

УДК 691.335

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ СЕРОБЕТОНОВ РАЗЛИЧНЫХ СОСТАВОВ

*И.В. ЛАЗОВСКАЯ; канд. техн. наук, доц. Р.А. АНДРЕЕВА
(Полоцкий государственный университет);
д-р техн. наук, проф. В.В. ТУР
(Брестский государственный технический университет)*

Рассматривается проблема увеличения количества производимых побочных продуктов, в частности серы, в результате увеличения объема и повышения глубины нефтепереработки. Анализируется один из путей диверсификации рынка серы – использование её в нетиповых отраслях, в частности в строительстве, в качестве серобетона. Серобетон – новый строительный материал на основе серного вяжущего. Исследование свойств серобетонов актуально в связи с увеличением глубины нефтепереработки и её объемов. Влияние вида применяемого наполнителя на прочность серобетонов рассматривается при сжатии. Проанализировано влияние процентного содержания серы как вяжущего для получения серобетонов на прочность при сжатии.

Ключевые слова: *серобетон, наполнитель вяжущего, отходы нефтепереработки, новые строительные материалы.*

Общеизвестны данные по объемам запасов и переработки нефти в мире, также известны оценочные данные прогнозов по продолжительности использования нефти и газа (около 50 лет при отсчете от 2018 г.) как основных энергоисточников [1]. Однако технологические процессы нефтедобычи совершенствуются, позволяя тем самым повысить эффективность выработки запасов нефти и увеличить срок использования указанных энергоносителей.

Совершенствуется также технология нефтепереработки и, соответственно, растут объемы ее отходов (побочных продуктов), в том числе серосодержащих (нефешламы, кислые гудроны, кислые сточные воды, сероводород и пр.).

Поскольку сера рассматривается не только как проблемный экологический элемент, но и как ресурсный компонент, востребованный промышленностью, сельским хозяйством, медициной, иными сферами, представляется интересным оценить ее возможные объемы от нефтепереработки в мире и Республике Беларусь в частности.

Из расчета добычи нефти в мире 100 млн баррелей в сутки (14 млн т/сут) и в среднем 2% масс. содержания в ней серы теоретически ее может быть выделено порядка 100 млн тонн в год [1].

Однако в настоящее время значительное количество серы из нефти уходит в вышеуказанные технологические отходы производства, откуда извлекать серу в настоящее время технически и экономически нецелесообразно. При этом глубина переработки нефти, решение экологических проблем (загрязнение окружающей среды) и выделение нового товарного продукта (в нашем случае – серы) находятся во взаимосвязи.

Современные технологии нефтепереработки позволяют выделять и стандартизировать в производстве серу высокой степени чистоты и, соответственно, качества.

Первичным в технологии производства серы из нефти является газообразный отход гидроочистки нефтяных продуктов – сероводород, который затем сжигается и перерабатывается по двум сырьевым направлениям – в серную кислоту и товарную серу. Эти внутренние циклические процессы позволяют производить только одному ОАО «Нафтан» до 60 тыс. тонн товарной серы в год. Очевидно, что перспективы дальнейшего использования товарной и стандартизированной серы более благоприятны и экономически более обоснованы в сравнении с серосодержащими отходами. Одним из возможных направлений ее рационального использования выступает строительная индустрия.

Как известно, сера используется в ряде отраслей, однако реальное современное производство потребляет не более 50% от производимой и добываемой рудной серы; 90% ее идет на производство серной кислоты, остальное – на производство сульфидов, резиновых изделий, искусственных волокон, взрывчатых веществ, лекарств и других товаров.

Понятен интерес в мире к разнообразным путям диверсификации рынка использования серы, в том числе в составе композиций, применяемых в строительстве. В США, Японии, Канаде активно используются серосодержащие вяжущие и бетонные смеси для строительства дорог, производства строительных конструкций высотного домостроения, в мостостроении и др. [2]. В связи с этим в на-

стоящее время в мире проводится большой объем научных исследований, связанных с подбором рецептур и технологий изготовления бетонов на основе серного вяжущего. Это обусловлено рядом *специфических, совокупных особенностей серных бетонов*, таких как:

- высокая прочность;
- гидрофобность;
- морозостойкость; износостойкость;
- стойкость к воздействию агрессивных сред.

Использование отечественного сырья позволит создать новые качественные и долговечные строительные материалы с низкой себестоимостью, а также частично решит экологическую проблему региона, значительно снизив загрязнение окружающей среды.

