

ЭКОЛОГИЯ

промышленного
производства

Индекс 80090



ЭКОЛОГИЯ

промышленного
производства



МЕЖОТРАСЛЕВОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

Выпуск 1
Москва 2020



Все новейшие достижения и современные разработки предприятий оборонного комплекса — в научно-технических журналах ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»

ФГУП «Научно-технический центр оборонного комплекса «Компас» является издателем следующих научных журналов:



Межотраслевой научно-технический журнал

Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России
(4 выпуска)

Подписной индекс **79379**

Издается с 1984 года



Межотраслевой научно-технический журнал

Конструкции из композиционных материалов
(4 выпуска)

Подписной индекс **80089**

Издается с 1981 года



Научно-технический журнал

Информационные технологии в проектировании и производстве
(4 выпуска)

Подписной индекс **79378**

Издается с 1976 года



Межотраслевой научно-практический журнал

Экология промышленного производства
(4 выпуска)

Подписной индекс **80090**

Издается с 1993 года



Научно-практический журнал

Вопросы защиты информации
(4 выпуска)

Подписной индекс **79187**

Издается с 1974 года

Все издания ФГУП "Научно-технический центр оборонного комплекса «Компас»:

✓ включены решением ВАК Министерства образования и науки России в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук;

✓ метаданные выпусков включены в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

Более подробную информацию об изданиях, подписке, дополнительных услугах можно получить по тел.: 8 (495) 491-43-17, 8 (495) 491-77-67, 8 (495) 491-77-20 (подписка);
факс: 8 (495) 491-44-80.
E-mail: secretariat@ntkompas.ru

ЭКОЛОГИЯ

промышленного

производства

МЕЖОТРАСЛЕВОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

Выпуск 1 (109)

Издается с 1993 г.

Москва 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ, УТИЛИЗАЦИЯ И ПЕРЕРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

- Шевцов С. А., Каргашилов Д. В., Животягин И. А.* Экологически чистая, пожаробезопасная и энергоэффективная технология переработки битумсодержащих отходов 2
- Шубов Л. Я., Скобелев К. Д., Доронкина И. Г., Дубровин К. Э.* О применении золошлаковых отходов ТЭС в дорожном строительстве 6
- Абдрахимов В. З.* Рециклинг отходов топливно-энергетического комплекса в производстве легковесного кирпича на основе глинистых материалов различного минерального состава 10
- Виткалова И. А., Уварова А. С., Пикалов Е. С., Селиванов О. Г.* Утилизация полимерных отходов в производстве облицовочной керамики, получаемой с использованием стеклобоя 17
- Чистяков К. Ю.* Новые способы экологической кооперации промышленных объектов в регионах на примере технических возможностей цементных заводов 21

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

- Янников И. М., Телегина М. В., Кузнецов Н. П.* Методика оценки экологической ситуации загрязнённых территорий 28

ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

- Тетельмин В. В.* Причины аварии на Саяно-Шушенской ГЭС в августе 2009 г., не названные в акте технического расследования 33

ВНЕДРЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

- Борисова О. Н.* Ресурсосбережение в строительстве — стимул экологического прогресса 39
- Герасимова Т. Н., Погожев П. И., Садчиков А. П.* Влияние зоопланктона на развитие водорослей и цианобактерий в экспериментальной экосистеме 43

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

- Харионовский А. А., Данилова М. Ю.* Об экологическом рейтинге угольных компаний (Обзор) 49

Главный редактор А. Г. Ишков,
д-р хим. наук, проф., акад. РАЕН,
заместитель начальника Департамента —
начальник Управления ПАО «Газпром»

Заместители главного редактора:
В. Ф. Гракович, д-р техн. наук, проф., акад. РАЕН,
председатель правления Национального Фонда содействия устойчивому развитию регионов; **Н. П. Кузнецов,**
д-р техн. наук, проф., Ижевский государственный
технический университет им. М. Т. Калашникова

Ответственный секретарь К. В. Трыкина,
начальник отдела научных и информационных
изданий ФГУП «НТЦ оборонного комплекса
«Компас»

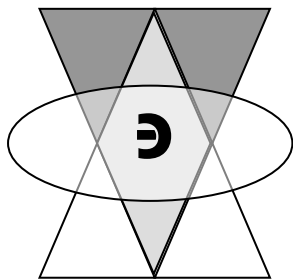
Редакционный совет:

