 2 мА/см², температуре воды 18-20°C, концентрацией SiO₂ в речной воде 14,2 мг/дм³. Содержание в воде кремния определяли на фотометре фотоэлектрическом КФК-3, алюминия - по методике [3], водородный показатель - электрометрическим методом на иономере И-130.2М.1.