

УДК 625.7/.8:658.567.1

## ПОДХОД К ПРИМЕНЕНИЮ ЗОЛОШЛАКОВ В ДОРОЖНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Канд. техн. наук **С.В. Полякова**,  
инженер **И.В. Чанцев**  
(ФАУ «РОСДОРНИИ»)

Конт. информация: polyakovasv@rosdornii.ru

*Накоплен значительный опыт, свидетельствующий о том, что вторичные материалы и побочные продукты промышленности могут эффективно применяться и в дорожном хозяйстве. В статье приведена информация по объему образования золошлаковых отходов (ЗШО) от сжигания угля, объему их утилизации, классификации по классу опасности, основным понятиям, используемым в сфере обращения с отходами, вторичными ресурсами и сырьем на их основе, регламентированными федеральными законами. Даны общие сведения по объему образования золошлаковых побочных продуктов в зарубежной практике, их практическому и эффективному использованию.*

**Ключевые слова:** золошлаковые отходы угольных теплоэлектростанций (ТЭС), утилизация, золошлаковые материалы, золошлакоотвалы ТЭС, область обращения с отходами, дорожное хозяйство.

Согласно данным, приведенным в Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года, свыше 30 млрд т отходов накоплено в результате прошлой хозяйственной и иной деятельности [1].

Генерация отходов промышленности, в том числе отходов от сжигания твердого топлива, является одной из проблем возрастающего загрязнения окружающей среды и, как следствие, здоровья населения, а утилизация отходов<sup>1</sup> промышленности становится приоритетной государственной задачей всех стран при решении вопросов, связанных с охраной окружающей среды.

<sup>1</sup> Утилизация отходов – использование отходов для производства товаров (продукции), выполнения работ, оказания услуг, включая повторное применение отходов, в том числе повторное применение отходов по прямому назначению (рециклинг), их возврат в производственный цикл после соответствующей подготовки (регенерация), извлечение полезных компонентов для их повторного применения (рекуперация) (Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления»).

В Российской Федерации до настоящего времени объем утилизации отходов по количественным показателям значительно уступает развитым странам мира.

В сборнике «Промышленное производство в России» и Государственном докладе «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации» приведены статистические данные по уровню образования и утилизации отходов производства, в том числе отходов производства *теплоэнергетической отрасли* [2, 3]. В табл. 1 приведена динамика данных за 2017-2021 гг. по образованию и утилизации золошлаковых отходов в сфере генерации энергии.

Таблица 1

*Уровень образования и утилизации отходов производства  
в сфере генерации энергии*

<i>Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха</i>	<i>2017 г.</i>	<i>2018 г.</i>	<i>2019 г.</i>	<i>2020 г.</i>	<i>2021 г.</i>	
	Образование (млн т)					
	20,5	20,1	20,2	17,5	18,7	
	Утилизация (млн т)					
	0,8	1,7	1,8	1,6	3,9	2,2
	3,9 %	8,4 %	9,0 %	8,9 %	11,8 %	

Динамика образования отходов производства в области теплоэнергетики находится практически на одном уровне, а динамика утилизации отходов производства показывает тенденцию увеличения их объема в 2021 г. в 2,75 раза по сравнению с 2017 г.

В Государственном докладе РФ 2020 года о состоянии и об охране окружающей среды приведены систематизированные данные о фактическом состоянии окружающей природной среды и количестве захороненных отходов в зависимости от видов экономической деятельности (рис. 1) [3].



**Рис. 1. Количество захороненных отходов в РФ, по видам экономической деятельности в 2020 г., млн т**  
(Источник: данные Росприроднадзора)

В случае с захоронением отходов<sup>2</sup> главным источником продуктов деятельности стали предприятия добывающей отрасли. Показатель захоронения отходов для данной отрасли составил: в 2020 г. – 750,13 млн т; в 2021 г. – 919,1 млн т, или 93,6 % от общего объема захоронения отходов.

Около 6,32 млн т захороненных в 2020 г. отходов приходилось на теплоэнергетическую отрасль, в 2021 году – 2,37 млн т.

На **рис. 2** приведено количество отходов на хранении<sup>3</sup> по видам экономической деятельности в 2021 г.

Наибольшая часть отходов на хранении в 2021 г. также пришлась на отрасль добычи полезных ископаемых (3106,6 млн т).

Около 12,5 млн т отходов на хранении в 2020 г. пришлось на теплоэнергетическую отрасль, в 2021 г. – 13,6 млн т.

Как и ранее, основным источником энергии является уголь, который занимает лидирующую позицию по сравнению с другими источниками генерации электроэнергии. На **рис. 3** представлена доля различных сырьевых источников в мировом производстве электроэнергии

<sup>2</sup> *Захоронение отходов* – изоляция отходов, не подлежащих дальнейшей утилизации, в специальных хранилищах в целях предотвращения попадания вредных веществ в окружающую среду.

<sup>3</sup> *Хранение отходов* – складирование отходов в специализированных объектах сроком более чем одиннадцать месяцев в целях утилизации, обезвреживания, захоронения.

(уголь, природный газ, ядерная энергетика, нефть, гидроэнергетика, биоэнергетика и др.)<sup>4</sup>.



**Рис. 2. Количество отходов на хранении в Российской Федерации, по видам экономической деятельности в 2021 г., млн т.**  
(источник: данные Росприроднадзора<sup>5</sup>)

Несмотря на широкое использование гидроэнергетики и атомных электростанций, преобладающую долю электроэнергетики во всем мире, в том числе в России, на сегодняшний день занимают мощные угольные теплоэлектростанции (далее по тексту – ТЭС). На долю угля приходилось более одной трети общего объема производства электроэнергии. Эти тенденции не совпадают с отчетом «Нулевые выбросы к 2050 году»<sup>6</sup>, который предусматривает неуклонное сокращение выработки электроэнергии на угле в среднем на 9 % в период с 2022 г. по 2030 г. и полный отказ к 2040 году.

