

## ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УВЛАЖНЕНИЯ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ РЕЗЕРВУАРОВ

**М. И. Гильдебрандт, Л. Б. Антропова, Ю. В. Щипкова,  
В. А. Гриневич, Р. Н. Иванов**

*Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия*

**Аннотация.** Совершенствование технологий подготовки грунтовых оснований резервуаров для хранения нефти является актуальной задачей, решение которой позволит одновременно с обеспечением требуемой эксплуатационной надежности грунтового основания сократить материальные и временные затраты на его подготовку. В ходе лабораторных исследований был установлен характер увлажнения слоя песчаного грунта заданным количеством воды. Полученные данные позволили разработать математическую модель увлажнения слоя песчаного грунта. Выполненная оценка точности математической модели увлажнения грунта основания резервуара для хранения нефти показала удовлетворительную сходимость лабораторных и теоретических результатов.

**Ключевые слова:** резервуар; напряженно-деформированное состояние; подтоварная вода

## PROCESSING THE RESULTS OF LABORATORY STUDIES OF MOISTURE GROUND MOUNTING OF TANK BASES

**M. I. Gildebrandt, L. B. Antropova, Yu. V. Shchipkova, V. A. Grinevich, R. N. Ivanov**

*Omsk State Technical University, Omsk, Russia*

**Abstract.** Perfection of technologies for preparation of soil bases of storage tanks oil is an urgent task, the solution of which will allow simultaneously with ensuring the required operational reliability of the ground base to reduce material and time costs for its training. In the course of laboratory studies, the nature of wetting of the sandy soil layer specified amount of water. The obtained data made it possible to develop a mathematical model of moistening layer of sandy soil. The estimated accuracy of the mathematical model of ground wetting reservoir for oil storage showed satisfactory convergence of laboratory and theoretical results.

**Key words:** tank; strain-stress state; bottom water

### Введение

Немаловажным фактором при обеспечении устойчивости вертикального стального резервуара для хранения нефти и продуктов ее переработки в течение всего эксплуатационного срока является качественная подготовка в процессе строительства грунтового основания [1]. Ранее выполненными исследованиями было установлено существенное влияние влажности грунта на его деформационные свойства [2]. Анализируя существующие технологии подготовки грунтового основания резервуара для хранения нефти и нефтепродуктов, можно сделать вывод, что важным этапом подготовки грунта является его предварительное увлажнение перед уплотнением<sup>1</sup>. Для выбора рациональных технологических параметров уплотнения существует необходимость разработки математической модели увлажнения грунта основания резервуара ограниченным количеством воды. Очевидно, что для подтверждения корректности принятой математической модели требуется оценить ее точность.

<sup>1</sup> СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83. – М.: ОАО «ЦПП», 2011. – 162 с.

### Исходные данные и методика исследования

На начальном этапе были выполнены лабораторные исследования увлажнения слоя песчаного грунта средней крупности массой 16 кг, помещенного в специализированный стенд «Устройство для контроля увлажнения грунта» (рис. 1).

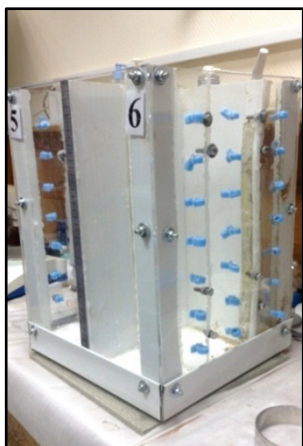


Рис. 1. Устройство для увлажнения грунта



Рис. 2. Галогенный анализатор влажности HC103

Мощность слоя песчаного грунта  $h = 0,4$  м определяется существующими технологиями устройства грунтовых оснований вертикальных стальных резервуаров. Количество воды, использованное для увлажнения сверху отобранного песчаного грунта, рассчитывалось, исходя из условия достижения им оптимальной влажности 11 %, и составило 1,7 кг. Конструкция специализированного стенда позволяла выполнять периодический отбор проб грунта массой  $2 \div 3$  г с заданных глубин для текущего контроля влажности. Контроль влажности проб грунта осуществлялся с помощью галогенного анализатора влажности HC103 (рис. 2), при этом точность измерения масс проб грунта составила 0,001 г. Полученные лабораторные результаты позволили оценить характер увлажнения песчаного грунта средней крупности, как по времени, так и по глубине образца (рис. 3).

