

д.т.н Зубова Л.Г.,
Макаришина Ю.И.
(ВНУ им. В.И.Даля, г.Луганск, Украина.
E-mail: makarishina@gmail.com)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЪЕМНОЙ ПЛОТНОСТИ ПОРОДЫ И ПОЧВОГРУНТА ПОРОДНОГО ОТВАЛА

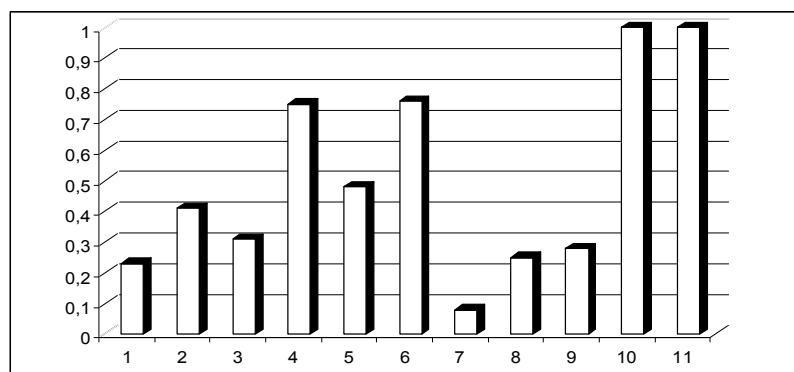
Проведены исследования объемной плотности породы типичного для Донбасса породного отвала. Произведен анализ репрезентативности полученных данных об объемной плотности породы исследуемого породного отвала.

Ключевые слова: породный отвал, объемная плотность, нормальный закон распределения.

В угледобывающих регионах Украины в настоящее время накоплено большое количество породных отвалов. Сегодня на территории Луганской области их насчитывается более 490, в которых накоплено около 35 млрд. т породы. Действующих породных комплексов при этом среди всех породных отвалов лишь около 27%. В связи с тяжелым положением угольной промышленности, в последние годы многие породные отвалы были переведены из разряда действующих в недействующие. На рисунке 1 приведено соотношение между числом действующих и недействующих породных отвалов угольных предприятий Луганской области.

Действующие и недействующие породные отвалы подвергаются воздействию приземного шара воздуха и других факторов, в результате чего изменяются физико-химические свойства отвальных пород, как в поверхностном слое, так и на различной глубине. На породных отвалах могут возникать условия для их периодических деформаций, которые могут иметь как незначительные, так и очень большие размеры. По внешнему проявлению деформации можно разделить на такие виды как осыпи, оплывы, размывы, просадки, трещины, оползни и обвалы пород.

Обзор литературных источников по проблеме деформации породных отвалов позволяет сделать выводы об отсутствии актуальных исследований в этой области в последние десятилетия. Наиболее интенсивное изучение устойчивости откосов породных отвалов, а также деформаций породных отвалов приходится на 1957-1980 года [1-4]. Кроме того проведенные основные исследования устойчивости породных отвалов не являются полными, а только лишь охватывают часть влияющих на породные отвалы факторов. Так же рассматриваемые работы содержат исследование процесса деформации в процессе эксплуатации породных отвалов. Работы, которые охватывают наиболее полный перечень факторов, проводились для случаев добычи угля открытым способом [2-4]. Для условий добычи угля в Донбассе таких работ не проводилось. Для изучения деформаций породных отвалов, а так же анализа причин их возникновения и развития, в ходе исследований необходимо рассмотреть и проанализировать фактические данные о зафиксированных случаях нарушения устойчивости, а так же изучить всю информацию о состоянии исследуемого объекта для выделения факторов, влияющих на возникновение и развитие деформаций.



Региональные объединения угольных предприятий (на 2003 год): 1 - Лисичанскуголь, 2 - Первомайскуголь, 3 - Стахановуголь, 4 - Краснодонуголь, 5 - Ровенькиантрацит, 6 - Свердловантрацит, 7 - Антрацит, 8 - Донбассантрацит, 9 - Луганскуголь, 10 - Луганскуглеобогащение, 11 - Антрацитуглеобогащение.

Рисунок 1 – Соотношение количества действующих к количеству недействующих породных отвалов угольных предприятий Луганской области

Одними из важнейших характеристик отвальной породы, которые определяют ее подверженность деформациям, являются физико-механические характеристики – объемная масса, плотность породы, влажность породы, структурно-механический состав, фильтрующие свойства. Таким образом, для полноты исследований необходимо изучить огромный спектр факторов, а так же их взаимное влияние.

