

МРНТИ 67.13.21

И.И. Бекбасаров¹ – основной автор, | ©
Е.И. Атенев², Н.А. Шаншабаев³



¹Д-р техн. наук, ^{2,3}PhD

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0003-3250-7853> ²<https://orcid.org/0000-0002-2907-6610>

³<https://orcid.org/0000-0003-4930-0488>



^{1,2,3}Таразский университет им. М.Х. Дулати



Тараз, Казахстан



¹ii.bekbasarov@dulaty.kz

<https://doi.org/10.55956/GBLG7952>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА СУХОГО ГРУНТА, НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ ВЫШТАМПОВЫВАНИЯ ТРАНШЕЙ В ВОДОНАСЫЩЕННОМ ГРУНТЕ

Аннотация. Представлены результаты решения задачи по определению количества сухого грунта, необходимого для выштамповывания траншеи в водонасыщенном грунте. Исходные уравнения составлены на основе принципа равенства масс и принципа равенства объемов. Принцип равенства масс допускает, что масса грунтовой смеси, которая образуется в виде уплотненной оболочки вокруг траншеи (при выштамповывании), состоит из массы водонасыщенного грунта и массы сухого грунта (в перемешанном виде). Принцип равенства объемов допускает, что объем твердых частиц сухого грунта равен сумме объемов пор водонасыщенного и сухого грунтов. Получены формулы, которые позволят определять количество сухого грунта с учетом ряда физических параметров самого сухого грунта, водонасыщенного грунта и уплотненной грунтовой смеси, которая образуется из первых двух указанных грунтов. Формулы позволяют получать неодинаковые результаты, и подлежат экспериментальной проверке.

Ключевые слова: водонасыщенный грунт, сухой грунт, грунтовая смесь, масса, объем, плотность, влажность, пористость, максимальная плотность, оптимальная влажность.



Бекбасаров, И.И. Определение количества сухого грунта, необходимого для выштамповывания траншей в водонасыщенном грунте [Текст] / И.И. Бекбасаров, Е.И. Атенев, Н.А. Шаншабаев // Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №1(91). – С.297-306. <https://doi.org/10.55956/GBLG7952>

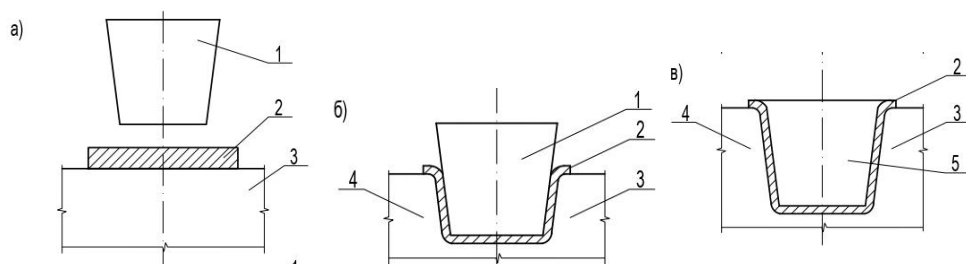
Введение. Метод вытрамбовывания котлована, выемок и полостей, а также метод выштамповывания траншей и скважин в грунтовой толще, используемые при устройстве оснований и фундаментов зданий и сооружений, первоначально разрабатывались применительно к просадочным и насыпным грунтам с целью их уплотнения [1,2]. В последующем, данные методы были распространены и на другие виды грунтов, в том числе на:

- крупнообломочные грунты (гравийные и галечниковые с глинистым заполнителем) [3];

- глинистые грунты с плотностью в сухом состоянии более 1,7 т/м³ [4];

- пылеватые и мелкие пески, рыхлого сложения и средней плотности (содержащие глинистые частицы) [5-7];
- засоленные грунты [8-10];
- водонасыщенные грунты [11].

Использование как метода вытрамбовывания, так и метода выштамповывания в перечисленных грунтах характеризуется рядом технологических особенностей, которые непосредственно связаны с их свойствами и состоянием. Так, вытрамбовывание котлована в водонасыщенном (увлажненном или переувлажненном) грунте осуществляется путем механического внедрения в него сухого (или маловлажного) грунта в процессе подготовки котлована. Технологически данная процедура для процесса выштамповывания траншеи реализуется следующим образом (рис.1). Поверх водонасыщенного грунта, укладывается слой сухого (маловлажного) грунта, и выштамповывание траншеи производится через этот грунт. В результате, вокруг готовой траншеи, формируется уплотненная оболочка, состоящая из смеси сухого и водонасыщенного грунтов. Влажность грунтовой смеси в пределах уплотненной оболочки близка к оптимальной влажности, а ее плотность – к максимальной плотности.



