

УДК 667.633

А.В. Гречаников, А.П. Платонов, С.Г. Ковчур

## Утилизация отходов ТЭЦ

Цель работы заключается в создании и внедрении технологии утилизации отходов, образующихся на ТЭЦ г. Витебска. Ежегодно на Витебской ТЭЦ в шламо-накопителях образуется 50–60 тонн отходов после очистки речной воды (шлам продувочной воды). При очистке воды в качестве коагулянта используют сульфат алюминия, а в качестве флокулянта – полиакриламид. Вопрос утилизации отходов ТЭЦ в Витебской области и Республике Беларусь до сих пор не решен.

Химический состав шлама определялся методами количественного анализа [1]. Содержание ионов трехвалентного железа определялось гравиметрическим методом, концентрация ионов алюминия – с помощью

8-оксихинолина, содержание ионов кальция определялось комплексонометрическим методом. Результаты анализа приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Состав шлама продувочной воды**

| Содержание в весовых процентах, в расчете на сухое вещество | Проба взята в марте 2001 г. | Проба взята в марте 2002 г. |
|---|-----------------------------|-----------------------------|
| Fe(OH) <sub>3</sub>   | 20 ± 2 %                    | 23 ± 2 %                    |
| SiO <sub>2</sub>  | 32 ± 2 %                    | 32 ± 2 %                    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                              | 9 ± 2 %                     | 8 ± 2 %                     |
| CaSO <sub>4</sub>   | 3 ± 2 %                     | 5 ± 2 %                     |
| Органические вещества                                       | 36 ± 2 %                    | 32 ± 2 %                    |

Исследование содержания микроэлементов (тяжелых металлов) в шламе продувочной воды проводилось с помощью атомно-эмиссионного анализа на спектрографе PGS-2. Для анализа образцы массой от 0,2 г до 0,6 г высушивались до постоянного веса при 105–110 °С. Чувствительность метода выражается в мг на кг сухого вещества. Результаты анализа приведены в таблице 2.

Таблица 2

**Содержание тяжелых металлов в шламе**

| Элемент | Чувствительность метода, мг/кг | Шлам продувочной воды, мг/кг |
|---------|--------------------------------|------------------------------|
| Zn      | 200                            | 200                          |
| Pb      | 8                              | 16                           |
| Zr      | 6                              | 12                           |
| Cu      | 4                              | 8                            |
| Ba      | 50                             | 100                          |
| Y       | 5                              | 5                            |
| Ti      | 10                             | 20                           |
| Mn      | 10                             | 20                           |
| V       | 10                             | –                            |
| Mo      | 1                              | –                            |
| Cr      | 6                              | –                            |
| Co      | 4                              | –                            |
| Be      | 1                              | –                            |
| Sn      | 1                              | –                            |
| Bi      | 10                             | –                            |
| As      | 200                            | –                            |
| W       | 30                             | –                            |
| Sr      | 100                            | –                            |
| Sc      | 4                              | –                            |
| Sb      | 100                            | –                            |
| Cd      | 10                             | –                            |
| Ni      | 5                              | –                            |

Содержание тяжелых металлов в шламе не превышает ПДК или чувствительности метода анализа. К таким металлам относятся кадмий, сурьма, висмут, вольфрам, хром, мышьяк, стронций, ванадий, никель, кобальт, бериллий, скандий, олово, молибден. Учитывая, что содержание тяжелых металлов в шламе не превышает допустимых санитарных норм, отходы ТЭЦ можно использовать в дорожном строительстве.

Для разработки технологии утилизации шлама исследован гранулометрический состав отходов. Предварительно шлам высушивался до постоянного веса при 110°C, измельчался и проводился отсев крупных фракций. На рисунке приведены кривые гранулометрического (зернового) состава сухого шлама, песка и минерального порошка (доломита).