Объемная плотность (объемный вес) почвы является одним из важнейших физических свойств грунтов. С одной стороны определяющий, целый ряд других его свойств, а с другой — характеризующий структурно-текстурные особенности этих грунтов и водно-воздушный режим. Данный показатель имеет огромное значение для плодородия почв, а кроме того используется в качестве прямого расчетного показателя для расчета устойчивости откосов и оползневых склонов и др.

Таким образом, целью работы является анализ и оценка объемной плотности породы на исследуемом породном отвале, а так же изучение тесноты ее связи с другими физико-механическими характеристиками грунтов.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

Сбор и анализ информации об исследуемом породном отвале, выбор площадок и точек для отбора проб.

Отбор проб и их анализ.

Анализ и оценка полученной информации об объемной плотности породы.

Оценка тесноты связи объемной плотности с другими физико-механическими характеристиками грунтов.

Для определения величины объемной массы был использован метод режущего кольца Н.А. Качинского [5]. В работе для определения структурно-агрегатного состава почвенных образцов использован метод сухого агрегатного анализа в модификации Н.И.Савинова[5]. Для определения водопроницаемости использовали метод трубок с переменным напором воды (по Н.А. Качинскому) [5].

Для дальнейшего анализа и оценки репрезентативности полученных данных использовались общепринятые методы статистического анализа. Для проверки на однородность данных о породных отвалах был выбран метод анализа с использованием t-критерия Стьюдента [4]. Данный метод анализа позволяет исключить из выборки сомнительные варианты, которые могут быть ошибочными и не принадлежат генеральной совокупности данных. Для описания случайных величин были

использованы такие статистические показатели: среднее, дисперсия, стандартное отклонение, коэффициент вариации, абсолютная и относительная ошибка. Для проверки полученных данных на соответствие нормальному закону распределения была выдвинута прикидочная гипотеза на основе значения коэффициента вариации. Для проверки полученных данных на достоверность с помощью метода моментов выдвинута основная гипотеза о соответствии полученных данных нормальному закону распределения. С целью проверки гипотезы о нормальном распределении данных использован метод спрямленных диаграмм [5]. Суть метода состоит в построении в прямоугольной системе координат точек, для которых абсциссой является величина параметра X , а ординатой соответствующий p -квантиль X . p -квантилем X называют такое значение аргумента u_p , функции распределения $F(x)$, для которого вероятность события $X < u_p$ равняется заданному значению вероятности p . Для проверки гипотезы были составлены соответствующие расчетные таблицы и построены в прямоугольной системе координат графики.

В работе произведено исследование породы породного отвала №1 шахты поселка Сутоган Луугинского района Луганской области. Глубина работ на шахте составляет 610 м. В 1999 году шахта разрабатывала соответственно пласты l_1 , l_6 , $k_{3в}$ мощностью 1,1-2,2 м, углы падения 5° , уголь марки Г (газовый). На сегодняшний день, исследуемый породный отвал является недействующим и представляет собой усеченный конус, высотой 35 - 45 м. Эксплуатация данного породного отвала закончилась в 70-х годах. В 80-е годы была произведена рекультивация исследуемого породного отвала. Горнотехнический этап рекультивации состоял в срезании вершины и нанесении на нее потенциально плодородного слоя грунта. Биологический этап состоял в посадке на склонах саженцев древесных пород. Растения, покрывающие склоны породного отвала были

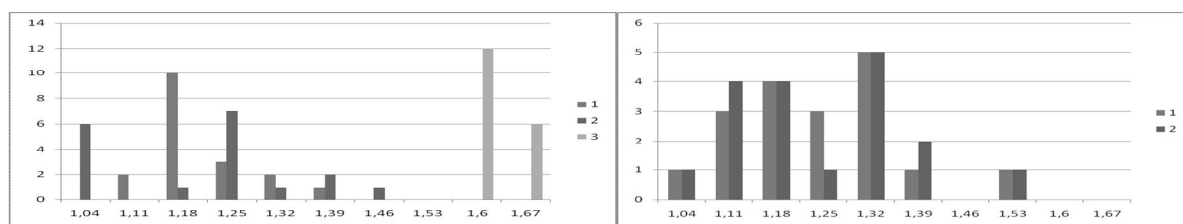
высажены искусственно, за исключением внесенных вместе с плодородным слоем грунта на горнотехническом этапе рекультивации. На данный момент на склонах и плоской вершине произрастает в основном акация белая (*Robinia pseudoacacia*). Травянистый покров на породном отвале является неоднородным и представлен типичными для степной зоны растениями.