1 – штамп; 2 – слой сухого грунта; 3 – водонасыщенный грунт; 4 – уплотненная грунтовая оболочка; 5 – выштампованная траншея.

Рис. 1. Схема к процессу выштамповывания траншеи в водонасыщенном грунте: укладка слоя сухого грунта (а); забивка штампа (б); траншея с уплотненной грунтовой оболочкой (в).

Рассмотренный технологический способ позволяет облегчать процесс подготовки котлована и улучшать качество формирования его боковых стенок и дна. Эффективность способа во многом зависит от того, насколько правильно будет принято (назначено) количество сухого грунта, укладываемого поверх водонасыщенного грунта, так как именно этот объем сухого грунта вовлекается трамбовкой для формирования уплотненной оболочки вокруг котлована. Традиционно необходимое количество сухого грунта устанавливается только опытным путем в условиях строительной площадки. Такой подход, несмотря на его высокую достоверность, трудоемок и продолжителен во времени.

Исходя из изложенных доводов, можно утверждать, что разработка метода определения количества сухого грунта, необходимого для вытрамбовывания котлована или выштамповывания траншеи в водонасыщенном грунте является актуальным явлением. Наличие подобного достоверного инженерного метода позволит уже на стадии проектирования

устанавливать количество необходимого сухого грунта, без особых затрат времени и средств.

Методы и материалы. В настоящей работе рассмотрены два варианта решения задачи по определению количества сухого грунта, необходимого для внесения в водонасыщенный грунт. Задача решена применительно к процессу выштамповывания траншеи (котлована), но ее решения могут быть использованы и для случая вытрамбовывания котлованов.

В первом варианте основное уравнение задачи формируется исходя из равенства масс, а именно условно принимается, что масса грунтовой смеси, которая образуется в виде уплотненной оболочки вокруг траншеи (при выштамповывании), состоит из массы водонасыщенного и массы сухого грунтов (в перемешанном виде).

Во втором варианте основное уравнение задачи формируется исходя из равенства объемов, а именно условно принимается, что объем твердых частиц сухого грунта равен сумме объемов пор водонасыщенного и сухого грунтов.

Известно, что теоретически не представляется возможным, точно оценить какое количество водонасыщенного грунта будет вовлекаться в процесс его динамического перемешивания с сухим грунтом при выштамповывании траншеи. Учитывая данное обстоятельство, а также основные условия подготовки траншеи, при выводе основных зависимостей метода приняты следующие исходные предпосылки:

- водонасыщенный грунт, в котором выштамповывается траншея, залегает с поверхности площадки;
- выштамповывание траншеи в водонасыщенном грунте осуществляется через слой сухого грунта;
- объем водонасыщенного грунта, участвующего в процессе формирования уплотненной грунтовой оболочки вокруг траншеи, равен объему сухого грунта;
- сумма массы водонасыщенного грунта и массы сухого грунта равна массе уплотненной грунтовой смеси, из которой состоит уплотненная грунтовая оболочка;
- влажность уплотненной грунтовой оболочки равна, или близка к оптимальной влажности грунтовой смеси, а ее плотность – к максимальной плотности.

Перечисленные условия позволяют считать, что плотность грунтовой смеси, получаемой после механического (ударного) перемешивания сухого и водонасыщенного грунтов, формируется только за счет перераспределения части воды из водонасыщенного грунта в сухой грунт.

Результаты исследований. Первый вариант. Для данного варианта основное уравнение может быть записано в следующем виде:

$$m_{\text{в}} + m_{\text{с}} = m_{\text{см}}, \quad (1)$$

где: $m_{\text{в}}$ - масса водонасыщенного грунта; $m_{\text{с}}$ - масса сухого грунта; $m_{\text{см}}$ - масса уплотненной грунтовой смеси с оптимальной влажностью.