Таким образом, в силу изложенного перед авторами научных работ стояла задача подобрать рецептуру вяжущего и композиции бетона, содержащие в своем составе природные рудные ископаемые Республики Беларусь, отходы различных производств и товарной сертифицированной серы, получаемой в качестве одного из конечных продуктов нефтепереработки.

Задача данного исследования состоит в анализе влияния вида наполнителей на основе местного сырья и содержания серы в составе смеси на прочность серобетона при сжатии.

Методика исследований. В качестве составляющих для изготовления образцов из серобетонов различных составов использовались следующие материалы:

- сера техническая (ГОСТ 127.1-93) [3];
- доломитовая мука (ГОСТ 14050-93) [4] – образцы серий № 1–2;
- зола Белорусской ГРЭС (г. п. Ореховск Витебской области) – образцы серий № 3–5;
- гранитный щебень (ГОСТ 8237-93) [5];
- карьерный песок (ГОСТ 8735-88) [6];
- йод кристаллический (ГОСТ 4159-79) [7].

Для изготовления образцов серий № 3–4 применялась зола уноса, полученная в результате отбора проб из отвалов в разное время. Данные по химическому компонентному составу известны только для золы одной пробы (таблица 1).

Таблица 1. – Состав сырья серосодержащих бетонных смесей по основным компонентам %, масс.

| Наполнитель | CaO | Ca | SiO ₂ | Si | MgO | Mg | Fe ₂ O ₃ | Fe | Al ₂ O ₃ | Al |
|------------------|-------------|-------------|------------------|------|------|------|--------------------------------|----|--------------------------------|-----|
| Доломитовая мука | 30,4...31,0 | 21,7 | 1,65 | 0,83 | 21,7 | 13 | 0,35 | – | 0,37 | – |
| Зола уноса | 20,1...22,1 | 13,8...15,5 | 43,26...20,2 | 3,58 | 3,58 | 2,15 | 15,2...19,7 | – | 8,56 | 5,7 |

Технология изготовления опытных и контрольных образцов включала:

- подготовку сырья (фракционирование заполнителей, промывку, просушку заполнителей и инертного наполнителя до постоянной массы);
- перемешивание компонентов в определенной последовательности и определенном массовом соотношении при температуре 155 °С;
- последующее формование и виброуплотнение (1 мин), расформовку образцов после их остывания до 36 °С.

Испытания по определению прочности при сжатии проводились на пяти партиях опытных образцов-кубов с ребром 100 мм, изготовленных из серобетонной смеси.

Часть образцов испытана в соответствии с ГОСТ 10180-2012 [8] в возрасте одних суток, другая часть – в возрасте 28 суток для того, чтобы установить скорость набора прочности и потери прочности с течением времени (28 суток).

Результаты исследований. В таблицах 1 и 2 приведены данные по компонентному составу серобетонных смесей и их прочность, определенную по результатам испытаний.

Анализ используемых наполнителей в серобетоне (см. таблицу 1) показывает следующее:

- уровень содержания оксидов кальция и марганца в доломите существенно выше, чем в золе уноса, в то же время в золе уноса на порядок выше концентрация оксида кремния – 43,26%;
- при содержании серы в смеси порядка 25% масс. эти факторы не отразились на значительных колебаниях прочности образцов и составили 59...62 МПа.

Таким образом, на основании полученных результатов можно предположить:

- главными факторами, определяющими прочность образцов при сжатии, являются как сама сера, так и ее взаимодействие с мелкодисперсным наполнителем, а также прочностные свойства наполнителя;

- кристаллизованная модифицированная сера в сочетании с крупным и мелким заполнителем создают организованную монолитную структуру, обеспечивая тем самым прочностные качества серобетона.

Следует отметить, что поскольку в экспериментах использовались пробы золы-уноса, взятые с разных участков золоотвала, прочность при сжатии образцов № 3–5 существенно различалась. Объяснить это можно непостоянством химического состава и, как следствие, свойств золы, связанным с использованием различных видов топлива, его качеством (составом) и технологий сжигания.

В частности, непосредственно на белорусской ГРЭС (г. п. Ореховск Витебской области) сырьем попеременно и/или одновременно служат щепка (древесный отход) и торф, при этом имеет место переменный температурный режим сжигания. При данных условиях невозможно обеспечить стабильность химического состава золы уноса и, как следствие, постоянство свойств серобетонов с данным наполнителем.

