

УДК 662.613.1; 625.07

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТИННОЙ ПЛОТНОСТИ ШЛАКА НОВО-КЕМЕРОВСКОЙ ТЭЦ**

Абулханов В.И., Зуев М.В., студенты гр.ТЭБ-201, III курс,  
Богомолов А.Р., д.т.н., зав.каф. ТЭ,  
Темникова Е.Ю., к.т.н., доцент  
Кузбасский государственный технический  
университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

Возрастающие темпы строительства дорог, дальность доставки каменных материалов, характерные для многих регионов России, необходимость снижения материальных и финансовых ресурсов и восполнения дефицита природного сырья ориентируют дорожников на широкое использование более дешевых местных материалов и отходов промышленности.

К таким отходам промышленности относятся шлак и зола угольной генерации, которые складываются на золошлакоотвалах. Использование золошлаковых отходов путем их переработки является экономически более эффективно, чем складирование на золоотвалах, а с учетом перспективного увеличения экологических платежей и штрафов за вывоз ЗШО на золоотвалы и дефицита свободных земель в черте города вблизи существующих ТЭС для золоотвалов, будет становиться все более рентабельно.

В связи с чем, исследования различных технических и технологических показателей золошлаков с целью определения возможности и обоснования рекомендаций по их применению в дорожном строительстве являются актуальными, а именно получение шлаковых щебня и песка.

Задачей данной работы является определение одной из характеристик шлаковых щебня и песка – истинной плотности.

Для этого была отобрана представительная проба непосредственно на Ново-Кемеровской ТЭЦ (НК ТЭЦ). На Ново-Кемеровской ТЭЦ образующуюся в результате горения пылеугольного топлива золу уноса улавливают мокрым способом с помощью скрубберов Вентури и полых форсуночных. Жидкий шлак после охлаждения в водяной ванне удаляют в твердом виде. Отходы по массе золы уноса существенно преобладают над шлаком. Удаление золы и шлака в виде шлакозоловой пульпы по каналам гидрозолошлакоудаления через решетки и шлакодробильные аппараты осуществляют багерными насосами в золоотвалы.

Нахождение истинной плотности и пористости зерен шлаковых щебня и песка проводится по ГОСТ 32821 [1] путем определения отношения массы тела к единице объема без пустот и пор. Пористость шлакового щебня находят расчетным методом на основании предварительно установленных значений истинной и средней плотности.

Для того, чтобы провести измерения необходимо следующее оборудование: сита, весы, два пикнометра, эксикатор, шкаф сушильный, кальций хлористый, песчаная баня, таймер, электроплита, дистиллированная вода, водяной термостат, термометр.

Лабораторную пробу шлакового песка или щебня массой не менее 500 г (в случае щебня, предварительно дробят) просеивают через сито с размерами ячеек 4 и 0,125 мм для получения единичной пробы размерами зерен менее 0,125 мм.

Полученную единичную пробу размерами зерен менее 0,125 мм массой  $50 \pm 5$  г высушивают до постоянной массы при температуре  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ . Высушенный материал помещают в эксикатор над безводным хлоридом кальция и охлаждают до комнатной температуры. Из единичной пробы отбирают две мерные пробы массой  $15 \pm 1$  г каждая.

Испытания проводят в следующей последовательности. Взвешивают отдельно сухие чистые пикнометры. Мерные пробы массой  $10 \pm 1$  г засыпают в пикнометр и наполненный пикнометр взвешивают. Затем в пикнометры наливают дистиллированную воду в таком количестве, чтобы материал был полностью покрыт водой, но не более  $2/3$  объема пикнометра. Содержимое аккуратно перемешивают и ставят пикнометры в наклонном положении на песчаную баню (рис. 1), установленную на электроплитку. Содержимое пикнометров доводят до кипения и кипятят не менее 15 мин для удаления пузырьков воздуха.



Рис. 1. Фотографии пикнометров в песчаной бане и термостата

После этого пикнометры снимают с песчаной бани, охлаждают до комнатной температуры, помещают в водяной термостат (рис. 1) таким образом, чтобы верхняя часть горловины находилась на 0,5-1 см выше уровня воды, и выдерживают при температуре  $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$  в течение 20-30 мин. Затем в пикнометры добавляют дистиллированную воду до отметки на горловине, обтирают поверхность пикнометров салфеткой или бумажным

полотенцем и взвешивают. Температура добавляемой дистиллированной воды должна быть  $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$ .

Освобождают пикнометры от содержимого, промывают и заново наполняют дистиллированной водой до отметки, расположенной ниже метки на горловине, помещают их в водяной термостат и выдерживают в течение 10-15 мин. Затем в пикнометры добавляют дистиллированную воду до отметки на горловине, обтирают поверхность пикнометров салфеткой или бумажным полотенцем и взвешивают. Температура добавляемой дистиллированной воды должна быть  $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$ .

Истинную плотность  $\rho_u$  шлаковых щебня и песка по пикнометрическому методу А по ГОСТ 32821-2014,  $\text{г/см}^3$  [1], рассчитывают по формуле

$$\rho_u = \frac{(m - m_1)\rho_e}{m - m_1 + m_2 - m_3},$$

где  $m$  – масса пикнометра со шлаковым щебнем или песком, г;  $m_1$  – масса пустого пикнометра, г;  $m_2$  – масса пикнометра с дистиллированной водой, г;  $m_3$  – масса пикнометра со шлаковым щебнем или песком и дистиллированной водой, наполненного до метки, г;  $\rho_e$  – плотность воды, равная  $1 \text{ г/см}^3$ .

В табл. 1 представлены значения измеренных масс пикнометра с материалом, пустого, с дистиллированной водой и с материалом и дистиллированной водой.