Выражая массу грунта через ее плотность и объем, уравнение (1) можно представить в виде:

$$\rho_{\text{в}}V_{\text{в}} + m_{\text{с}} = \rho_{\text{см}}V_{\text{см}}, \quad (2)$$

где: ρ_B, V_B - соответственно плотность и объем водонасыщенного грунта; $\rho_{см}, V_{см}$ - соответственно плотность и объем грунтовой смеси.

Из уравнения (2) можно получить формулу по определению массы сухого грунта в следующем виде:

$$m_c = \rho_{см} V_{см} - \rho_B V_B, \quad (3)$$

Учитывая, что объем водонасыщенного грунта V_B равен объему сухого грунта V_c , формула (3) может быть представлена в виде:

$$m_c = (2\rho_{см} - \rho_B) V_c, \quad (4)$$

Выражая плотность грунта через плотность грунта в сухом состоянии, а также учитывая, что после выштамповывания траншеи, влажность смеси должна достичь оптимальной влажности, а ее плотность в сухом состоянии – максимальной плотности, формулу (4) можно преобразовать в следующий вид:

$$m_c = [2\rho_{d,см,max}(1 + W_{o,см}) - \rho_{d,B}(1 + W_B)] V_c, \quad (5)$$

где: $\rho_{d,см,max}$ – максимальная плотность грунтовой смеси в сухом состоянии; $W_{o,см}$ – оптимальная влажность грунтовой смеси; W_B – влажность водонасыщенного грунта; $\rho_{d,B}$ – плотность водонасыщенного грунта в сухом состоянии.

В формуле (5) оптимальная влажность смеси $W_{o,см}$ и ее максимальная плотность в сухом состоянии $\rho_{d,см,max}$ устанавливаются на основе лабораторных опытов в соответствии с требованиями стандарта [12]. Влажность водонасыщенного грунта W_B определяется согласно требований стандарта [13].

Объем сухого грунта в данной формуле можно определять по следующей формуле:

$$V_c = \varepsilon A_c h_c, \quad (6)$$

где: A_c, h_c - соответственно площадь и толщина сухого грунта, подстилаемого поверху водонасыщенного грунта; ε - коэффициент, определяющий долю объема сухого грунта, вносимого в водонасыщенный грунт от его первоначального объема.

Коэффициент ε в формуле (6) меньше 1,0, так как не весь объем слоя сухого грунта, уложенного поверху водонасыщенного грунта, участвует в формировании уплотненной оболочки, вокруг траншеи при ее подготовке.

С учетом формулы (6) и коэффициента ε формула (5) окончательно может быть представлена в следующем виде:

$$m_c = [2\rho_{d,см,max}(1 + W_{o,см}) - \rho_{d,B}(1 + W_B)] \varepsilon A_c h_c, \quad (7)$$

Второй вариант. К ранее принятым исходным предпосылкам, дополнительно примем, что сумма объема пор водонасыщенного и объема пор сухого грунтов равна объему твердых частиц сухого грунта.

Из этого следует, что твердые частицы сухого грунта при его принудительном перемешивании с водонасыщенным грунтом заполняют объем пор, в которых часть заполнена поровой водой. Это относится к объему пор, как самого сухого грунта, так и к объему пор водонасыщенного грунта. Исходя из принятого допущения, можно записать следующее уравнение:

$$(V_B^п + V_{BW}^п) + (V_C^п + V_{CW}^п) = V_C^{TB}, \quad (7)$$

где: $V_B^п$ - объем пустот в порах водонасыщенного грунта; $V_C^п$ - объем пустот в порах сухого грунта; $V_{BW}^п$ - объем воды в порах водонасыщенного грунта; $V_{CW}^п$ - объем воды в порах сухого грунта; V_C^{TB} - объем твердых частиц сухого грунта.

Равенство (7) можно представить в виде формулы (8), а затем и в виде формулы (9).

$$(V_B^п + V_C^п) + (V_{BW}^п + V_{CW}^п) = V_C^{TB}, \quad (8)$$

$$V_{CM}^п + V_{CMW}^п = V_C^{TB}, \quad (9)$$

где: $V_{CM}^п$ - объем пустот в порах грунтовой смеси; $V_{CMW}^п$ - объем воды в порах грунтовой смеси.