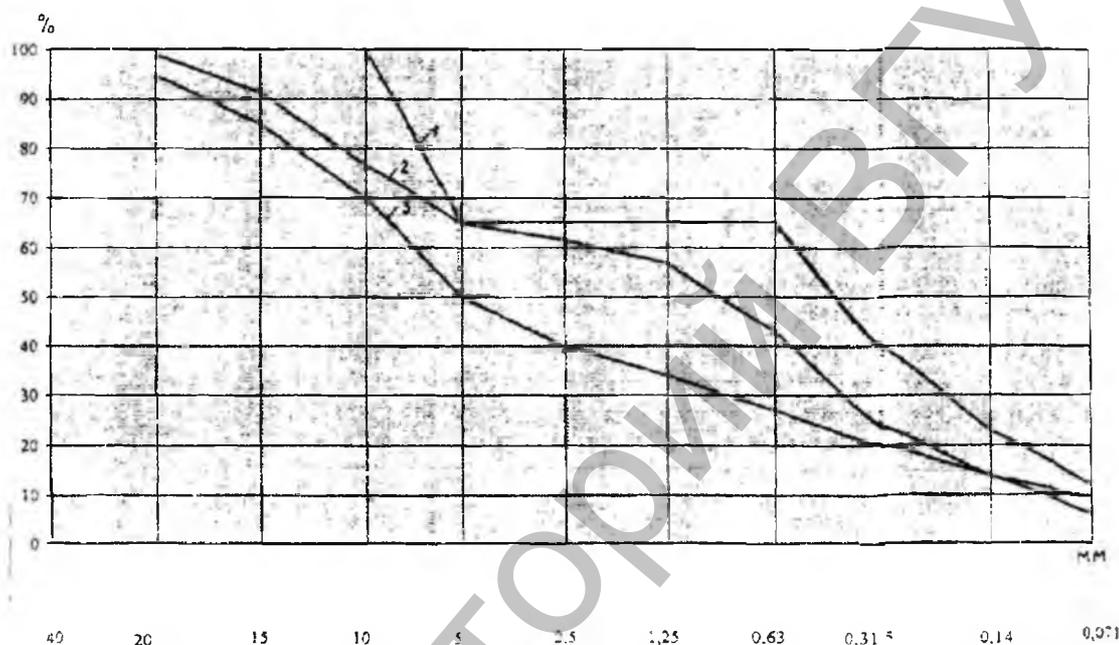


Рис. Кривые гранулометрического (зернового) состава  
(1 – песок, 2 – доломит, 3 – сухой шлам)

Применяемая в дорожном строительстве органоминеральная смесь для ремонта покрытий автомобильных дорог имеет следующий состав [2]: песчано-гравийная смесь (размер зерен 0,1–15 мм) – 62%; щебень гранитный (размер зерен 5–20 мм) – 28%; доломитовая мука (размер зерен 0,1–2,5 мм) – 7%; активатор (гашеная известь) – 3%; битум нефтяной жидкий с вязкостью 60 с – 6% от минеральных материалов.

На кафедре химии Витебского государственного технологического университета разработан состав органоминеральной смеси, в котором вся доломитовая мука заменена сухим шламом продувочной воды. Изготовление образцов органоминеральной смеси проводилось следующим образом. Предварительно высушенные и нагретые до 110°C минеральные материалы перемешиваются в механическом смесителе. Затем в смесь добавляют сухой, измельченный шлам и перемешивают в течение 10 минут. Шлам заменяет весь минеральный порошок (доломитовую муку). Постепенно, со скоростью 2–3°C в минуту, температуру смеси доводят до 100°C. Периодически измеряют осадку конуса. Через 30 минут после начала перемешивания в смесь добавляют предварительно разогретый до 65°C битум нефтяной, дорожный.

Физико-механические свойства органоминеральной смеси определялись на цилиндрических образцах, полученных при уплотнении 640 г смеси

в стальных формах при прессовании под давлением 40 МПа. По истечении 12 часов после изготовления, образцы испытывались по физико-механическим показателям, регламентируемым СТБ 1115-98 для холодного асфальтобетона. Анализы проводились в усредненной пробе в трех параллельных образцах. Выполнена математическая обработка результатов анализа по методу наименьших квадратов с 90%-ным доверительным интервалом [3].

Средняя плотность (объемная масса) асфальтобетона определялась по формуле:

$$\rho_m^a = \frac{g_0 \cdot \rho^B}{g_1 - g_2},$$

где  $g_0$  – масса образца, взвешенного на воздухе, г;  $g_1$  – масса образца, выдержанного в воде в течение 30 мин., а затем взвешенного на воздухе, г;  $g_2$  – масса того же образца, взвешенного в воде, г;  $\rho^B$  – истинная плотность воды, принятая равной 1 г/см<sup>3</sup>.