В ходе работы для определения объемной плотности были отобраны пробы в 30 точках, в трехкратной повторности. Измерение производилось в оползневой зоне северного и южного склона на заранее подготовленных площадках, которые располагались: в теле оползня; по линии (поверхности) отрыва; на контрольных участках вне оползневой зоны.

В процессе исследования для определения объемной плотности пробы были отобраны в оползневой зоне северного и южного склона на заранее подготовленных площадках. Для этого на месте взятия образца выравнивали площадку 20-30 см. Кольцо вдавливали в породу, осторожно обкапывали и срезали снизу ножом, а затем осторожно вынимали кольцо вместе с породой. Отобранную пробу высушивали до абсолютно сухого состояния, а затем взвешивали с точностью 0,01 г. Плотность определяли как отношения массы абсолютно сухой почвы в кольце к объему кольца

Таким образом, объемная плотность грунта – масса единицы объема абсолютносухого грунта, взятого в естественном сложении, выраженная в $г/см^3$. Почву считают рыхлой, если объемная плотность горизонта равна 0,9–0,95; нормальной – 0,95–1,15; уплотненной – 1,15–1,25 и сильно уплотненной – более 1,25 $г/см^3$ [6].

Полученные в ходе работы данные были разбиты на интервалы и обработаны с помощью методов статистического анализа. На рисунке 2 приведены гистограммы распределения выборок данных по исследуемым участкам.



1 - тело оползня, 2 - контрольный участок оползня, 3 – линия (поверхность) отрыва

Рисунок 2 – Гистограмма распределения значений для выборок южного (слева) и северного (справа) склонов

Согласно данным рисунка 2, объемная плотность грунта на исследуемом породном отвале колеблется от 1,0 до 1,51 г/см³. Для грунтов контрольного участка и участка в теле оползня южного склона наиболее характерным является диапазон значений 1,29-1,35 г/см³, следовательно они могут быть охарактеризованы как сильно уплотненные, однако достаточно большое количество значений двух выборок находится в диапазоне 1,08-1,21 г/см³, что соответствует характеристике уплотненный и нормальный. Для грунтов контрольного участка северного склона наиболее характерным является диапазон значений 1,22-1,28 г/см³, их можно охарактеризовать как уплотненные и сильно уплотненные, для участка в теле оползня наибольшее количество значений находится в диапазоне 1,15-1,21 г/см³, что соответствует характеристике нормальный. Наиболее высокие значения величины объемной плотности зафиксированы для участка по линии (по-верхности) отрыва оползневой зоны северного склона и составляют 1,56-1,69 г/см³, они могут быть охарактеризованы как сильно уплотненные. В таблице 1 приведены основные статистические показатели, рассчитанные для выборок данных величин объемной плотности на исследуемом породном отвале. Как видно из таблицы 1, значения коэффициента вариации для выборок данных не превышает 13%, что говорит о достаточно высокой однородности полученных результатов.

В ходе статистического анализа данных был проведен анализ на однород-

ность выборок величин объемной плотности на участках оползневой зоны на южном и северном склоне, в ходе которого были исключены из выборки сомнительные варианты, которые могут быть ошибочными и не принадлежат совокупности данных. Так же была выдвинута и проверена прикидочная и основная гипотеза о соответствии нормальному закону распределения полученных данных. Установлено, что распределение данных в исследуемых выборках близко к нормальному.

Для изучения закономерностей влияния величины объемного веса породы на возникновение и развитие оползневых деформаций террикона в работе была проанализирована однородность выборок, составленных из данных об объемной плотности пород грунтов полученных на участках в теле оползня, поверхности отрыва и на контрольных участках северного и южного склонов. С этой целью произвели проверку однородности выборок попарно по критерию Вилкоксона [8].

С этой целью был проведен анализ однородности выборок в следующих парах выборок: выборки данных участка тела оползня и контрольного участка для северного и южного склонов соответственно; выборки данных участка тела оползня и участка поверхности отрыва северного склона; выборка данных выборка данных контрольного участка и участка поверхности отрыва северного склона; выборки данных участков тела оползня северного и южного склонов; выборки данных контрольных участков северного и южного склонов.