Следует отметить, что глобальные выбросы CO<sub>2</sub> от угольных электростанций выросли до рекордно высокого уровня 9,7 Гт<sup>7</sup> в 2021 г.,

<sup>4</sup> World gross electricity production, by source, 2019 – Charts – Data & Statistics - IEA (дата обращения: 02.03.2023).

<sup>5</sup> Государственный доклад 2021 г. <https://ecology-gosdoklad.ru/> (дата обращения: 02.03.2023).

<sup>6</sup> [https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c3445399d0c10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector\\_CORR.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c3445399d0c10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf) (дата обращения: 02.02.2023).

<sup>7</sup> Гигатонна (русское обозначение: Гт; международное: Gt) - единица измерения массы, равная 10<sup>9</sup> (миллиарду) тонн или 10<sup>12</sup> (триллиону) кг.

что представляет собой увеличение почти на 6,6 % по сравнению с предыдущим годом<sup>8</sup>.



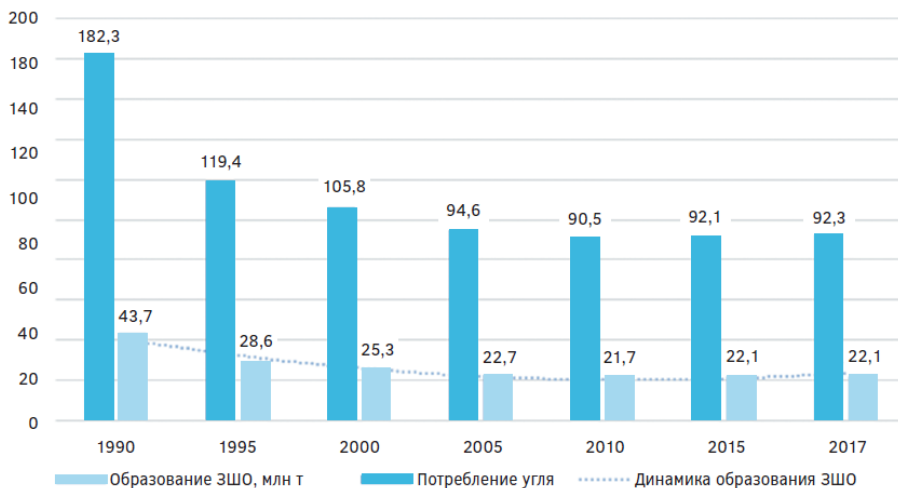
*Рис. 3. Сырьевые источники производства энергии*

Таким образом, уголь остается основным видом твердого топлива, а ключевое направление его применения – генерация электрической энергии на ТЭС.

Согласно оценке мирового состояния сырьевой базы, доля угольного топлива в производстве электроэнергии в развитых странах колеблется от 52 до 94 %: Австралия – 77 %; Китай – 76 %; Чехия – 67 %; Греция – 69 %; Германия – 52 %; США – 56 %. Лидерами потребления угольного топлива являются: Польша – 94 %; ЮАР – 93 %; Индия – 78 %.

В результате сжигания угля образуются *золошлаковые отходы* (далее по тексту – ЗШО). В РФ уровень потребления угля и образования ЗШО приведены на графике (**рис. 4**). Так, на период 2017 г. уже было образовано 22,1 млн т ЗШО при потреблении 92,3 млн т угля.

<sup>8</sup> <https://www.iea.org/reports/coal-fired-electricity> (дата обращения: 02.02.2023).



**Рис. 4. Потребление угля и образование ЗШО, млн т**

В РФ находится в эксплуатации около 200 ТЭС, работающих на угле или горючих сланцах. Ежегодно образуется порядка 18 млн т ЗШО в год. Доля вовлечения золошлаков от годового объема формирования по разным оценкам составляет 8-10 %, а остальная часть сбрасывается в отвал ТЭС<sup>9</sup> [4]. В открытых источниках данные существенно разнятся.

По данным источника<sup>10</sup>, в настоящее время в качестве вторичного сырья отгружается не более 4 млн т золошлаков в год, включая:

- 0,8 млн т сухой золы уноса;
- 3,2 млн т гидратированных золошлаковых смесей, используемых для рекультивации земель, ландшафтных работ и производства цемента.

Для сравнения уровень утилизации золошлаков в развитых странах колеблется в широких пределах: Финляндия, Великобритания, Германия – более 60 %; Япония, страны ЕС – около 50 %; США – 25 %<sup>11</sup>.

<sup>9</sup> [https://arvis.online/wp-content/uploads/2022/05/%E2%84%96145\\_Zolnye-avtodorogi.pdf](https://arvis.online/wp-content/uploads/2022/05/%E2%84%96145_Zolnye-avtodorogi.pdf) (дата обращения: 10.03.2023).

<sup>10</sup> <https://energypolicy.ru/ot-otvodov-ugolnyh-elektrostantsij-k-proizvodstvu-stroitelnyh-materialov/ugol/2021/14/28/> (дата обращения: 02.03.2023).

Необходимо отметить, что ТЭС – это организации коммерческой инфраструктуры, именно в печах ТЭС при сжигании угля образуются ЗШО, пригодные для получения вторичной продукции, которые могут найти широкую область применения, в том числе и в дорожном хозяйстве. Однако для этого силами теплоэнергетических компаний следует перевести ЗШО в статус *золошлаковых материалов* (далее по тексту – ЗШМ). То есть ЗШО не являются готовым продуктом, а их переработка и доведение до уровня ЗШМ находится в зоне ответственности теплоэнергетических компаний.