Водонасыщение (в % по объему) рассчитывалось по формуле:

$$W = \frac{g_3 - g_0}{g_1 - g_2} \cdot 100\%,$$

где  $g_0$  – масса сухого, не насыщенного водой образца, взвешенного на воздухе, г;  $g_1$  – масса образца, выдержанного в воде в течение 30 мин. и взвешенного на воздухе, г;  $g_2$  – масса того же образца, взвешенного в воде, г;  $g_3$  – масса насыщенного водой образца, взвешенного на воздухе, г.

Набухание (приращение объема) асфальтобетона рассчитывалось по формуле:

$$H = \frac{(g_3 - g_4) - (g_1 - g_2)}{g_1 - g_2} \cdot 100\%.$$

где  $g_1$  – масса сухого образца, выдержанного в течение 30 мин. в воде и взвешенного на воздухе, г;  $g_2$  – масса того же образца, взвешенного в воде, г;  $g_3$  – масса насыщенного водой образца, взвешенного на воздухе, г;  $g_4$  – масса того же образца, взвешенного в воде, г.

Предел прочности при сжатии при температурах 20°C и 50°C определялся по СТБ 1115 для холодного асфальтобетона. Результаты определений приведены в таблице 3.

Из данных таблицы 3 следует, что замена доломитового порошка шламом не приводит к ухудшению физико-механических свойств асфальтобетона. Применение отходов ТЭЦ экономически эффективно, так как отпадает необходимость использования доломитовой муки, которая производится для сельского хозяйства и не всегда отвечает нормам СТБ по гранулометрическому составу.

## Физико-механические показатели смеси

| Наименование показателей                              | Норма по СТБ 1115 | Образцы асфальтобетона с доломитом | Образцы асфальтобетона со шламом |
|---|-------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| Водонасыщение по объему, не более %                   | 5,0               | 2,88                               | 2,73                             |
| Набухание по объему, не более %                       | 1,0               | 0,78                               | 0,90                             |
| Средняя плотность (объемная масса), г/см <sup>3</sup> | Не нормируется    | 2,17                               | 2,22                             |
| Предел прочности при сжатии                           |                   |                                    |                                  |
| 20°С  | 1,2               | 9,25                               | 8,60                             |
| 50°С  | 1,8               | 5,00                               | 3,90                             |

Заменяя минеральный порошок в составе асфальтобетона отходами ТЭЦ, их можно утилизировать без предварительного высушивания. Вода в асфальтобитумных смесях в момент уплотнения выполняет роль смазывающего вещества и способствует сближению зерен минерального материала. Например, объемный вес образца, сформированного из смеси песка и битума (8%) и уплотненного нагрузкой 40 МПа, составил 2,17 г/см<sup>3</sup>, а объемный вес образца, сформированного из того же состава, но с добавкой воды в количестве 10% от веса минерального материала, – 2,22 г/см<sup>3</sup>. С увеличением плотности увеличивается коэффициент внутреннего трения смеси, что и обуславливает повышение прочности образцов при сжатии. Благодаря присутствию воды, в минеральном материале происходят процессы гидролиза и гидратации, и в местах контакта зерен образуются жесткие кристаллизационные связи, что также приводит к повышению прочности асфальтобитумных смесей. Асфальтобитумные смеси с добавкой воды имеют хорошую тепло- и влагоустойчивость и характеризуются малым набуханием. Это дает основание полагать, что такое покрытие будет хорошо служить в зонах с неблагоприятными климатическими условиями. Высокая прочность образцов с добавкой воды позволяет проводить укладку смеси в сырую погоду и по влажному основанию.

Использование шлама ТЭЦ удешевляет стоимость строительства автомобильных дорог на 10–15%. Стоимость дорожного покрытия достигает 70% от общих затрат на сооружение дороги. Поэтому устройство дорожных покрытий из местных материалов и отходов промышленности является актуальной задачей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Крешков А.П.* Основы аналитической химии: Учеб. для студентов вузов. – 3-е изд., перераб. – М., 1970. – Т. 2. – 456 с.
2. *СТБ 1033-96.* Смеси асфальтобетонные дорожные: введ. 01.01.96 – Мн., 1996. – 16 с.
3. *Спирidonov В.П., Попаткин А.А.* Математическая обработка физико-химических данных. – М., 1970. – 221 с.

## SUMMARY

*The author of the article has worked out the waste technology on the example of Vitebsk thermal utilization power station. It makes possible to produce asphalt and concrete for road construction.*

*Поступила в редакцию 30.03.2003*