А. М. Амирханов, канд. биол. наук, зам. руководителя
Федеральной службы по надзору в сфере природопользования; **Э. В. Гирусов,** д-р филос. наук, проф.,
акад. Российской экологической академии, Московская
государственная академия делового администрирования; **Н. П. Тарасова,** чл.-кор. РАН, д-р хим. наук, проф.,
директор Института проблем устойчивого развития

Редакционная коллегия:

С. С. Бабкина, д-р хим. наук, проф., Институт тонких
химических технологий Московского технологического
университета; **Я. И. Вайсман,** д-р мед. наук, проф.,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет; **В. А. Грачев,** чл.-кор. РАН,
д-р техн. наук, проф., президент, генеральный директор
Неправительственного экологического фонда
им. В. И. Вернадского; **М. Н. Дадашев,** д-р техн. наук,
проф., РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина; **В. Г. Исаков,**
д-р техн. наук, проф., акад. Академии военных наук
РФ, Ижевский государственный технический университет
им. М. Т. Калашникова; **М. А. Корепанов,** д-р техн.
наук, Институт прикладной механики Уральского
отделения РАН; **Б. С. Ксенофонтов,** д-р техн. наук, проф.,
МГТУ им. Н. Э. Баумана; **В. Ю. Мелешко,** д-р техн. наук,
проф., Институт химической физики им. Н. Н. Семенова
РАН; **В. В. Минасян,** канд. техн. наук, генеральный директор
ООО «Фрэком»; **Е. А. Найман,** канд. техн. наук,
Краковский технический университет им. Тадеуша
Костюшко (Польша); **А. Ю. Недре,** канд. техн. наук, зам.
директора ФГАУ «НИИ "Центр экологической промышленной
политики"; **Е. И. Пупырев,** д-р техн. наук, проф.,
генеральный директор ОАО «МосводоканалНИИпроект»;
И. Ш. Сайфуллин, д-р хим. наук, проф., зам.
директора Научно-исследовательского института
инновационного развития промышленности Российского
экономического университета им. Г. В. Плеханова;
В. А. Тенев, д-р физ.-мат. наук, проф., Ижевский
государственный технический университет им. М. Т. Калашникова;
Ю. В. Трофименко, д-р техн. наук, проф.,
директор Научно-исследовательского института
энергоэкологических проблем автотранспортного комплекса
при МАДИ

© Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр оборонного комплекса «Компас» (ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»), 2020



Обезвреживание, утилизация и переработка промышленных отходов

УДК 665.775.4

Экологически чистая, пожаробезопасная и энергоэффективная технология переработки битумсодержащих отходов

С. А. ШЕВЦОВ, д-р техн. наук

Воронежский институт повышения квалификации сотрудников ГПС МЧС России,
г. Воронеж, Россия

Д. В. КАРГАШИЛОВ, канд. техн. наук

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

И. А. ЖИВОТЯГИН

Воронежский государственный педагогический университет, г. Воронеж, Россия

Предложена технология переработки битумсодержащих отходов, которая предусматривает их измельчение с последующим плавлением, отделение каменной крошки с отводом и упаковкой, смешивание чистого битума с модификатором, фасовку готового битума в тару, приготовление модификатора, дробление битумизированного картона и его брикетирование. Необходимые температурные режимы достигаются за счет использования парокомпрессионного теплового насоса. Технология позволяет повысить энергетическую эффективность, снизить пожарную опасность, исключить выбросы вредных веществ в атмосферу.

Ключевые слова: битумсодержащие отходы, технологии переработки, битум, выброс вредных веществ, пожарная безопасность, энергоэффективность, тепловой насос.

Способ покрытия кровли рулонным битумсодержащим материалом используют более 70 лет. Особенно этот вид покрытия был популярен в советское время. Мягкие кровли недолговечны, и обычно в среднем через три-четыре года их ремонтировали следующим способом: обильно поливали битумом и укладывали новые слои рулонного материала. В результате за десятки лет накопилось столько слоев рулонного материала, что на каждый квадратный метр приходится до 60—80 кг битума. Объем накопленных отходов, содержащих битумные компоненты,

составляет десятки тысяч тонн и постоянно растет [1].

Для улучшения состояния экологической безопасности страны Правительством РФ создаются различные программы, одной из которых является так называемая "мусорная" реформа, запущенная в 2019 г. [2].

Принятые стратегии развития страны в условиях экологической безопасности ставят перед властями регионов проблемы переработки и управления отходами, в том числе вопрос переработки и утилизации старых битумсодержащих отходов, на новый уровень.