В реальных условиях доминирует практика хранения и захоронения ЗШО в золошлакоотвалах. Кроме того, на территории Российской Федерации существующие производственно-технические комплексы по переработке ЗШО в дорожно-строительную продукцию (материал) в современных условиях не имеют должного уровня развития и нуждаются в их значительной модернизации, что отражается и на уровне качества конечного продукта.

*В свою очередь в области дорожного хозяйства созданы условия, допускающие применение ЗШМ в случае выпуска их стабильного качества и при соответствии требованиям действующих нормативно-технических документов.*

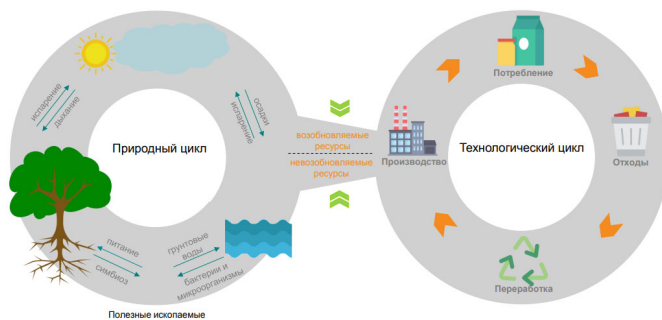
Золошлакоотвалы ТЭС в России занимают значительные территории. В настоящее время более 20 тыс. кв. км земельных участков уже отчуждено. Следует отметить, что 30 % существующих золошлаковых хранилищ угольных ТЭС практически исчерпано.

Таким образом, утилизация отходов производства становится уже не столько вопросом экономии ресурсов, сколько проблемой безопасности населения страны, решение которой положительно отразится на ресурсосбережении и охране окружающей среды в целом.

В связи с этим, в России, как и во всем мире, происходит постепенная смена традиционной линейной модели экономики на альтернативную концепцию экономики замкнутого цикла, в том числе и в области отходов производства (**рис. 5**).

---

<sup>11</sup> <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-razlichiy-rentgenoamorfnoy-fazy-v-sostave-nizkokaltsievyyh-alyumosilikatov-na-prochnostnye-harakteristiki-geopolimernyyh/viewer> (дата обращения: 02.03.2023).



**Рис. 5. Модель экономики замкнутого цикла<sup>12</sup>**

На первом этапе при переходе к экономике замкнутого цикла следует решить следующее:

- сформировать систему качественного учета вторичных ресурсов производства;
- решить проблему дефицита профессиональных кадров в данной сфере;
- информационно обеспечить заинтересованное сообщество в части возможностей, перспектив, экономической привлекательности деятельности в области использования вторичных ресурсов, лучших доступных технологий и практик и др.

В дорожном хозяйстве потребляется значительное количество природных ресурсов, замена которых вторичными золошлаковыми ресурсами может быть перспективным и актуальным направлением, но предполагает принципиально новый подход к производству, потреблению и ведению хозяйственной деятельности. При этом, необходимо соблюсти обязательное условие – *использование золошлаковых ресурсов с технической точки зрения не должно ухудшать эксплуатационных характеристик автомобильной дороги.*

<sup>12</sup> <https://www.sibur.ru/upload/iblock/ed6/awx9xop5r5cqqgpoquj102pm2puro0rm.pdf> (дата обращения: 15.03.2023).



В области обращения с отходами действует ряд основных законов и документов:

- Федеральный закон от 10 января 2002 года № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»;
- Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» и отдельные законодательные акты Российской Федерации»;
- Федеральный закон от 14.07.2022 № 268-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» и др.

Правительство России в июне 2020 г. утвердило Энергетическую стратегию до 2035 года. С целью уменьшения отрицательного воздействия деятельности организаций топливно-энергетического комплекса на окружающую среду, в документе впервые установлен *целевой показатель утилизации золошлаков ТЭС*:

- к 2024 году объем их полезного использования должен составлять не менее 15 % от годового уровня образования по отрасли в целом;
- к 2035 году – не менее 50 % [5].

Основные понятия в области обращения с отходами регламентированы в государственных стандартах, которые носят рекомендательный характер:

- межгосударственный ГОСТ 30772-2001 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения»;
- национальный ГОСТ Р 54098-2010 «Ресурсосбережение. Вторичные материальные ресурсы. Термины и определения» (далее по тексту – ГОСТ Р 54098-2010).

На схеме (**рис. 6**) приведены основные понятия, используемые в сфере обращения с отходами, вторичными материальными ресурсами и сырьем на их основе.

С целью повышения объемов утилизации золошлаковых отходов распоряжением Правительства РФ от 15.06.2022 № 1557-р «Об утверждении комплексного плана по повышению объемов утилизации золошлаковых отходов V класса опасности» утвержден *комплексный план*, предусматривающий разработку и принятие региональных про-

грамм повышения объемов утилизации золошлаковых отходов и их использования в качестве вторичного сырья.

Кроме того, в рамках паспорта федерального проекта «Экономика замкнутого цикла», не входящего в состав национальных проектов Российской Федерации, разработана *отраслевая программа «Применение вторичных ресурсов, вторичного сырья из отходов в сфере строительства и жилищно-коммунального хозяйства на 2022 – 2030 годы»*, утвержденная заместителем Председателя Правительства Российской Федерации В. Абрамченко от 10.10.2022 № 11795п-П11. В перечень отходов, вовлекаемых в хозяйственный оборот, также включены *шлаки и золошлаковые смеси* от сжигания углей, которые отнесены к IV-V классам опасности в соответствии с Федеральным классификационным каталогом отходов [6].