Примем следующие соотношения [14]:

$$V_{CMW}^п = S_{r,CM} V_{CM}^{пор}, \quad (10)$$

$$V_{CM}^п = \mu V_{CM}^{пор}, \quad (11)$$

$$V_C^{TB} = m_C^{TB} / \rho_{SCM}, \quad (12)$$

где: $S_{r,CM}$ - степень влажности грунтовой смеси; $V_{CM}^{пор}$ – объем пор грунтовой смеси; μ - коэффициент, определяющий долю объема пустот в порах грунтовой смеси; m_C^{TB} - масса твердых частиц грунтовой смеси; $\rho_{S,CM}$ - плотность твердых частиц смеси.

Учитывая соотношения (10)-(12) уравнение (9) можно преобразовать в следующий вид:

$$\mu V_{CM}^{пор} + S_{r,CM} V_{CM}^{пор} = V_{CM}^{пор} (\mu + S_{r,CM}) = m_C^{TB} / \rho_{SCM}, \quad (13)$$

Примем следующее отношение [14]:

$$V_{CM}^{пор} = n_{CM} V_{CM}, \quad (14)$$

где: n_{CM} - пористость грунтовой смеси.

С учетом отношения (14) уравнение (13) можно записать в виде:

$$n_{CM} V_{CM} (\mu + S_{r,CM}) = m_C^{TB} / \rho_{S,CM}, \quad (15)$$

Из уравнения (15) можно получить формулу по определению массы твердых частиц сухого грунта в следующем виде:

$$m_c^{TB} = \rho_{s,cm} n_{cm} V_{cm} (\mu + S_{r,cm}), \quad (16)$$

В данной формуле плотность твердых частиц $\rho_{s,cm}$, пористость n_{cm} и степень влажности $S_{r,cm}$ смеси предварительно устанавливаются соответственно по формулам (16), (17) и (18) [14]:

$$\rho_{s,cm} = (\rho_{sb} + \rho_{sc})/2, \quad (17)$$

$$n_{cm} = e_{cm}/(1 + e_{cm}), \quad (18)$$

$$S_{r,cm} = W_{o,cm} \rho_{s,cm} / e_{cm} \rho_w, \quad (19)$$

$$e_{cm} = (\rho_{s,cm} - \rho_{d,cm,max}) / \rho_{d,cm,max}, \quad (20)$$

где: e_{cm} - коэффициент пористости грунтовой смеси.

Коэффициент μ в формуле (16) будет всегда меньше 1,0 и может быть установлен из уравнения (21) в виде выражения (22)

$$(V_{cmw}^p / V_{cm}^{пор}) + (V_{cm}^p / V_{cm}^{пор}) = (S_{r,cm} + \mu) = 1, \quad (21)$$

$$\mu = (1 - S_{r,cm}), \quad (22)$$

Учитывая исходные предпосылки, относящиеся к массе и объему перемешивающихся грунтов и самой смеси, объем смеси в формуле (16) можно установить по следующей формуле:

$$V_{cm} = (\rho_b + \rho_c) V_c / \rho_{d,cm,max} (1 + W_{o,cm}), \quad (23)$$

В формуле (23) объем сухого грунта предварительно определяется по формуле (6).

Обсуждение результатов исследований. Для количественной оценки уровня соответствия формул (7) и (16) друг другу выполнены соответствующие расчеты. Исходные данные к расчетам представлены в таблице 1. При этом принято, что выштамповывание траншеи производится в водонасыщенной супесчаной толще, а в качестве сухого грунта используется сухой суглинок.

Таблица 1

Исходные данные для расчетов по формулам (7) и (16)

Параметры	Обозначения параметров	Значения параметров для расчетных вариантов	
		вариант 1	вариант 2
Максимальная плотность грунтовой смеси в сухом состоянии, т/м ³	$\rho_{d,cm,max}$	1,87	1,89
Оптимальная влажность грунтовой смеси	$W_{o,cm}$	0,16	0,17
Плотность водонасыщенного грунта в сухом состоянии, т/м ³	$\rho_{d,\delta}$	1,59	1,62

Влажность водонасыщенного грунта	W_g	0,34	0,36
Плотность твердых частиц водонасыщенного грунта, т/м ³	ρ_{se}	2,71	2,71
Площадь сухого грунта, подстилаемого поверху водонасыщенного грунта, м ²	A_c	0,25	0,36
Толщина сухого грунта, подстилаемого поверху водонасыщенного грунта, м	h_c	0,20 м	0,30 м
Плотность твердых частиц сухого грунта, т/м ³	ρ_{sc}	2,73	2,73
Плотность сухого грунта в сухом состоянии, т/м ³	$\rho_{d,c}$	1,51	1,53
Влажность сухого грунта	W_c	0,05	0,07
Коэффициент, определяющий долю объема сухого грунта, вносимого в водонасыщенный грунт	ε	0,8	0,8

Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты расчетов по формулам (7) и (16)

Параметры	Обозначения параметров	Значения параметров для расчетных вариантов	
		вариант 1	вариант 2
Масса сухого грунта по формуле (7), кг	m_c	88,3	191,7
Масса твердых частиц сухого грунта по формуле (16), кг	m_c^{TB}	55,8	124,4

Из таблицы 2 следует, что результаты, полученные по формулам (7) и (16) значительно отличаются друг от друга, и разница между ними составляет 35,1-36,8%. Для проверки их достоверности необходимо провести экспериментальные исследования.

Заключение. На основе изложенных результатов теоретических исследований можно сделать следующие основные выводы:

1. Исходные уравнения, принятые для решения задачи по определению количества сухого грунта, необходимого для выштамповывания траншеи в водонасыщенном грунте, составлены на основе принципа равенства масс и принципа равенства объемов;

2. Формула (7) выведена на основе принципа равенства масс, который допускает, что масса грунтовой смеси, которая образуется в виде уплотненной оболочки вокруг траншеи (при выштамповывании), состоит из массы водонасыщенного грунта и массы сухого грунта (в перемешанном виде);

3. Формула (16) выведена на основе принципа равенства объемов, который допускает, что объем твердых частиц сухого грунта равен сумме объемов пор водонасыщенного и сухого грунтов;

4. Формулы (7) и (16) позволят определять количество сухого грунта с учетом ряда физических параметров самого сухого грунта, водонасыщенного грунта и уплотненной грунтовой смеси, которая образуется из первых двух указанных грунтов;

5. Формулы (7) и (16) ввиду разности принципов, использованных для их теоретического вывода, позволяют получать неодинаковые результаты, достоверность которых подлежит экспериментальной проверке.

Список литературы

1. Руководство по производству и приемке работ при устройстве оснований и фундаментов [Текст]. – М.: Стройиздат, 1977. – 241 с.
2. Руководство по проектированию и устройству фундаментов в вытрамбованных котлованах [Текст]. – М.: Стройиздат, 1981. – 56 с.
3. Федоров, В.И. Опыт устройства фундаментов в вытрамбованных котлованах в Приморском крае [Текст] / В.И. Федоров, Ю.С. Тонких, Г.А. Иншин // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1989. - №4. – С.4-5.
4. ВСН 67-257-87. Руководство по устройству фундаментов в вытрамбованных котлованах с использованием навесного оборудования УВ-1, УВК-40А, ОВК-100 [Текст]. –Уфа: Уфимский НИИПромстрой, 1987. – 66 с.
5. Крутов, В.И. Уплотнение грунтов на строительстве в Набережных Челнах [Текст] / В.И. Крутов, Н.Б. Левонтин, М.Ш. Бибишев, И.Ф. Мухрыгин // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1981 - №4. – С.4-7.
6. Рабинович, И.Г. Возведение фундаментов в вытрамбованных котлованах на песчаных грунтах в промышленном строительстве [Текст] / И.Г. Рабинович, Д.И. Константиновский, М.А. Арпаксыд, Е.В. Третьякова, И.И. Проценко // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1982. - №5. – С.10-12.
7. ВСН 48-88. Обязательные технологии устройства фундаментов в вытрамбованных котлованах [Текст]. – Алма-Ата: НПО «Союзспецфундаменттяжстрой», 1988. – 53 с.
8. Унайбаев, Б.Ж. Фундаменты в вытрамбованных котлованах с защитной оболочкой в засоленных, просадочных, лессовых грунтах [Текст] / Б.Ж. Унайбаев, В.А. Волков // Тезисы докладов Всесоюзной конференции по лессовым просадочным грунтам как основаниям сооружений. – Барнаул, 1990. – Книга 2. –Часть 2. – С.206-207.
9. Рекомендации по проектированию и устройству фундаментов в засоленных грунтах в вытрамбованном ложе в защитной оболочке. – Астана: ЕНУ им. Гумилева, 2001. – 59 с.
10. Унайбаев, Б.Ж. Возведение зданий и сооружений на засоленных агрессивных грунтах [Текст] / Б.Ж. Унайбаев // Труды КазНИИССА / Исследование сейсмостойкости сооружений и конструкций. – Алматы, 2001. С.95-101.
11. Крутов, В.И. Фундаменты в вытрамбованных котлованах на водонасыщенных глинистых грунтах [Текст] / В.И. Крутов, И.Г. Рабинович, А.И. Филатов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1980. - №5. – С.9-11.
12. МГС ГОСТ 22733-2016. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2016. – 15 с.
13. МГС ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2005. – 19 с.
14. Силкин, А.М. Основания и фундаменты [Текст]: учебное пособие / А.М. Силкин, Н.Н. Фролов. – М.: Издательство «Колос», 1981. – 351 с.