Необходимым условием реализации переработки кровельных битумсодержащих отходов является поддержание высокой температуры плавления битума. Пары легких углеводородов, испарившиеся из битума в процессе плавки, либо напрямую выбрасывают в атмосферу, либо сжигают и отводят в атмосферу, что неминуемо отражается на экологической обстановке. Концентрация большого количества битумсодержащих отходов, подвергаемых нагреву, относит подобные предприятия к производствам повышенной пожарной опасности.

Шевцов Сергей Александрович, профессор кафедры специальной подготовки.

E-mail: shevtsov_sa@bk.ru

Каргашилов Дмитрий Валентинович, доцент кафедры "Техносферная и пожарная безопасность".

E-mail: kargashil@mail.ru

Животягин Илья Андреевич, студент 2-го курса факультета "Физическая культура и безопасность жизнедеятельности".

E-mail: ilazivotagin93759@gmail.com

Статья поступила в редакцию 14 января 2020 г.

© Шевцов С. А., Каргашилов Д. В., Животягин И. А., 2020

Для решения экологической задачи и задачи обеспечения пожарной безопасности предложен концептуальный подход к организации процесса переработки битумсодержащих отходов, который базируется на внедрении теплового насоса как основного оборудования для создания и поддержания рабочих температур для реализации технологического процесса.

Основными преимуществами применения теплового насоса являются его энергоэффективность, безопасность и высокий коэффициент преобразования низкпотенциальной тепловой энергии: на 1 кВт затраченной электроэнергии выделяется в среднем 3—5 кВт тепла [3].

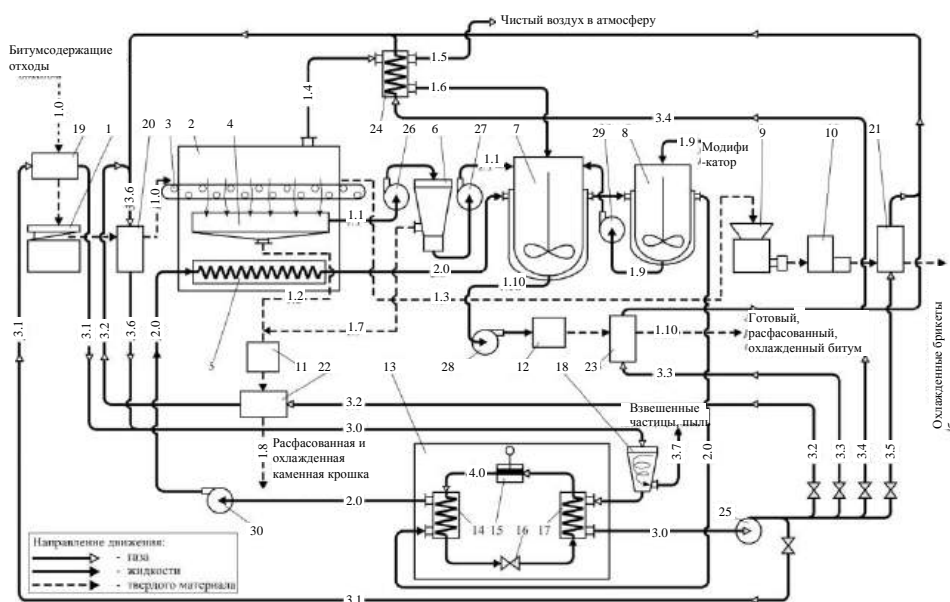
В связи с изложенным сформулирована цель работы: разработать технологию переработки битумсодержащих отходов, которая обеспечит исключение выброса вредных веществ в атмосферу и снижение пожарной опасности процесса в условиях энергосбережения за счет наиболее рациональной схемы подключения теплового насоса.

Реализация цели стала возможной благодаря новой экологически чистой, пожаробезопасной и энергоэффективной технологии переработки битумсодержащих отходов, предусматривающей их измельчение и подачу на плавку в плавильную камеру, отделение крупной и мелкой каменной крошки с их отводом и упаковкой, смешивание чистого битума с модификатором в смесительной емкости для битума, фасовку готового битума в тару, приготовление модификатора в смесительной емкости для модификатора, дробление битумизированного картона в дробилке и его брикетирование (рисунок) [4].