Таблица 1 – Результаты статистической обработки результатов измерений объемной плотности

Статистические показатели	Место отбора проб				
	тело оползня на южном склоне	контрольный участок оползня южного склона	тело оползня северного склона	линия отрыва оползня северного склона	контрольный участок оползня южного склона
Среднее арифметическое, г/см ³	1,22	1,22	1,20	1,63	1,20
Стандартное отклонение	0,098	0,087	0,060	0,030	0,150
Коэффициент вариации, %	7,97	7,14	4,97	1,86	12,54
Абсолютная ошибка	0,024	0,021	0,015	0,007	0,035
Относительная ошибка, %	1,93	1,73	1,21	0,439	2,955
Доверительный интервал, г/см ³	1,22±0,050	1,22±0,045	1,20±0,031	1,63±0,015	1,20±0,074

В случае проверки однородности выборок данных значений в точках на участке в теле оползня и на контрольном участке северного и южного склонов нет оснований отклонить гипотезу об однородности этих выборок, поскольку для обеих пар справедливо условие $\omega_{\text{нижн.кр.}} < W_{\text{набл.}} < \omega_{\text{верхн.кр.}}$ ($228 < 292,5 < 384$; $223 < 289,5 < 372$). При проверке гипотезы об однородности выборок данных величин объемной плотности в точках по линии (поверхности) отрыва и в точках контрольного участка установлено, что $W_{\text{набл.}} < \omega_{\text{нижн.кр.}}$ ($194,5 < 252$), таким образом, гипотеза об однородности данных выборок отклоняется. Аналогичные результаты получены и для выборок данных значений в точках на участке в теле оползня и в точках по линии (поверхности) отрыва ($153 < 228$). Согласно полученным данным объемная плотность участка по линии (поверхности отрыва) значительно отличается от таковой на контрольном и участке тела оползня для оползневой зоны северного склона. Для оползневой зоны южного склона данные об объемной плотности на участке поверхности отрыва отсутствуют, так как

отобрать пробы для изучения на участке поверхности отрыва нет возможности ввиду ее малого размера.

Кроме того для получения дополнительных сведений о закономерностях изменения объемного веса породы на породном отвале был проведен анализ однородности соответствующих выборок в оползневых зонах южного и северного склонов. Полученные при проверке на однородность значения критерия Вилкоксона для выборок значений в точках на участке в теле оползня для северного и южного склона позволяют подтвердить гипотезу об однородности этих выборок, поскольку для них справедливо условие $\omega_{\text{нижн.кр.}} < W_{\text{набл.}} < \omega_{\text{верхн.кр.}}$ ($223 < 297 < 372$). При анализе однородности выборок данных в контрольных точках оползневых зон северного и южного склонов так же можно сделать вывод о справедливости выдвинутой гипотезы ($228 < 319,5 < 384$).

Таким образом, полученные данные позволяют судить об однородности данных полученных на однотипных участках расположенных в различных оползневых зонах. Этот вывод представляется особенно значимым ввиду различия видов оползне-

вых деформаций южного и северного склонов породного отвала. С одной стороны полученные результаты позволяет предположить возможное влияние объемного веса на процесс возникновения деформаций породного отвала, с другой стороны влияние данного фактора не является определяющим при возникновении оползневой деформации.

Объемный вес почвы зависит от ее структурности, а соответственно содержание структур различной крупности. С целью установления зависимости между объемной плотностью и другими физико-механическими показателями породы был проведен корреляционно-регрессионный анализ между значениями объемной плотности и показателями структурно-механического состава, в качестве которого был выбран коэффициент неоднородности состава почвы.

Выведение уравнения регрессии было произведено с помощью программы Microsoft Excel. Результаты корреляционно регрессионного анализа приведены в таблице 2.

Водопроницаемость – способность почв и грунтов впитывать и пропускать воду с поверхности сквозь толщу слоев и горизонтов; измеряется количеством мм водного столба в единицу времени. Низкая фильтрация уплотненных горизонтов способствует образованию поверхностного стока воды, эрозионных процессов, формированию внутрипочвенной верховодки, заболачиванию и непродуктивному испарению влаги в атмосферу. При выпадении осадков в виде дождя на сухую поверхность водопроницаемость в начальный момент времени играет определяющую роль при впитывании. Данный процесс зависит от плотности скелета почвы, который и характеризуется значением объемной плотности.

Таблица 2 – Уравнения зависимости величины объемной плотности от коэффициента неоднородности состава почвы

Экспозиция	Коэффициент корреляции, R	Уравнение зависимости
Тело оползня южного склона	0,67	$Y = -8,18x + 20,57$
Контрольный участок оползня южного склона	0,71	$Y = 5,27x + 3,27$
Тело оползня северного склона	0,70	$Y = 5,69x - 2,36$
Линия отрыва оползня северного склона	0,04	$Y = -1,34x + 15,22$
Контрольный участок оползня южного склона	0,63	$Y = 35,31x - 32,62$

Таблица 3 – Уравнения зависимости величины объемной плотности от водопроницаемости почвы