Материал поступил в редакцию 20.03.26, принят 27.03.26.

И.И. Бекбасаров¹, Е.И. Атепов¹, Н.А. Шаншабаев¹

¹М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан

СУҒА ҚАНЫҚҚАН ТОПЫРАҚТАҒЫ ТРАНШЕЯЛАРДЫ ШТАМПАУ ҮШІН ҚАЖЕТ ҚҰРҒАҚ ТОПЫРАҚТЫҢ МӨЛШЕРІН АНЫҚТАУ

Аңдатпа. Суға қаныққан топырақта траншеяны штамптау үшін қажетті құрғақ топырақтың мөлшерін анықтау мәселесін шешудің нәтижелері келтірілген. Бастапқы теңдеулер масса теңдігі принципі мен көлем теңдігі принципі негізінде жасалды. Масса теңдігі принципі траншеяның айналасында тығыздалған қабық түрінде пайда болатын топырақ қоспасының массасы (штамптау кезінде) суға қаныққан топырақтың массасынан және құрғақ топырақтың массасынан (аралас түрінде) тұратындығын ескереді. Көлем теңдігі принципі құрғақ топырақтың қатты бөлшектерінің көлемі сумен қаныққан және құрғақ топырақ кеуектерінің көлемінің қосындысына тең екендігін ескереді. Құрғақ топырақтың мөлшерін ең құрғақ топырақтың физикалық параметрлерін, сумен қаныққан топырақты және көрсетілген алғашқы екі топырақтан пайда болатын тығыздалған топырақ қоспасын ескере отырып анықтауға мүмкіндік беретін формулалар алынды. Формулалар тең емес нәтижелерге қол жеткізуге мүмкіндік береді және эксперименттік тексеруді қажет етеді.

Тірек сөздер: сумен қаныққан топырақ, құрғақ топырақ, топырақ қоспасы, массасы, көлемі, тығыздығы, ылғалдылығы, кеуектілігі, максималды тығыздығы, оңтайлы ылғалдылығы.

I.I. Bekbasarov¹, Y.I. Atenov¹, N.A. Shanshabaev¹

¹M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan

DETERMINATION OF THE AMOUNT OF DRY SOIL REQUIRED FOR STAMPING TRENCHES IN WATER-SATURATED SOIL

Abstract. The results of solving the problem of determining the amount of dry soil required for stamping a trench in a water-saturated soil are presented. The initial equations are based on the principle of equality of masses and the principle of equality of volumes. The principle of mass equality allows that the mass of the soil mixture, which is formed as a compacted shell around the trench (during stamping), consists of a mass of water-saturated soil and a mass of dry soil (mixed). The principle of volume equality assumes that the volume of solid particles in dry soil is equal to the sum of the pore volumes of saturated and dry soils. Formulas have been obtained that will allow determining the amount of dry soil, taking into account a number of physical parameters of the driest soil, water-saturated soil and compacted soil mixture, which is formed from the first two specified soils. The formulas allow to obtain different results, and are subject to experimental verification.

Keywords: water-saturated soil, dry soil, soil mixture, mass, volume, density, humidity, porosity, maximum density, optimal humidity.

References

1. Rukovodstvo po proizvodstvu i priyemke rabot pri ustroytve osnovaniy i fundamentov [Guide to the Production and Acceptance of Work in the Construction of Foundations and Bases]. – Moscow: Stroyizdat, 1977. – 241 p. [in Russian].