Таблица 1

Результаты измерений масс

Масса пикнометра	Пикнометр 1	Пикнометр 2
со шлаковым щебнем или песком $m$ , г;	53,3957	49,8208
пустого $m_1$ , г;	43,3373	39,8021
с дистиллированной водой $m_2$ , г;	93,7104	90,1752
со шлаковым щебнем или песком и дистиллированной водой, наполненного до метки, $m_3$ , г;	100,2277	96,6528

Подставив значения масс из табл. 1, получим значения истинной плотности шлака для двух пикнометров

$$\rho_{u1} = \frac{(53,3957 - 43,3373)1}{53,3957 - 43,3373 + 93,7104 - 100,2277} = 2,840 \text{ г/см}^3,$$

$$\rho_{u2} = \frac{(49,8208 - 39,8021)1}{49,8208 - 39,8021 + 90,1752 - 96,6528} = 2,829 \text{ г/см}^3.$$

Тогда среднее значение истинной плотности  $\rho_{и} = 2,835 \text{ г/см}^3$ .

Среднюю плотность зерен шлакового щебня и водопоглощение определяют по ГОСТ 32815-2014 [2] как отношение массы пробы материала в сухом состоянии к занимаемому им объему. Был использован метод ускоренного определения средней плотности шлакового щебня при кратковременном водонасыщении (метод Б) по [2].

Единичную пробу шлакового щебня промывают под струей воды на сите с размером ячеек  $d$ , после чего просеивают через сита с размером ячеек  $D$  и  $d$ . Зерна, прошедшие через сито с размером ячеек  $d$  и оставшиеся на сите с размером ячеек  $D$ , исключают (отбрасывают). Мерную пробу шлакового щебня высушивают в сушильном шкафу при температуре  $110 \pm 5$  °С до постоянной массы и взвешивают. Высушенную мерную пробу шлакового щебня помещают в сетчатую (перфорированную) корзину и опускают ее в сосуд с водой комнатной температуры, уровень воды в сосуде должен быть выше поверхности щебня не менее чем на  $50 \pm 3$  мм. Сразу после помещения мерной пробы в воду удаляют оставшийся воздух, поднимая корзину не менее чем на 25 мм со дна сосуда и опуская, давая ей возможность падать 25 раз, затем оставляют корзину с мерной пробой в воде при комнатной температуре на  $10 \pm 1$  мин. По истечении отведенного времени сетчатую (перфорированную) корзину с мерной пробой аналогично встряхивают (поднимая и опуская в воде) и взвешивают в воде комнатной температуры. Далее сетчатую (перфорированную) корзину с мерной пробой шлакового щебня вынимают из воды и дают воде стечь в течение  $3 \pm 1$  мин. Затем мерную пробу шлакового щебня вынимают из сетчатой (перфорированной) корзины. Пустую корзину, возвращают в воду, встряхивают ее 25 раз и взвешивают в воде.

Среднюю плотность  $\rho_c$ , г/см<sup>3</sup>, мерной пробы шлакового щебня рассчитывают по формуле

$$\rho_c = \rho_v \frac{m_1}{m_1 - (m_2 - m_3)} = 1 \frac{1000}{1000 - (750 - 140)} = 2,56 \text{ г/см}^3,$$

где  $\rho_v$  - плотность воды, принимаемая равной 1 г/см<sup>3</sup>;  $m_1 = 1000$  г – масса высушенной мерной пробы;  $m_2 = 750$  г – масса сетчатой (перфорированной) корзины и мерной пробы в воде;  $m_3 = 140$  г – масса пустой сетчатой (перфорированной) корзины в воде.

Водопоглощение шлакового щебня находят расчетным методом после определения средней плотности путем сравнения массы пробы материала в насыщенном водой состоянии и после высушивания.

Водопоглощение шлакового щебня  $W_{ногл}$ , %, рассчитывают по формуле

$$W_{ногл} = \frac{100(m_4 - m_1)}{m_1} = \frac{100(1064 - 1000)}{1000} = 6,4\%,$$

где  $m_1 = 1000$  г – масса высушенной мерной пробы;  $m_4 = 1064$  г – масса мерной пробы шлакового щебня в насыщенном водой состоянии на воздухе.

Пористость шлакового щебня  $V_{пор}$ , в процентах по объему, рассчитывают по формуле

$$V_{пор} = \left(1 - \frac{\rho_c}{\rho_u}\right) 100\% = \left(1 - \frac{2,56}{2,835}\right) 100\% = 9,70\%,$$

где  $\rho_c$  – средняя плотность шлакового щебня;  $\rho_u$  – истинная плотность шлакового щебня.

В результате получены значения истинной плотности  $\rho_u = 2,835 \text{ г/см}^3$ , средней плотности мерной пробы шлакового щебня  $\rho_c = 2,56 \text{ г/см}^3$ , водопоглощения шлакового щебня  $W_{\text{погл}} = 6,4\%$  и пористости шлакового щебня в процентах по объему  $V_{\text{пор}} = 9,7\%$ .

Работа выполнена при финансовой поддержке в соответствии с договорными письмами между КузГТУ и АО «Ново-Кемеровская ТЭЦ» от 25.01.2023 г. № НК ТЭЦ-23/63 и № НКТЭЦ-23/64.

#### **Список литературы:**

1. ГОСТ 32821-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и песок шлаковые. Определение истинной плотности и пористости»: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 2 февраля 2015 г. № 43-ст – Москва: Стандартинформ, 2015. – 15 с. – Текст: непосредственный.

2. ГОСТ 32815-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Щебень шлаковый. Определение средней плотности и водопоглощения»: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 2 февраля 2015 г. № 37-ст – Москва: Стандартинформ, 2015. – 15 с. – Текст: непосредственный.