**Рис. 6. Основные понятия, используемые в сфере обращения с отходами, вторичными материальными ресурсами и сырьем на их основе**

В **табл. 2** приведена общая классификация золошлаковых отходов от сжигания углей.

Таблица 2

*Золошлаковые отходы при сжигании углей*

<i>Код</i>	<i>Наименование отхода</i>	<i>Класс опасности отходов. Агрегатное состояние</i>
<b>6 11 100 00 00 0</b>	<b><i>Золы от сжигания углей</i></b>	
6 11 100 01 40 4	Зола от сжигания угля малоопасная	<b>IV класс</b>
6 11 111 12 40 5	Зола от сжигания угля, содержащая преимущественно диоксид кремния и оксид алюминия	<b>V класс</b>
<b>6 11 200 00 00 0</b>	<b><i>Шлаки от сжигания углей</i></b>	
6 11 200 01 21 4	Шлак от сжигания угля малоопасный	<b>IV класс опасности</b> Кусковая форма
<b>6 11 300 00 00 0</b>	<b><i>Золошлаковые смеси от сжигания углей при гидроудалении золы-уноса и топливных шлаков. Не требуют определения агрегатного состояния и физической формы</i></b>	
6 11 300 01 39 4	Золошлаковая смесь от сжигания углей при гидроудалении золы-уноса и топливных шлаков малоопасная	<b>IV класс опасности</b> Прочие дисперсные системы
6 11 300 02 20 5	Золошлаковая смесь от сжигания углей при гидроудалении золы уноса и топливных шлаков практически неопасная	<b>V класс опасности</b> Безвредные Практически неопасные Их угроза окружающей среде стремится к 0
6 11 363 11 39 5	Золошлаковая смесь от сжигания углей при гидроудалении, осажденная совместно с осадками водоподготовки и химической очистки котельно-теплового оборудования	<b>IV класс опасности</b> Прочие дисперсные системы
<b>6 11 400 00 00 0</b>	<b><i>Золошлаковые смеси от сжигания углей прочие</i></b>	
6 11 400 01 20 4	Золошлаковая смесь от сжигания углей малоопасная	<b>IV класс опасности</b> <b>Твердое</b>
6 11 400 02 20 5	Золошлаковая смесь от сжигания углей практически неопасная	<b>V класс опасности</b> <b>Твердое</b>

Таким образом, 1 марта 2023 года вступил в силу Федеральный закон № 268 от 14.07.2022 «О внесении изменений в Федеральный закон № 89 «Об отходах производства и потребления», который регулирует несколько групп отношений в области обращения с отходами, включая:

- вторичные ресурсы;
- вторичное сырье.

---

Ниже приведены установленные новым законом основные определения «вторичные ресурсы», «вторичное сырье» и ранее принятое понятие «продукция».

- *Вторичные ресурсы* относят к *отходам*, которые или части которых могут быть повторно использованы для производства товаров, выполнения работ, оказания услуг или получения энергии и которые получены в результате раздельного накопления, сбора или обработки отходов либо образованы в процессе производства. Определенное законом понятие «вторичные ресурсы» сохраняет их статус как отходов. При этом вторичные материальные ресурсы подлежат утилизации, и их захоронение не допускается<sup>13</sup>.
- *Вторичное сырье* определяется как *продукция*, полученная из вторичных ресурсов непосредственно (*без обработки*) или в соответствии с технологическими процессами, методами и способами, предусмотренными документами в области стандартизации Российской Федерации, которая может использоваться в производстве другой продукции и (или) иной хозяйственной деятельности.
- *Продукция* (ст. 2 184-ФЗ) подразумевает результат деятельности, представленный в материально-вещественной форме и предназначенный для дальнейшего использования в хозяйственных и иных целях<sup>14</sup>. Соответствие продукции требованиям технических регламентов, документам по стандартизации или условиям договоров определяется документарным удостоверением прямого или косвенного определения соблюдения требований, предъявляемых к объекту. Результаты действий по подтверждению соответствия рассматриваются в качестве доказательств соответствия продукции и иных объектов установленным требованиям.

На **рис. 7** приведена общая схема перехода от отхода производства к продукции с учетом положений нового федерального законодательства.

---

<sup>13</sup> Положения п. 2 статьи 17.1 Закона № 89-ФЗ вступают в силу с 1 января 2030 г.

<sup>14</sup> Статья 2 Федерального закона от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании» (в ред. от 02.07.2021).



Рис. 7. Общая схема перехода от отхода производства к продукции

Схема 2

на примере золошлаковых отходов



Рис. 8. Схема перехода от золошлаковых отходов к золошлаковым материалам

В части разделения понятий «золошлаковые отходы» и «золошлаковые материалы» действует ГОСТ Р 54098-2010 (п. 3.2.11), который регламентирует следующие понятия (ниже приведены извлечения из ГОСТ Р 54098-2010):

- «золошлаковые отходы, прошедшие обезвреживание, обработку, переработку и *получившие сертификат соответствия природоохранным и санитарно-гигиеническим требованиям, пригодны для получения вторичной продукции*»;
- «из золошлаковых отходов, пригодных для получения вторичной продукции, изготавливают золошлаковые материалы, могущие получить сертификат соответствия требованиям технических регламентов, стандартов, сводов правил и международных договоров для целей дальнейшего использования в хозяйственном обороте» (**рис. 8**).

Таким образом, золошлаковому материалу присваивается статус продукции только в том случае, если на него будет получен сертификат соответствия требованиям технических регламентов, стандартов, сводов правил и международным договорам.