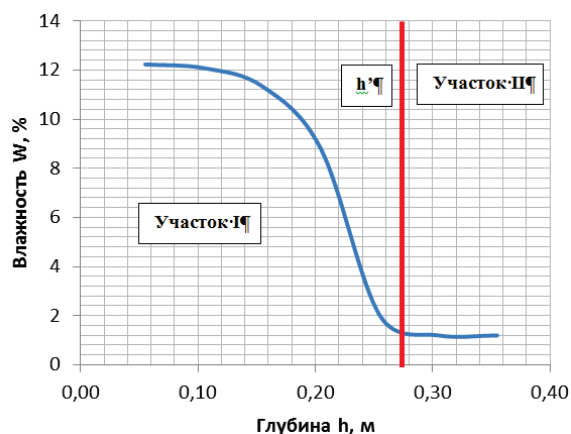


Рис. 3. Изменение влажности образца песчаного грунта по глубине через 10 минут после его увлажнения

В ходе основного этапа теоретических исследований анализ полученных лабораторных данных позволил выделить два характерных участка зависимости влажности  $w$  грунта от глубины  $h$ : увлажненный участок (участок I: глубины от 0 до  $h^*(t)$ , м) и участок с исходной влажностью (участок II: глубины от  $h^*(t)$  до 0,04, м), где  $h^*(t)$  — изменение глубины залегания границы увлажнения с течением времени. Для аппроксимации участка I предлагается использовать полином третьей степени

$$w = a_0 + a_1 \cdot h + a_2 \cdot h^2 + a_3 \cdot h^3, \quad (1)$$

где  $w$  — текущая влажность грунта на заданной глубине  $h$ , д. ед.;  $h$  — заданная глубина, м;  $a_0, a_1, a_2, a_3$  — коэффициенты, определяемые по результатам лабораторных исследований.

Коэффициенты предлагаемой математической модели для ранее выполненных лабораторных исследований были найдены методом наименьших квадратов (таблица).

#### *Обработка результатов лабораторных исследований*

Глубина $h$ , м	Влажность экспериментальная, $w$ , %	Коэффициент математической модели		
0,055	12,2	$a_0$	14,704	
0,105	12,1		$a_1$	-808,393
0,155	11,3	$a_2$		80 961,430
0,205	8,8			$a_3$
0,255	1,5			

В ходе заключительного этапа теоретических исследований для подтверждения корректности предлагаемой математической модели (1) была дана оценка ее точности.

#### **Результаты**

Статистическая обработка полученных лабораторных данных показала, что погрешность выполненных измерений хорошо описывается нормальным законом распределения. Проверка гипотезы о нормальном распределении экспериментальных значений влажности проводилась по критерию согласия Пирсона с доверительной вероятностью 95 %, расчетное значение критерия Пирсона равно  $\chi_p^2 = 17,9$ , что меньше допустимого теоретического значения  $\chi_m^2 = 25,0$  [3]. Таким образом, увлажнение слоя песчаного грунта конечной толщины заданным количеством воды предлагается описывать зависимостью вида

$$w = 14,704 - 808,393 \cdot h + 80961,430 \cdot h^2 - 272667 \cdot h^3, \quad (2)$$

при  $h < h^*$ .

Для нахождения абсолютной погрешности определения влажности необходимо найти дисперсию адекватности математической модели  $S_{ad}^2$  увлажнения грунта основания резервуара для хранения нефти. Дисперсия адекватности математической модели находится по формуле (3) [4]

$$S_{ad}^2 = \frac{m}{N-l} \cdot \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2, \quad (3)$$

где  $m$  — количество параллельно проводимых экспериментов;  $N$  — количество установок;  $\bar{y}_i$  — среднее значение выходной величины;  $\hat{y}_i$  — значение уравнения регрессии исследуемого объекта, содержащее статистически значимые коэффициенты;  $l$  — число определенных в результате проведения  $N$  опытов, значимых коэффициентов.

Абсолютная погрешность определения влажности грунта в соответствии с предложенной математической моделью может быть найдена следующим образом [4, 5]:

$$\Delta = 2 \cdot \sqrt{\frac{S_{ad}^2}{F_m}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{0,038}{7,71}} = 0,13 \%, \quad (4)$$

где критерий Фишера теоретический  $F_T$  с доверительной вероятностью 95 %, для полинома третьей степени  $F_T = 7,71$ .

