

УДК 631.432.2.442.3:624.136.2

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.155.2015.91952>

**ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОЛОГІСНОГО РЕЖИМУ УЩІЛЬНЕНОГО СУГЛИНКУ ДОРОЖНЬОГО НАСИПУ**

Д-р техн. наук Ю.Л. Винников, асп. Т.В. Литвиненко

**ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА УПЛОТНЕННОГО СУГЛИНКА ДОРОЖНОЙ НАСЫПИ**

Д-р техн. наук Ю.Л. Винников, асп. Т.В. Литвиненко

**LABORATORY STUDIES OF COMPACTED LOAM EMBANKMENT MOISTURE CONDITIONS**

Dsc Yu.L. Vynnykov, Postgraduate student T.V. Lytvynenko

*Розроблено й реалізовано методику фізичного моделювання міграції води за товщиною дорожнього насипу шляхом досліджень змін у часі вологості суглинка важкого пілуватого, вміщеного в пластмасові труби висотою 1,5 м й ущільненого за коефіцієнта водонасичення  $S_r = 0,85$  до щільності скелета ґрунту  $\rho_d = 1,50 - 1,65 \text{ г/см}^3$ . Отримано нові дослідні дані вологості ущільненого суглинка за висотою труби через два місяці «відпочинку» для кожної величини щільності скелета ґрунту.*

*Ключові слова: дорожній насип, укочування, міграція води, деформація, вологість, суглинок, максимальна молекулярна вологомісткість ґрунту, щільність скелета ґрунту.*

*Разработана и реализована методика физического моделирования миграции воды за толщиной дорожной насыпи путем исследования изменений во времени влажности суглинка*

**Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року**

---

тяжелого пылеватого, помещенного в пластмассовые трубы высотой 1,5 м и уплотненного за коэффициента водонасыщения  $S_r = 0,85$  к плотности скелета грунта  $\rho_d = 1,50 - 1,65 \text{ г/см}^3$ . Получены новые исследовательские данные влажности уплотненного суглинка за высотой трубы через два месяца «отдыха» для каждой величины плотности скелета грунта.

*Ключевые слова:* дорожная насыпь, укатка, миграция воды, деформация, влажность, суглинок, максимальная молекулярная влагоемкость грунта, плотность скелета грунта.

*On the condition of compacted road embankment soil over time significantly affects moisture at which it compacted, and the proportion of certain types of pore water in soil. Moisture decreasing at which the soil was compacted within the embankment in practice causes to his additional settlement. Physical water migration modeling for thickness of road embankment over time research changes of silty clay loam moisture, placed in plastic tubes height of 1,5 m and compacted by water saturation factor  $S_r = 0,85$  to soil skeleton density  $\rho_d = 1,50 - 1,65 \text{ g/cm}^3$  is done. The value of final compacted loam moisture within experimental interval decreases with increasing of the soil skeleton density. The values of stabilized compacted moisture loam for the height of tube in two months «rest» for each soil skeleton density value, approaching maximum molecular moisture capacity of this soil are determined.*

*Keywords:* road embankment, rolling, water migration, deformation, moisture, loam, maximum molecular moisture capacity, soil skeleton density.

#### **Введение.**

Для длительной эксплуатации дорожной насыпи важны не только максимально достигнуты при послойной укатке значения плотности скелета грунта и его прочности, но и сохранение их в течение нормативного времени эксплуатации [1, 2]. На состояние уплотненного грунта насыпи во времени существенно влияет влажность, при которой его уплотняли, и количественное соотношение отдельных видов поровой воды в грунте. Поэтому актуальной задачей возведения грунтовых сооружений является обеспечение их длительной прочности, то есть, когда в течение нормативного времени эксплуатации сохраняются полученные после уплотнения величины механических параметров грунта, а сверхнормативные деформации сооружений не возникают [3, 4].