Экспозиция	Корреляционное отношение, η	Уравнение зависимости
Тело оползня южного склона	0,88	$Y = 80,56 x^{-0,710}$
Контрольный участок оползня южного склона	0,93	$Y = 45,39 x^{-0,608}$
Тело оползня северного склона	0,55	$Y = 36,36 x^{-0,572}$
Линия отрыва оползня северного склона	0,89	$Y = 3,98 x^{-0,218}$
Контрольный участок оползня южного склона	0,92	$Y = 89,39 x^{-0,749}$

Уравнения регрессионной зависимости выведено с помощью программы Microsoft Excel. Результаты корреляционно регрессионного анализа приведены в таблице 3. Как видно из данных таблицы 3 зависимость между объемной плотностью и водопроницаемостью характеризуется достаточно высоким коэффициентом корреляции, что подтверждается фактом повышения водопроницаемости в рыхлых грунтах и ее снижением в уплотненных

Таким образом, в ходе исследований был проведен анализ одной из важнейших физико-механических характеристик, определяющих подверженность породных отвалов деформациям – объемная плотность. Для исследований был выбран типичный породный отвал - породный отвал №1 шахты пос. Сутоган. Полученные значения объемной плотности репрезентативны. Согласно эмпирическим данным порода отвала характеризуется как уплотненная и сильно уплотненная. Установлено, что на северном и южном склонах (в теле оползня и на контроле) значения объемной плотности однородны. Различия в величинах объемной плотности наблюдаются только по линии отрыва оползня.

Объемная плотность одно из важнейших свойств, определяющих способность грунтов пропускать и удерживать влагу, воздух, сопротивляться орудиям обработки и т. д. Объемная плотность зависит от типа растительности, механического и минералогического составов почвы (дисперсности), сложения, оструктуренности и степени обработки почв. В ходе исследований проведен анализ степени связи между объемной плотностью и коэффициентом неоднородности структурно-механического состава грунта, а также объемной плотностью и водопроницаемостью. Полученные в ходе корреляционно-регрессионного анализа данные говорят о наличии корреляционной связи между исследуемыми параметрами, однако в ходе анализа не получено доказательств достаточной тесноты связи между данными показателями, что позволяет судить о наличии более сложной и множественной связи физико-механических параметров между собой. Дальнейшие исследования будут заключаться в построении математической модели, учитывающей влияние всего комплекса факторов.

Библиографический список

1. Сухаревский В.М. Деформация породных овалов / Сухаревский В.М., Стельмах А.П., Фридман И.С. Деформация породных овалов. – К.: Техника, 1970. – 108 с.
2. Демин А.М. Напряженное состояние и устойчивость отвалов в карьерах / Демин А.М., Шушкина О.И. – М.: Недра, 1978. – 159 с.
3. Малюшицкий Ю.Н. Устойчивость насыпей-отвалов / Малюшицкий Ю.Н. – К.: Будивельник, 1975. – 176 с.
4. Пяткова Э.П. Исследование сдвижения горных пород и условий устойчивости отвалов на слабом основании: автореф. дис. на получение науч. степ. канд. техн. наук: спец. 05.15.01 «Маркшейдерское дело». – М., 1980. – 17 с.
5. Вадюнина А.Ф. Методы исследования физических свойств почв / Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
6. Практикум по почвоведению / [под ред. Кауричева И.С.]. – М.: Агропромиздат, 1986. – 336 с.
7. Школьний Е.П. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації / Школьний Е.П., Лоева І.Д., Гончарова Л.Д. – Одеса, 1999. – 600 с.
8. Гмурман В.Е.. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. – М.: Высшее образование, 2006. – 476 с.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Литвинским Г.Г.

Статья поступила в редакцию 02.07.13.

д.т.н Зубова Л.Г., Макаришина Ю.І. (СНУ ім. В.І.Даля, г.Луганськ, Україна. E-mail: makarishina@gmail.com)

ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄМНОЇ ЩІЛЬНОСТІ ПОРОДИ ТА ПОЧВОГРУНТУ ПОРОДНОГО ВІДВАЛУ

Проведено дослідження об'ємної щільності породи типового для Донбасу породного відвалу. Виконано аналіз репрезентативності отриманих даних про об'ємну щільність породи досліджуваного породного відвалу.

***Ключові слова:** породний відвал, об'ємна щільність, нормальний закон розподілу.*

Zybova L.G., Makarishina Y.I. (Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University, Lugansk, Ukraine. E-mail: makarishina@gmail.com)

RESEARCH OF BULK ROCK DENSITY OF MINE WASTE DUMP

Research of bulk rock density of waste dump that is typical for Donbass region were carried out. Analysis of obtained data representativity of bulk density of waste dump under research was made.

***Key words:** waste dump, bulk density, normal distribution.*