### Выводы

Повышение требований к качеству подготовки песчаного основания резервуара для хранения нефти обуславливает необходимость совершенствования технологии предварительного увлажнения грунта. На качество подготовки основания резервуара влияют такие факторы, как толщина увлажняемого слоя, количество потребной для увлажнения воды и время, необходимое для достижения слоем песчаного грунта оптимальной влажности. Выбор рациональных параметров технологического процесса подготовки позволил бы сократить материальные и временные затраты на проведение планируемых работ. Для решения данной проблемы предложено использовать математическую модель увлажнения конечного слоя песчаного грунта основания резервуара для хранения нефти заданным количеством воды до требуемых значений конечной влажности. Проведенные лабораторные исследования позволили установить, что увлажнение песчаного грунта заданным количеством воды носит сложный, нелинейный характер. По результатам обработки данных лабораторных исследований была предложена математическая модель увлажнения песчаного грунта, и выполнена оценка погрешности использования предложенной математической модели.

Предлагаемая математическая модель увлажнения грунта основания резервуара для хранения нефти, представленная полиномом третьей степени, позволяет рассчитать зависимость влажности от глубины грунта, при глубине грунта менее 0,3 м, с абсолютной погрешностью 0,13 % с доверительной вероятностью 95 %.

### Библиографический список

1. Gruzin A. V., Gruzin V. V., Shalay V. V. Theoretical researches of rammer's operating element dynamics in a soil foundation of oil and oil products storage tank // *Procedia Engineering*. – 2016. – 152. – P. 182–189.
2. The Artificial Additives Effect to Soil Deformation Characteristics of Oil and Oil Products Storage Tanks Foundation // A. V. Gruzin [et al.] // *Procedia Engineering*. – 2015 – Vol. 113. – P. 158–168.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). – М.: Наука, 1978. – 832 с.
4. Лепявко А. П. Метрологические основы теплотехнических измерений: учеб. пособие / Акад. стандартизации, метрологии и сертификации. – М.: АСМС, 2012. – 165.
5. Володарский Е. Т., Малиновский Б. Н., Туз Ю. М. Планирование и организация измерительного эксперимента. – Киев: Высшая школа, 1987. – 279 с.

**Сведения об авторах**

**Гильдебрандт Маргарита Ивановна**, инженер кафедры нефтегазового дела, стандартизации и метрологии, Омский государственный технический университет, г. Омск, тел. 89136245542, e-mail: r.bantik@mail.ru

**Антропова Любовь Борисовна**, ассистент кафедры нефтегазового дела, стандартизации и метрологии, Омский государственный технический университет, г. Омск, тел. 89136604029, e-mail: lubashka\_2010@mail.ru

**Щипкова Юлия Владимировна**, ассистент кафедры нефтегазового дела, стандартизации и метрологии, Омский государственный технический университет, г. Омск, тел. 89136605205, e-mail: ylia\_sipkova@mail.ru

**Гриневич Валентина Александровна**, доцент кафедры нефтегазового дела, стандартизации и метрологии, Омский государственный технический университет, г. Омск, тел. 89831122977, e-mail: grinevich\_v@mail.ru

**Иванов Руслан Николаевич**, доцент кафедры нефтегазового дела, стандартизации и метрологии, Омский государственный технический университет, г. Омск, тел. 89831122977, e-mail: irnsoft@mail.ru

**Information about the authors**

**Gildebrandt M. I.**, Engineer at the Department of Oil and Gas Business, Standardization and Metrology, Omsk State Technical University, phone: 89136245542, e-mail: r.bantik@mail.ru

**Antropova L. B.**, Assistant at the Department of Oil and Gas Business, Standardization and Metrology, Omsk State Technical University, phone: 89136604029, e-mail: lubashka\_2010@mail.ru

**Shchipkova Yu. V.**, Assistant at the Department of Oil and Gas Business, Standardization and Metrology, Omsk State Technical University, phone: 89136605205, e-mail: ylia\_sipkova@mail.ru

**Grinevich V. A.**, Associate Professor at the Department of Oil and Gas Business, Standardization and Metrology, Omsk State Technical University, phone: 89831122977, e-mail: grinevich\_v@mail.ru

**Ivanov R. N.**, Associate Professor at the Department of Oil and Gas Business, Standardization and Metrology, Omsk State Technical University, phone: 89831122977, e-mail: irnsoft@mail.ru