#### **Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами.**

Ранее авторы [5] установили, что если грунт уплотняли при влажности меньше максимального количества связанной воды,

то электрический потенциал поверхности твердых частиц не использован, и они способны увеличить толщину пленок связанной воды до максимально возможного значения при дополнительном увлажнении грунта во время эксплуатации грунтового массива. Увеличение толщины пленок связанной воды приводит к увеличению первоначального объема уплотненного грунта и деформации массива. Если уплотнение грунта выполнено при влажности, что значительно превышает максимальное количество связанной воды, то электрический потенциал поверхности твердых частиц полностью использован, система имеет нейтральный заряд, а толщина пленок связанной воды – максимальную величину. Наличие значительного количества свободной воды приводит к тому, что со временем эта вода под действием гравитации, собственного веса грунта и внешних нагрузок выжимается из пор. Это способствует дополнительному уплотнению грунта за счет более компактного размещения твердых частиц. Соответственно, прочность грунта

**Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року**

---

возрастает, и имеют место неравномерные деформации. Таким образом, наиболее благоприятным условием обеспечения длительной прочности грунтов дорожной насыпи и минимальных деформаций при ее эксплуатации является уплотнение грунта при влажности близкой к максимальному содержанию связанной воды.

**Анализ последних исследований и публикаций.**

А.Ф. Лебедев [6] считал, что исследователи точно не установили даже виды грунтов по влагоемкости, не говоря уже об их точной физической классификации. П. Коссович выделил виды влагоемкости: наибольшую; относительную; наименьшую – указывая, что это разделение «не соответствует общепринятым в грутоведении понятиям о малейшей и наибольшей (по А. Майером) влагоемкости». К.Д. Глинка тоже выделил три вида влагоемкости: наименьшую; относительную; наибольшую – причем наименьшая влагоемкость – это «количество воды, которую аккумулирует грунт тогда, когда вода находится в нем в пленочном состоянии».

Однако, такое определение лишено точного физического смысла, как и само понятие «пленочная» вода. Целесообразно установить различные виды влагоемкости в связи с изменениями свойств грунтовой влаги, что относится к тому или иному виду влагоемкости, как гигроскопичная влагоемкость, максимальная молекулярная влагоемкость и т. д.

Так как двойная максимальная гигроскопичность лежит в пределах между максимальной гигроскопичностью и максимальной молекулярной влагоемкостью, то есть, где не происходят качественные изменения в состоянии грунтовой влаги, то вероятно, что физиологически полезная влажность должна совпадать с максимальной гигроскопичностью, где грунтовая влажность резко меняет физические свойства. Указанное соображение подтверждено данными Г.

Митчерлиха, который доказал, что растения умирают от отсутствия воды только тогда, когда в грунте остается только гигроскопическая влага. Другую картину мы имеем в случае, когда механические элементы касательных слоев имеют разнородный характер [7, 8].

**Определение целей и задачи исследования.**

Авторами методом однофакторного планирования проведено физическое моделирование, имевшее за цель разработку новых оптимальных критериев уплотнения, при которых обеспечивается длительная прочность глинистых грунтов дорожной насыпи. В частности, исследовалась возможная миграция воды по толщине этой насыпи во времени (в течение двух месяцев) в уплотненном глинистом грунте, помещенном в пластмассовые трубы высотой 1,5 м (то есть, имитировался послойно уплотненный грунт дорожной насыпи).

**Основная часть исследования.**

При подготовке определено естественную влажность исследуемого грунта, его влажность на границе текучести и раскатывания. Грунт – суглинок тяжелый пылеватый, твердый со следующими индикационными показателями: начальная влажность  $w_0 = 0,115$ ; влажность на границе текучести  $w_L = 0,354$ ; влажность на границе раскатывания  $w_p = 0,192$ ; число пластичности  $I_p = 0,162$ . Плотность скелета грунта принимали за переменный фактор, а начальное значение коэффициента водонасыщения грунта во всех опытах довели до  $S_r = 0,85$ . Соответственно влажность грунта в каждом опыте имела переменное значение, а именно при: плотности скелета грунта  $1,50 \text{ г/см}^3 - 0,250$ ;  $1,55 \text{ г/см}^3 - 0,231$ ;  $1,60 \text{ г/см}^3 - 0,214$ ;  $1,65 \text{ г/см}^3 - 0,198$ . Для реализации работы использованы: весы; пульверизатор ручной; 40 звеньев пластмассовых труб размером 50

**Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року**

мм (наружный диаметр) × 150 мм (длина каждого звена); металлическая стойка; лоток для дренажа; ручная трамбовка; шпатель (рис. 1). Внутренний диаметр труб составил 46,4 мм. Его принимали в расчетах исходной массы грунта для заполнения определенного объема труб. Заполнение грунтом труб осуществляли последовательно на высоту по 3 см. Задаваясь плотностью скелета грунта и его влажностью, рассчитывали (табл. 1) для соответствующего объема массу грунта естественной влажности ( $w_0 = 0,115$ ) и массу воды, которую следует к ней добавить, чтобы получить заданную влажность, при которой коэффициент водонасыщения

грунта составлял  $S_r = 0,85$ . По данным табл. 1 отобраны и взвешены для четырех вариантов соответствующие массы грунта. Его равномерно увлажняли до заданной влажности, для чего грунт перемешивали шпателем. Затем порциями его подавали в трубы и равномерно уплотняли трамбовкой с соответствующими отметками за ее высотой (рис. 1) каждый раз до толщины 30 мм, после чего звенья трубы (по 150 мм) соединяли в общей высоты 1,5 м (рис. 2). Эти трубы с послойно уплотненным суглинком устанавливали на металлическую стойку (рис. 2).

Таблица 1

Исходные данные для проведения эксперимента по определению максимальной молекулярной влагоемкости уплотненного глинистого грунта

Заданная плотность скелета грунта, $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	Соответствующий коэффициент пористости грунта, $e$	Заданная влажность грунта $w$ (при $S_r = 0,85$ )	Масса порции сухого грунта, г	Масса порции грунта при $w_0 = 0,115$	Масса порции грунта при заданной влажности $w$	Масса порции воды, которая добавляется к порции грунта
1,50	0,786	0,250	76,10	84,85	95,12	10,27
1,55	0,729	0,231	78,63	87,67	96,80	9,12
1,60	0,675	0,214	81,17	90,50	98,54	8,04
1,65	0,624	0,198	83,71	93,33	100,28	6,95

Нижние концы всех труб заводили в дренажный лоток, заполненный гранотсевом. Таким образом, свободная (несвязная) вода имела возможность миграции по всей высоте грунта в трубе, что имитировало ее миграцию в пределах толщины дорожной насыпи. Сверху все пластмассовые трубы с послойно уплотненным глинистым грунтом герметично закрывали для предотвращения испарения воды «вверх». После этого трубы с послойно уплотненным тяжелым суглинком оставляли на металлической стойке в покое, на, так называемый, «отдых».

Через два месяца «отдыха» все трубы разбирали на отдельные звенья. С каждого

звена отбирали не менее двух образцов почвы в бюксы, по которым нормативным методом весовой влажности определяли конечную (стабилизированную) влажность уплотненного глинистого грунта по всей высоте трубы.

Пример результатов определения средних величин конечной влажности уплотненного глинистого грунта  $w_k$  по всей высоте трубы для значения плотности скелета грунта  $\rho_d = 1,50$  г/см<sup>3</sup> представлен в виде графика (рис. 3). Графики зависимости влажности грунта  $w$ , при которой суглинок уплотняли и средней конечной влажности грунта  $w_k$  уплотненного суглинка от  $\rho_d$  в

**Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року**

пределах высоты трубы за исключением ее верхнего и нижнего звеньев представлены на рис. 4.