### *Зарубежная практика применения золошлаков*

В мировой практике для определения понятия золошлаков использовались различные термины, такие как: угольная зола, летучая зола, пылевидная топливная зола; побочные продукты утилизации угля (CUBs), побочные продукты сжигания угля (CCBs), холодные остатки сжигания угля (CCRs), отходы сжигания угля (CWRs) и др. По сути, все перечисленные термины относятся к золошлакам.

Были проведены обширные исследования, и выбран путь перехода от утилизации зоолошлаков к их переработке для обеспечения устойчивого развития. Этому способствовала разработка новых эффективных технологий и материалов с их использованием, что и изменило подход к их применению.

В зарубежной практике золошлаки от сжигания угля, ранее считавшиеся промышленными отходами, в настоящее время относят к *побочным продуктам сжигания угля* [7].

*В отличие от зарубежной практики в Российской Федерации золошлаки относят к отходам производства.*

Точное понимание терминов и их определения крайне важны для разработки эффективных нормативно-технических документов, регламентирующих их применение, в том числе и в области дорожного хозяйства. Поэтому, в целях обеспечения точности, единообразия и гармонизации члены *Всемирной сети по продуктам сжигания угля* («WWCCPN»<sup>1</sup> или «Network») приняли в качестве основного термина – *побочные продукты сжигания угля* (англ. Coal Combustion Products, CCPs) (далее по тексту – CCPs) [8]. Впервые аббревиатура – CCPs – была использована в США в 1998 г.; однако в настоящее время термин «CCPs» является предпочтительным и соответствует концепции промышленной экологии и принципам экономики замкнутого цикла, которые представляют собой подход, направленный на повторное использование побочных продуктов одной отрасли в качестве сырья для другой отрасли. Полагают, что гармонизация терминологии будет способствовать углублению понимания технических характеристик и обусловит расширение их применения на международном рынке.

При этом к каждому побочному продукту устанавливаются технические требования, подтверждающие соответственный уровень качественных характеристик<sup>15</sup>.

В зарубежной практике различают основные виды побочных продуктов CCPs:

– **зола уноса** (летучая зола (англ. Fly ash)). Тонкодисперсная зола, образующаяся на угольных электростанциях, собранная с помощью электрофильтров (составляет примерно 85 % от всех производимых ЗШО). Некоторые виды золы уноса могут проявлять гидравлическую активность в присутствии влаги.

Уловленная зола уноса находится в сухом состоянии, с содержанием влаги не более 3 %, и транспортируется через систему золоудаления либо в силос для временного хранения, либо в эдуктор воды для смачивания с последующим сливом в золоотстойник. Зола уноса в силосе выгружается через специализированное оборудование либо в сухом состоянии в пневматический или бестарный транспорт (автомобильный или железнодорожный) для дальнейшего использования, либо увлажняется водой для захоронения и/или утилизации, и/или полезного повторного использования.

---

<sup>15</sup> <https://www.gov.uk/government/publications/waste-quality-protocols-review/waste-quality-protocols-review#ongoing-qp-reviews> (дата обращения: 15.03.2023).



Пример предприятия по производству золы уноса, хранящейся в массивных озерах, расположенных недалеко от угольных электростанций, приведен на **рис. 9**.



**Рис. 9. Складирование золы уноса в Кингстоне (штат Теннесси, США)**

– **кондиционированная зола** (англ. Conditioned ash). Такую золу производят отдельно путем ее смешивания с определенным количеством воды (обычно от 10 до 20 % по массе) для ее возможной перевозки в обычных автомобилях-самосвалах и предотвращения образования пыли при продаже или утилизации;

– **топочная донная зола** (англ. Furnace Bottom Ash, FBA) – крупнозернистая зола, которая оседает на дно печи. Расплавленная зола закоксовывает трубы котла и в конечном итоге падает на дно топки (составляет менее 15 % от всей производимой золы).

Донная зола обычно имеет оттенки от серого до черного цвета, относительно угловатая с пористой структурой поверхности. Донная зола используется в качестве заполнителя, сырья для производства цемента или в строительстве для замены природных материалов (например, песок, щебень);

– **котельный шлак** (англ. Boiler slag) – расплавленная зола, собранная у основания шлакоуловителей и циклонных печей, которая за-

каливается водой и распадается на черные угловатые частицы, имеющие гладкий, стеклообразный внешний вид. Котельный шлак широко востребован для полезного использования (абразивная крошка, кровельные гранулы и т.д.), но его поставки сокращаются из-за вывода из эксплуатации ряда электростанций, выработавших свой ресурс;

– **ценосферы** (англ. Cenospheres) – полые частицы золы, которые образуются в потоке печного дыма (их доля составляет примерно 1-2 % от всей производимой золы уноса). В некоторых случаях данные частицы содержат более мелкие зольные сферы. Они удерживаются на поверхности воды и обычно собираются из отстойников, где используются системы удаления золы/воды. Ценосферы – это легкие (от 23 до 28 фунт/фут<sup>3</sup>)<sup>16</sup>, инертные, полые, по существу, тонкостенные стеклянные сферы (10-350 микрон), состоящие в основном из кремнезема и глинозема и заполненные воздухом и/или газами. Ценосферы формируются из золы, когда она находится в расплавленном состоянии. Толщина стенок ценосфер может быть чрезвычайно мала, а объемная плотность в результате составляет менее 1 г/см<sup>3</sup>.

Ценосферы, собранные с поверхности золоотвалов, обрабатываются (очищаются, сушатся, сортируются и др.) и продаются как высокоценный продукт, используемый для улучшения эксплуатационных характеристик таких продуктов, как краски, защитные покрытия, клеи и т.д. В настоящее время ценосферы извлекаются из сухой золы уноса и продаются компаниями, которые запатентовали технологические процессы производства данного продукта под торговыми марками.