2. Rukovodstvo po proyektirovaniyu i ustroystvu fundamentov v vytrambovannykh kotlovanakh [Guide to the Design and Construction of Foundations in Rammed Pits]. – Moscow: Stroyizdat, 1981. – 56 p. [in Russian].
3. Fedorov V.I., Tonkikh Yu.S., Inshin G.A. Opyt ustroystva fundamentov v vytrambovannykh kotlovanakh v Primorskom kraye [Experience in the Construction of Foundations in Rammed Pits in Primorsky Krai] // Foundations, Bases and Soil Mechanics. – 1989. - No. 4. – P. 4-5. [in Russian].
4. VSN 67-257-87 Rukovodstvo po ustroystvu fundamentov v vytrambovannykh kotlovanakh s ispol'zovaniyem navesnogo oborudovaniya UV-1, UVK-40A, OVK-100 [VSN 67-257-87. Guide to the construction of foundations in rammed trenches using attachments UV-1, UVK-40A, OVK-100]. - Ufa: Ufa Research Institute of Industrial Construction, 1987. - 66 p. [in Russian].
5. Krutov V.I., Levontin N.B., Bibishev M.Sh., Mukhrygin I.F. Uplotneniye gruntov na stroitel'stve v Naberezhnykh Chelnakh [Soil compaction during construction in Naberezhnye Chelny] // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov [Foundations, Bases and Soil Mechanics]. - 1981 - No. 4. - P. 4-7. [in Russian].
6. Rabinovich I.G., Konstantinovskiy D.I., Arpaksyd M.A., Tretyakova E.V., Protzenko I.I. Vozvedeniye fundamentov v vytrambovannykh kotlovanakh na peschanykh gruntakh v promyshlennom stroitel'stve [Construction of foundations in rammed trenches on sandy soils in industrial construction] // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov [Foundations, Bases and Soil Mechanics]. - 1982. - No. 5. - P. 10-12. [in Russian].
7. VSN 48-88. Obyazatel'nyye tekhnologii ustroystva fundamentov v vytrambovannykh kotlovanakh [VSN 48-88. Mandatory technologies for the construction of foundations in rammed trenches]. - Alma-Ata: NPO Soyuzspetsfundamenttyazhstroy, 1988. - 53 p. [in Russian].
8. Unaibayev B.Zh., Volkov V.A. Fundamenty v vytrambovannykh kotlovanakh s zashchitnoy obolochkoy v zasolennykh, prosadochnykh, lessovykh gruntakh [Foundations in rammed trenches with a protective shell in saline, subsidence, loess soils] // Abstracts of reports of the All-Union Conference on loess subsidence soils as foundations of structures. – Barnaul, 1990. – Book 2. – Part 2. – P.206-207. [in Russian].
9. Rekomendatsii po proyektirovaniyu i ustroystve fundamentov v zasolennykh gruntakh v vytrambovannom lozhe v zashchitnoy obolochke [Recommendations for the design and construction of foundations in saline soils in a rammed bed in a protective shell]. – Astana: ENU named after Gumilyov, 2001. – 59 p. [in Russian].
10. Unaibayev B.Zh. Vozvedeniye zdaniy i sooruzheniy na zasolennykh agressivnykh gruntakh [Construction of buildings and structures on saline aggressive soils] // Proceedings of KazNISSA / Study of seismic resistance of structures and constructions. – Almaty, 2001. P.95-101. [in Russian].
11. Krutov V.I., Rabinovich I.G., Filatov A.I. Fundamenty v vytrambovannykh kotlovanakh na vodonasyshchennykh glinistykh gruntakh [Foundations in rammed pits on water-saturated clayey soils] // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov [Foundations, Bases and Soil Mechanics]. 1980, No. 5, pp. 9–11. [in Russian].
12. MGS GOST 22733-2016. Grunty. Metod laboratornogo opredeleniya maksimal'noy plotnosti [MGS GOST 22733-2016. Soils. Laboratory Method for Determining Maximum Density]. Moscow: Standartinform, 2016, 15 p. [in Russian].
13. MGS GOST 5180-84. Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya fizicheskikh kharakteristik [MGS GOST 5180-84. Soils. Laboratory Methods for Determining Physical Characteristics]. Moscow: Standartinform, 2005, 19 p. [in Russian].
14. Silkin A.M., Frolov N.N. Osnovaniya i fundamenty [Foundations and Bases]: Textbook. Moscow: Kolos Publishing House, 1981, 351 p. [in Russian].