Рис. 1 Ручная трамбовка для уплотнения грунта



Рис. 2 Трубы, заполненные уплотненным грунтом с обозначением данных сверху по исходной плотности скелета грунта  $\rho_d$  и его заданной влажности  $w$

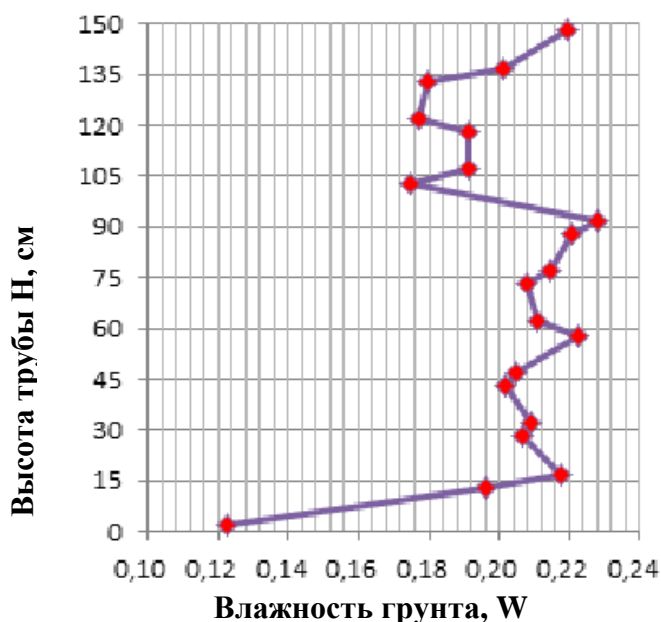


Рис. 3 График изменения влажности уплотненного тяжелого пылеватого суглинка от глубины трубы при плотности скелета грунта  $\rho_d = 1,50 \text{ г/см}^3$  после 62 суток выдержки

Сравнивая значение средней конечной влажности уплотненного суглинка  $w_k$  по высоте трубы через два месяца «отдыха» с

величинами начальной влажности  $w$  этого же грунта, в частности, видно, что:

**Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року**

- миграция воды обусловлена силами гравитации и капиллярного поднятия влаги (последняя связана с силами ее поверхностного натяжения);

- значение средней конечной влажности  $w_k$  уплотненного суглинка по сравнению с влажностью, при которой грунт уплотняли, снизилось для всех величин плотности скелета грунта  $\rho_d$  (рис. 4) почти на всю высоту трубы за исключением ее верхнего звена, для которой влажность грунта приблизилась к значению (которое соответствует коэффициенту водонасыщения  $S_r \approx 1,0$ ) за счет капиллярного поднятия влаги; влажность грунта в нижнем звене труб уменьшилась до  $w = 0,10 - 0,12$  в результате испарения свободной воды;

- значение конечной влажности уплотненного суглинка в пределах исследуемого интервала  $\rho_d = 1,50 - 1,65$  г/см<sup>3</sup> уменьшается с повышением плотности скелета грунта (рис. 4), что связано с тем, что с увеличением  $\rho_d$  коэффициент фильтрации грунта снижается, что приводит к снижению скорости перераспределения влажности;

- конечная влажность грунта приближается к его, так называемой, максимальной молекулярной влагоемкости (по В.И. Бируля [9]  $w_{mm} \approx 0,17$ );

- снижение влажности, при которой грунт уплотняли, в пределах дорожной насыпи на практике приводит к ее дополнительным осадкам.

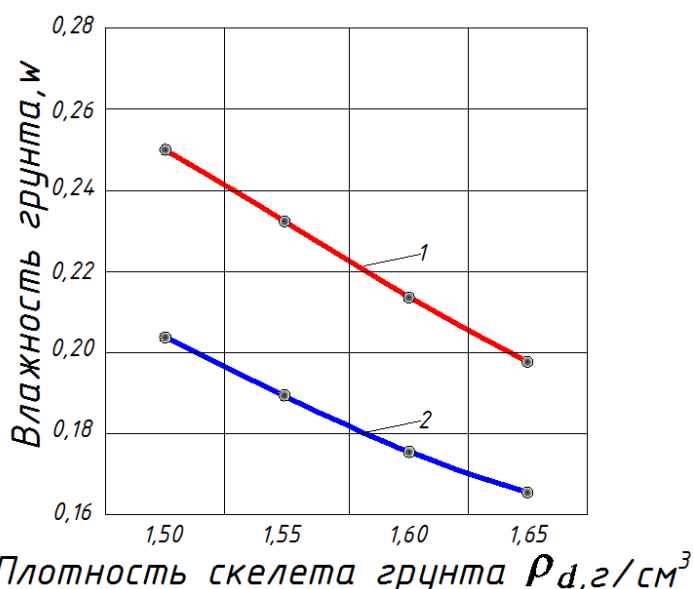


Рис. 4 Графики зависимости влажности грунта  $w$ , при которой суглинок уплотняли (1), и средней конечной влажности грунта  $w_k$  (2) уплотненного суглинка от плотности скелета грунта  $\rho_d$  в пределах высоты трубы за исключением ее верхнего и нижнего звеньев