Частицы золы уноса могут включать *микросферы*, которые образуются из золы уноса, находящейся в расплавленном состоянии. В этом состоянии образуются мельчайшие частицы твердой сферической формы, поскольку минимизируется поверхностное натяжение. Частицы золы имеют диаметр не более 5 мкм;

– **продукты сероочистки дымовых газов** (*Flue Gas De-sulfurisation*). В ходе производственного процесса при сжигании угля для удаления сернистых соединений в поток топочного дыма вводится кальций. Стандартная технология может включать в процесс прохождения дымового газа измельченный в воде известняк. Сернистые соединения превращают карбонат кальция в сульфат каль-

<sup>16</sup> 1 фунт/фут<sup>3</sup> = 16.02 кг/м<sup>3</sup>.

ция или гипс, который используется в производстве стеновых плит в строительстве.

Американская ассоциация угольной золы (АСАА) выпустила подробный глоссарий терминов<sup>17</sup> в области регулирования и использования продуктов ССРs. Документ содержит основные термины и определения, которые используются специалистами, вовлеченными в процессы управления продуктами ССРs и связанными как с их производством, обработкой, хранением и применением, так и с захоронением.

Подобный глоссарий специфических терминов, относящихся к области обращения с золошлаковыми отходами, разработанный в отечественной практике, позволит разъяснить ключевые термины, облегчит задачу поиска области их применения и поможет в решении других вопросов.

Таким образом, побочные продукты сжигания угля (ССРs) – это материалы, образующиеся при сгорании угля для производства электроэнергии, которые состоят из золы уноса, материалов сероочистки дымовых газов (FGD), донной золы, котельного шлака и других побочных продуктов ТЭС.

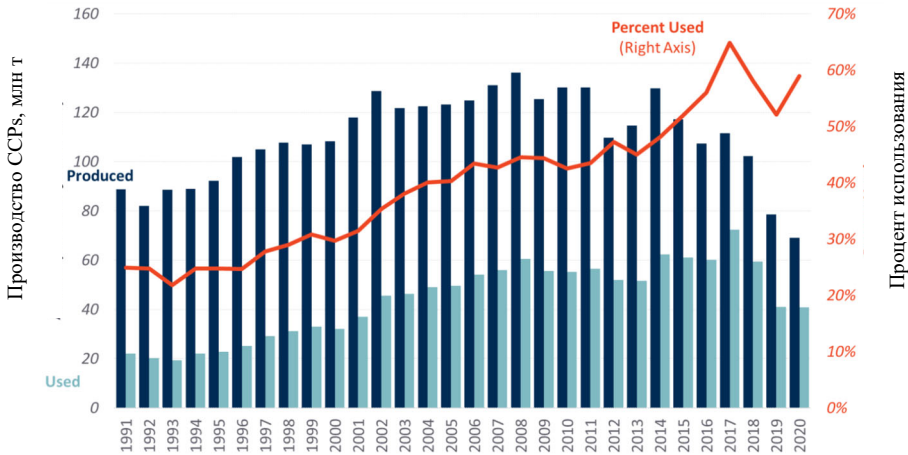
Полагают, что потенциал использования ССРs чрезвычайно широк, а экологические преимущества – значительны. Применение ССРs позволяет сохранять природные ресурсы, поскольку исключается потребность в добыче природных ресурсов. Благодаря использованию ССРs сохраняются значительные участки земли, которые при иных обстоятельствах использовались бы для захоронения отходов. Вместе с тем установлено, что замена одной тонны золы уноса на одну тонну портландцемента устраняет одну тонну CO<sub>2</sub>, которая в противном случае выделялась бы при производстве цемента.

Данные материалы повсеместно используются в строительстве дорог, производстве кирпича и бетона, производстве цемента в качестве добавок, улучшающих ряд характеристик материала.

Ниже приведена диаграмма (**рис. 10**), обобщающая данные США по производству и использованию всех отходов ССРs, начиная с 1991 г. по 2020 г.

---

<sup>17</sup> [http://www.wwcpcn.com/docs/Glossary\\_of\\_Terms\\_Concerning\\_the\\_Management\\_and\\_Use\\_of\\_CCPs\\_2003.pdf](http://www.wwcpcn.com/docs/Glossary_of_Terms_Concerning_the_Management_and_Use_of_CCPs_2003.pdf). (дата обращения: 02.03.2023).



**Рис. 10. Производство и использование всех побочных продуктов сгорания угля (CCPs)**

Однако утилизация золошлаковых отходов имеет ряд проблем технического и организационного характера. Прежде всего, различные виды твердых продуктов сжигания угля *неоднородны по своему химическому составу и размеру фракций*, а в сфере дорожного хозяйства и строительстве определены четкие требования к данным параметрам. Кроме того, из-за неоднородности происхождения ЗШО в их составе могут находиться нежелательные для различных производств компоненты. Так, например, использование ЗШО в изготовлении пористых заполнителей лимитируется содержанием серы, углерода, оксидов железа, кальция и магния. При производстве кирпича нормируется содержание оксида кальция, серы, алюминия.

Наряду с этим для большинства производств требуется сухой материал, а в золоотвалах он *всегда влажный*, что также усложняет выполнение технологического процесса.

ЗШО, получаемые при сжигании углей различного происхождения, имеют различный минералогический и химический составы, и поэтому в каждом случае возникает необходимость подбирать индивиду-

альный процесс их подготовки и обработки, а также наиболее рациональный способ применения. Подобные технологические процессы подразумевают проведение дополнительных трудоемких лабораторных, заводских испытаний путем сравнительного подбора оптимального состава конечного продукта [9].