Исходные битумсодержащие отходы по линии 1.0 через камеру охлаждения 19 подают на стол нарезки 1. Камера охлаждения 19 служит для охлаждения битумсодержащих отходов до температуры 10—12 °С,

при которой битум остается твердым и сохраняет свои хрупкие свойства. Это позволяет избежать остановки процесса из-за налипания битума к режущим поверхностям, значительно увеличить интервал времени их работы без дополнительной заточки и повысить качество резки. На столе нарезки 1 битумсодержащие отходы измельчают на пластины необходимого размера, который зависит от первоначального состава исходного сырья. Измельченные битумсодержащие отходы подают на предварительный подогрев в камеру нагрева 20, где их нагревают до температуры 60—70 °С, что позволяет сократить удельные энергозатраты на реализацию их последующей плавки. Измельченные и подогретые битумсодержащие отходы укладывают на конвейер 3 и по линии 1.0 подают в плавильную камеру 2, где подвергают тепловому воздействию горячим воздухом при температуре 160—170 °С в течение 30—80 мин в зависимости от скорости движения транспортера 3 и размера пластин битумсодержащих отходов. При этом битум плавится и стекает в низ плавильной камеры 2 в емкость для сбора жидкого битума 4. Крупная каменная крошка, содержащаяся в жидком битуме, под действием силы тяжести оседает на дно емкости для сбора жидкого битума 4. Битум из емкости для сбора жидкого битума 4 с помощью насоса 26 подают в сепаратор каменной крошки 6, где битум окончательно очищается от мелкой каменной крошки. Чистый битум с помощью насоса 27 подают в смесительную емкость для битума 7, где он перемешивается с модификатором при температуре 140—150 °С.

Модификатор поступает по линии 1.9 в смесительную емкость для модификатора 7, где готовится при температуре 130—140 °С, что позволяет применять различные его рецептуры для получения



Технологическая схема переработки битумсодержащих отходов:

- 1 — стол нарезки битумсодержащих отходов; 2 — плавильная камера;
- 3 — конвейер для битумсодержащих отходов; 4 — емкость для сбора жидкого битума; 5 — высокотемпературный теплообменник;
- 6 — сепаратор каменной крошки; 7 — смесительная емкость для битума; 8 — смесительная емкость для модификатора;
- 9 — дробилка битумизированного картона; 10 — брикетер для измельченного битумизированного картона;
- 11 — фасовщик каменной крошки; 12 — фасовщик готового битума;
- 13 — пароконденсационный тепловой насос; 14 — конденсатор; 15 — компрессор; 16 — терморегулирующий вентиль; 17 — испаритель;
- 18 — циклон; 19 — камера охлаждения; 20 — камера нагрева; 21 — брикетер; 22 — охладитель каменной крошки; 23 — битумоохладитель; 24 — теплообменник;
- 25 — вентилятор воздуха; 26—28 — битумные насосы; 29 — насос модификатора; 30 — термонасос термостойкого теплоносителя;

линии подачи и отвода материальных и тепловых потоков: 1.0 — битумсодержащих отходов; 1.1 — битума; 1.2 — крупной каменной крошки; 1.3 — битумизированного картона; 1.4 — паровоздушной смеси; 1.5 — чистого воздуха; 1.6 — конденсата битума; 1.7 — мелкой каменной крошки; 1.8 — каменной крошки; 1.9 — модификатора; 1.10 — готового битума; 2.0 — циркуляции термостойкого теплоносителя; 3.0 — циркуляции воздуха; 3.1 — подачи воздуха на охлаждение битумсодержащих отходов; 3.2 — подачи воздуха на охлаждение упаковочной каменной крошки; 3.3 — подачи воздуха на охлаждение расфасованного готового битума; 3.4 — подачи воздуха на конденсацию паров битума; 3.5 — подачи воздуха на охлаждение брикетов битумизированного картона; 3.6 — теплого воздуха; 3.7 — взвешенных частиц, пыли; 4.0 — циркуляции хладагента

рентабельной продукции на основе битума. Готовый модификатор с помощью насоса 29 подают в смесительную емкость для битума 7 для перемешивания с битумом.

Готовый битум по линии 1.10 с помощью насоса 28 отводят из смесительной емкости для битума 7 в фасовщик готового битума 12, где в виде готовой продукции разливают в тару (мешки, контейнеры, металлические ведра, бочки и т. д.). Затем готовую продукцию подают в битумоохладитель 23 для охлаждения до температуры 20—30 °С, что позволяет сразу осуществить ее отгрузку или направить на складское хранение по линии 1.10, снижая пожарную опасность. Благодаря этому значительно сокращается потребность в площадях для охлаждения битума и обеспечивается возможность оптимизации систем логистики и сбыта на предприятии.