Таблица 2. – Варианты составов серобетонных смесей и их прочность при сжатии

| № серии образцов | Сера, % масс. | Щебень, % масс. | Песок, % масс. | Доломит, % масс. | Зола уноса, % масс. | Средняя прочность, МПа | |
|------------------|---------------|-----------------|----------------|------------------|---------------------|------------------------|------|
| | | | | | | Возраст, сут | |
| | | | | | | 1 | 28 |
| 1 | 25 | 37 | 20 | 18 | – | 59,3 | 59,6 |
| 2 | 25 | 45 | 15 | 15 | – | 60,7 | 60,2 |
| 3 | 25 | 37 | 20 | – | 18 | 61,0 | 60,5 |
| 4 | 25 | 45 | 15 | – | 15 | 62,5 | 61,2 |

В рамках проведенных исследований также рассматривался вопрос относительно определения количества серы как вяжущего для изготовления серобетона. Для этого были проведены предварительные испытания на прочность при сжатии образцов, изготовленных с различным содержанием серы (от 10 до 30% масс.).

В качестве наполнителя использовалась доломитовая мука.

Всего было испытано 4 серии опытных образцов-кубов с размером ребра 100 мм, по 3 образца-близнеца в каждой серии.

Среднее значение плотности всех опытных образцов составила 2436 кг/м³.

Составы для изготовления опытных образцов, а также результаты испытаний на прочность при сжатии представлены в таблице 3.

Таблица 3. – Варианты составов опытных образцов серобетонных смесей и их прочность при сжатии

| № серии образцов | Содержание серы, % масс. | Содержание щебня, % масс. | Содержание песка, % масс. | Содержание доломитовой муки, % масс. | Средняя прочность, МПа |
|------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| 1 | 10 | 45 | 25 | 20 | 49 |
| 2 | 15 | 45 | 25 | 15 | 62 |
| 3 | 25 | 45 | 15 | 15 | 60,7 |
| 4 | 30 | 35 | 15 | 20 | 42 |

Заключение. По результатам проведенных испытаний выполнен анализ прочностных свойства серобетонов, изготовленных с использованием различных наполнителей, полученных из местных сырьевых источников. При этом можно констатировать, что в качестве наполнителей в составе серобетона

наиболее приемлемы доломитовая мука (ГОСТ 14050-93) и зола уноса. Вместе с тем необходимо учитывать непостоянство химического состава золы уноса, связанное с непостоянством используемого топлива и тепловых режимов его сжигания. В работе также проанализировано влияние содержания в составе серобетона серы как вяжущего на прочность при сжатии – главными факторами, определяющими прочность образцов при сжатии, являются как сама сера, так и ее взаимодействие с мелкодисперсным наполнителем, а также его прочностные свойства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Невельский, А. Добыча нефти в мире впервые достигла 100 млн. баррелей в день [Электронный ресурс] / А. Невельский // Ведомости (Бизнес/ГЭК). – 2018 (13.09). – Режим доступа: <https://www.vedomosti.ru/newspaper/last>. – Дата доступа: 18.06.2019.
2. Волгушев, А.Н. Применение серы в строительстве [Электронный ресурс] / А.Н. Волгушев // Аналитический портал химической промышленности Newchemistry.ru. – Режим доступа: http://www_newchemistry.ru/letter.php?n_id=4348. – Дата доступа: 18.06.2019.
3. Сера техническая. Технические условия : ГОСТ 127.1-93. – Введ. 1997-01-01.
4. Мука известняковая (доломитовая). Технические условия : ГОСТ 14050-93. – Введ. 1995-01-01.
5. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия : ГОСТ 8237-93 (с изм. № 1–4). – Введ. 1995-01-01.
6. Песок для строительных работ. Методы испытаний : ГОСТ 8735-88 (с изм. № 1, 2, испр.). – Введ. 1989-07-01.
7. Реактивы. Йод. Технические условия : ГОСТ 4159-79. – Введ. 1980-07-01.
8. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам : ГОСТ 10180-2012. – Введ. 2013-07-01.

Поступила 21.06.2019

DURABILITY EVALUATION OF SULFUR CONCRETE OF VARIOUS COMPOSITION

I. LAZOUSKAYA, R. ANDREEVA, V. TUR

With an increase in volume and an increase in the depth of oil refining, the amount of produced by-products, in particular sulfur, increases. One of the ways to diversify the sulfur market is to use it in non-standard industries, in particular, in construction. Sulfur concrete is a new building material based on sulfur binder. The study of the properties of sulfur concrete is relevant in connection with an increase in depth and an increase in oil refining volumes. In this article, the authors consider the influence of the type of filler used on the strength of sulfur concrete with short-term compression. In addition, the influence of the percentage of sulfur as a binder for the production of sulfur concrete on compressive strength was analyzed.

Keywords: sulfur concrete, binder filler, oil refining waste, new building materials.