Таким образом, для каждого вида золоотвала с ЗШО характерны свои особенности. Для выявления наиболее характерных особенностей ЗШО и актуального пути их утилизации необходимо комплексное исследование состава ЗШО и их свойств.

В зарубежной практике побочные продукты сжигания угля ССРs разделяют на виды, и каждый вид подлежит *обязательной сертификации* и документальному подтверждению качества в соответствии с установленными нормами, что позволяет рассматривать их как материалы.

Согласно зарубежному опыту, успешное увеличение количества переработки побочных продуктов сжигания угля ССРs является результатом государственной политики по регулированию обращения с ССРs. Например, в Китае законодательством запрещены добыча и использование природных минеральных ресурсов в строительстве при наличии в радиусе 80 км золошлакоотвала ТЭС. Политика зарубежных стран также заключается в увеличении стоимости земли под золоотвал, что становится невыгодным при складировании ССРs для производителей. Кроме того, зарубежные страны успешно внедряют инновационные технологии по переработке ССРs, за счет извлечения ценных ресурсов и их перепродажи. Для предпринимателей бизнес приносит значительный доход. Опыт зарубежных стран показывает, что данная тактика является успешной, а также способствует развитию экономики замкнутого цикла, по использованию вторичного сырья.





Ниже в **табл. 3** приведены малоизвестные факты о проектах с применением побочных продуктов сжигания угля (ССРs).

Таблица 3

*Малоизвестные факты о проектах с применением побочных продуктов сжигания угля*



**ОАЭ, Дубай.** Самое высокое здание в мире «Бурж Халифа» построено из специального разработанного бетона, в составе которого на  $385 \text{ кг/м}^3$  цемента используется  $65 \text{ кг/м}^3$  золы уноса.

	<b>Испания.</b> Башня Пикассо ( <b>Torre Picasso</b> ) в Мадриде, построена в 1988 г. (43 этажа, высота – 157 м). Было использовано 11 000 м <sup>3</sup> бетона, изготовленного на основе золы уноса.
	<b>США, Нью-Йорк.</b> Для строительства здания The Solaire было использовано около 7 700 м <sup>3</sup> бетона, содержащего 18 % золы уноса. Для фундамента использован бетон с содержанием 40 % золы уноса.
	<b>США.</b> Плотина Хангри Хорс ( <b>Dam Hungry</b> ) построена в 1948-52 гг. (штат Монтана). Уложено более 3 млн м <sup>3</sup> бетона с содержанием 20-35 % золы. Зола уноса вводилась в бетон как взамен части цемента, так и взамен части песка.
	<b>Дания.</b> Мост «Великий Пояс». Самый длинный мост в Европе (свободный пролет – 1,624 км). Высотные бетонные пилоны (254 м). Для строительства моста использован высокоэффективный бетон, содержащий портландцемент, золу уноса (47 кг/м <sup>3</sup> для опор).
	<b>Германия, Франкфурт.</b> Кастор и Поллуке ( <b>Форум</b> ). Бетонные здания высотой 130 м. Башни стоят на общей монолитной бетонной плите. Для плиты использовано 180 кг цемента и 120 кг золы уноса на м <sup>3</sup> . Верхний слой основания – из бетона, содержащего 280 кг портландцемента и 70 кг золы уноса на 1 м <sup>3</sup> . Для внутренних стен использовали особо прочный бетон В65, содержащий 400 кг цемента и 100 кг золы уноса на тонну. Для опор здания использован высокопрочный бетон В115, в количестве 470 кг цемента, 120 кг золы уноса.

## ВЫВОДЫ

1. В мировом производстве электроэнергии наряду с такими сырьевыми источниками генерации электроэнергии, как природный газ, ядерная энергетика, нефть, гидроэнергетика, биоэнергетика, *уголь* остается основным видом твердого топлива, а ключевое направление его применения – генерация электрической энергии на ТЭС.
2. В Российской Федерации ежегодно образуется порядка 18 млн т золошлаковых отходов от сжигания угля. Доля вовлечения золошлаков от годового объема их формирования по разным оценкам составляет 8-10 %, а остальная часть отходов сбрасывается в золошлаковые отвалы ТЭС. Для сравнения уровень утили-

зации золошлаков в развитых странах колеблется в широких пределах и достигает более 50 %.

3. Утилизация золошлаковых отходов производства становится уже не столько вопросом экономии материальных ресурсов, сколько проблемой безопасности населения страны и окружающей среды, что обуславливает необходимость перехода от традиционной линейной модели экономики на альтернативную концепцию экономики замкнутого цикла.
4. В соответствии с Энергетической стратегией Российской Федерации до 2035 года установлен целевой показатель утилизации золошлаков ТЭС: к 2035 году объем их полезного использования должен составлять не менее 50 % от годового уровня образования по отрасли в целом.
5. Золошлаковые отходы не являются готовым продуктом, а их переработка и доведение до уровня золошлаковых материалов – ответственность теплоэнергетической отрасли, не дорожного хозяйства.
6. В дорожном хозяйстве применение золошлаковых материалов допустимо при условии их выпуска стабильного качества и наличия сертификата соответствия требованиям технических регламентов, стандартов, сводов правил и международным договорам.
7. В отличие от отечественной в зарубежной практике золошлаки изначально не являются отходами, а отнесены к побочным продуктам сжигания угля (ССРs) и разделяются на золу уноса, продукты сероочистки дымовых газов (FGD), донную золу, котельный шлак, ценосферы. К каждому побочному продукту устанавливаются технические требования, подтверждающие соответствующий уровень их качественных характеристик. Продукты ССРs вовлечены в хозяйственный оборот для производства:
  - портландцемента, строительных растворов, бетона, бетонных изделий;
  - заполнителей для элементов строительных конструкций;
  - насыпей и нижних слоев основания дорожных конструкций;
  - укрепления и стабилизации грунтов;
  - добавок в асфальтобетон, том числе взамен минерального порошка;