**Выводы из исследования и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении.**

Моделированием возможной миграции воды за толщиной насыпи путем исследований изменений во времени на протяжении двух месяцев влажности суглинка тяжелого пылеватого,

уплотненного за коэффициента водонасыщения  $S_r = 0,85$  к плотности скелета грунта  $\rho_d = 1,50 - 1,65$  г/см<sup>3</sup> и помещенного в трубы высотой 1,5 м, доказано, что стабилизированная величина его влажности приближается к

**Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року**

---

максимальной молекулярной влагоемкости этого грунта.

***Список использованных источников***

1. Р В.2.3–218–02070915–757:2009. Рекомендації з підвищення стійкості високих насипів автомобільних доріг. – К.: Укравтодор, 2009. – 30 с.
2. ДСТУ Б В.2.1-12: 2009. Зміна №1. Ґрунти. Метод лабораторного визначення максимальної щільності. – К.: Мінрегіонбуд, 2011. – 19 с.
3. Кузахметова, Э.К. Методология оценки состояния земляного полотна при реконструкции и ремонте автомобильных дорог в сложных природных условиях. Монография / Э.К. Кузахметова. – Балашиха: ВТУ Спецстроя России, 2010. – 160 с.
4. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти / М.Л. Зоценко та ін. – Полтава: ПолтНТУ, 2004. – 568 с.
5. Винников, Ю.Л. Нові критерії оптимального ущільнення ґрунтів дорожнього насипу за умови забезпечення їх тривалої міцності / Ю.Л. Винников, Т.В. Литвиненко // Проблеми розвитку міського середовища: Наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2014. – Вип. 1 (11). – С. 424 – 432.
6. Лебедев, А.Ф. Почвенные и грунтовые воды / А.Ф. Лебедев. – М.: Сельхозгиз, 1930. – 280 с.
7. Казарновский, В.Д. Основы нормирования и обеспечения требуемой степени уплотнения земляного полотна автомобильных дорог / В.Д. Казарновский и др. – М.: ФГУП «СоюздорНИИ», 2002. – 33 с.
8. Tateyama K. Introduction of Concurrent Engineering to Embankment Construction / K. Tateyama // The Japanese Geotechnical J., 2006. – Vol. 54, No. 9. – P. 30 – 32.
9. Бируля, В.И. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов / В.И. Бируля. – Харьков: ХГУ, 1956. – 124 с.

---

*Винников Юрий Леонидович, докт. техн. наук, профессор, профессор кафедры геотехники Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка. Тел.: (067)256-42-86. E-mail: [yynnykov@yandex.ru](mailto:yynnykov@yandex.ru)*

*Литвиненко Татьяна Васильевна, аспирант кафедры автомобильных дорог, геодезии, землеустройства и сельских зданий Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка. Тел.: (095) 0785373. E-mail: [tatiana.jasmine.litvinenko@mail.ru](mailto:tatiana.jasmine.litvinenko@mail.ru)*

*Vynnykov Yuriy Leonidovych, Doctor of Engineering Science, professor, professor of Geotechnics Department, Poltava National Technical Yuriy Kondratyuk University. Tel.: (067) 256-42-86. E-mail: [yynnykov@yandex.ru](mailto:yynnykov@yandex.ru)*

*Litvinenko Tatyana Vasilievna, postgraduate student of Automobile roads, Geodesy, Land management and Rural buildings Department, Poltava National Technical Yuriy Kondratyuk University. Tel.: (095)0785373. E-mail: [tatiana.jasmine.litvinenko@mail.ru](mailto:tatiana.jasmine.litvinenko@mail.ru)*

Стаття прийнята 21.04.2015 р