- противоголедных материалов для борьбы с зимней скользкостью;
  - абразивного материала для пескоструйной обработки;
  - стеновых панелей из гипса (гипсокартона);
  - специальных гранул для кровли и др.
8. Анализ зарубежного и отечественного опыта показывает, что одной из наиболее перспективных сфер утилизации золошлаков может быть дорожное хозяйство. Следует отметить, что к материалам на основе золошлакового производства, как и к дорожно-строительным материалам в целом, должны предъявляться установленные стандартами требования. При этом решение об использовании конкретных технологий строительства наряду с выбором золошлаковых материалов принимается на стадии проектирования конкретных объектов строительства, реконструкции, капитального ремонта автомобильных дорог. Целесообразность и эффективность принятых решений следует оценивать путем технико-экономического сравнения вариантов для заданных условий производства работ, с учетом их соответствия действующим нормативным документам.
9. Наиболее приоритетными направлениями для обеспечения широкого внедрения золошлаков в сфере дорожного хозяйства Российской Федерации на первом этапе являются: формирование реестра вторичных материальных ресурсов; создание полноценной информационной базы о способах и технологиях переработки золошлаков, подготовка квалифицированных кадров, актуализация нормативно-технической документации.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года: указ Президента Российской Федерации от 19.04.2017 г. № 176 // КонсультантПлюс: сайт. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_215668/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_215668/) (дата обращения: 15.03.2023).*
2. *Промышленное производство в России. 2021: стат. сб. / Росстат. – М., 2021. – 305 с.*
3. *Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году / Министерство*



- природных ресурсов и экологии Российской Федерации. – М., 2021. – 263 с.
4. Дмитриев И.И. Золошлаковые отходы в составе бетона / И.И. Дмитриев, А.М. Кириллов // *СтройМного*. – 2017. – № 3 (8). – С. 1.
  5. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 года № 1523-р // *КонсультантПлюс: сайт*. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_354840/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_354840/) (дата обращения: 15.03.2023).
  6. Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов: приказ Росприроднадзора от 22.05. 2017 г. № 242 // *Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: сайт*. URL: <https://docs.cntd.ru/document/542600531> (дата обращения: 15.03.2023).
  7. *New Materials in Civil Engineering*. – 2020. – PP. 691-716.
  8. *World-Wide CCP Network (WWCCPN): Glossary of terms*, <http://www.wwccpn.com/glossary.html>.
  9. Самусева М. Н., Шишелова Т.И. Золошлаковые материалы – альтернатива природным материалам // *Фундаментальные исследования*. – 2009 – № 2. – С. 75-76.

## L I T E R A T U R A

1. *Strategii ekologicheskoy bezopasnosti Rossijskoj Federacii na period do 2025 goda: ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 19.04.2017 g. № 176 // Konsul'tantPlyus: sajt*. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_215668/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_215668/) (data obrashcheniya:15.03.2023).
2. *Promyshlennoe proizvodstvo v Rossii. 2021: stat. sb. /Rosstat*. – М., 2021. – 305 с.
3. *Gosudarstvennyj doklad «O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy Rossijskoj Federacii v 2020 godu / Ministerstvo prirodnyh resursov i ekologii Rossijskoj Federacii*. – М., 2021. – 263 с.
4. *Dmitriev I.I. Zoloshlakovyve othody v sostave betona / I.I. Dmitriev, A.M. Kirillov // StrojMnogo*. – 2017. – № 3 (8). – S. 1.
5. *Energeticheskaya strategiya Rossijskoj Federacii na period do 2035 goda, utverzhennaya rasporyazheniem Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 9 iyunya 2020 goda № 1523-r // Konsul'tantPlyus: sajt*.

---

URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_354840/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_354840/)  
(data obrashcheniya: 15.03.2023).

6. *Ob utverzhdenii Federal'nogo klassifikatsionnogo kataloga othodov: prikaz Rosprirodnadzora ot 22.05. 2017 g. № 242 // Elektronnyj fond pravovyh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov: sajt. URL: <https://docs.cntd.ru/document/542600531> (data obrashcheniya: 15.03.2023).*
7. *New Materials in Civil Engineering. – 2020. – RR. 691-716.*
8. *World-Wide CCP Network (WWCCPN): Glossary of terms, <http://www.wwccpn.com/glossary.html>.*
9. *Samuseva M.N., Shishelova T.I. Zoloshlakovye materialy – al'ternativa prirodnym materialam // Fundamental'nye issledovaniya. – 2009. – № 2. – S. 75-76.*

---

**APPROACH TO ASH AND SLAG APPLICATION  
IN ROAD ECONOMY**

*Ph. D. (Tech.) S.V. Polyakova,  
Engineer I.V. Chantsev  
(FAI «ROSDORNIY»)*

*Contact information: polyakovasv@rosdornii.ru*

*Considerable experience has been accumulated to show that recycled materials and industrial by-products can be effectively used in road economy. The article provides information on the amount of ash and slag wastes (ASW) from coal combustion, the volume of their utilization, classification by hazard class, the basic concepts used in the field of waste management, secondary material resources and raw materials on their basis regulated by federal laws. General information on volumes of ash and slag by-products generated abroad and their practical and effective use is given.*

**Key words:** *ash and slag wastes from coal-fired thermal power plants (CHPPs), utilization, ash and slag materials, ash and slag disposal sites of CHPPs, wastes handling area, road economy.*

---

Рецензент: канд. техн. наук А.В. Бобков (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию: 30.01.2023 г.