После плавки битума на конвейере для битумосодержащих отходов 3 остается битумизированный картон, который по линии 1.3 отводится из плавильной камеры 2 в дробилку битумизированного картона 9, где картон размельчается. Размельченный картон направляют в брикетер для измельченного битумизированного картона 10, где получают брикеты битумизированного картона. Брикеты охлаждают в брикетохладителе 21 до температуры 20—30 °С и отправляют на хранение с последующей отгрузкой в виде готовой продукции, которая может быть использована, например, как топливо для сжигания в печах и котлах.

Крупная каменная крошка, осевшая на дне емкости для сбора жидкого битума 4 плавильной камеры 2, и мелкая каменная крошка, отделенная от жидкого битума в сепараторе каменной крошки 6, направляется по линиям 1.2 и 1.7, соответственно, в фасовщик каменной крошки 11, где происходит упаковка. Упакованную каменную крошку охлаждают в охладителе каменной крошки 22 до температуры 20—30 °С и по линии 1.8 отводят на хранение с последующей отгрузкой для реализации в другом производстве, например в дорожном строительстве.

В процессе плавления битумосодержащих отходов в плавильной камере 2 образуются пары легких ароматических углеводородов, которые при контакте с источником зажигания могут воспламениться. Для снижения пожарной опасности в рабочей зоне плавильной камеры 2 паровоздушную смесь по линии 1.4 отводят в теплообменник-конденсатор 24, где происходит конденсация легких ароматических углеводородов при температуре 110—120 °С. При этом образовавшийся конденсат битума по линии 1.6 отводится из теплообменника-конденсатора 24 в смесительную емкость для битума 7, тем самым повышая дуктильность готового битума, а очищенный от легких ароматических углеводородов воздух по линии 1.5 отводится из теплообменника-конденсатора 24 в атмосферу.

Подготовку энергоносителей для реализации рациональных температурных режимных параметров технологии переработки битумосодержащих отходов осуществляют с помощью парокompрессионного теплового насоса, работающего по замкнутому термодинамическому циклу 4.0, в котором в качестве рабочего тела (хладагента) используют Хладон 21 CHFC_{12} с температурой кипения 8,7 °С и критической темпера-

турой 178,5 °С, который является негорючим, взрывобезопасным, малотоксичным газом с минимальным озоноразрушающим потенциалом.

За счет компрессионного сжатия в компрессоре 15 хладагент доводится до температуры конденсации 168—178 °С, конденсируется в конденсаторе 14 и посредством рекуперативного теплообмена нагревается термостойкий теплоноситель до температуры 165—175 °С. После дросселирования в терморегулирующем вентиле 16 он доводится до давления испарения, при котором кипит в испарителе 17 при температуре 8—10 °С. Пары хладагента поступают в компрессор 18, и термодинамический цикл повторяется.

Нагретый в конденсаторе 14 термостойкий теплоноситель с помощью термонасоса термостойкого теплоносителя 30 по линии циркуляции 2.0 направляют в высокотемпературный калорифер-теплообменник 5 плавильной камеры 2. В качестве термостойкого теплоносителя предложено использовать, например, высокотемпературный органический синтетический теплоноситель Термолан N с интервалом рабочих температур 50—330 °С. Горячий термостойкий теплоноситель через высокотемпературный калорифер-теплообменник 5 разогревает воздух плавильной камеры 2 до температуры 120—170 °С. Горячий воздух замкнуто циркулирует в плавильной камере 2 и разогревает пластины битумосодержащих отходов, медленно движущихся по конвейеру 3 внутри плавильной камеры 2. После калорифера-теплообменника 5 высокотемпературный термостойкий теплоноситель направляют в нагревательную рубашку смесительной емкости для битума, где он, отдавая часть тепла, поддерживает температуру смешения 140—150 °С. Далее термостойкий теплоноситель направляют в нагревательную рубашку смесительной емкости для модификатора для поддержания температуры приготвления 130—140 °С. Остывший термостойкий теплоноситель возвращают по линии циркуляции 2.0 в конденсатор 14 парокompрессионного насоса 13, где он нагревается, и цикл повторяется.

Хладагент, кипящий в испарителе 17 парокompрессионного теплового насоса 13, посредством рекуперативного теплообмена охлаждает воздух до температуры 9—10 °С. Охлажденный воздух с помощью вентилятора воздуха 25 нагнетается по линии циркуляции 3.0 и, разделяясь по пяти потокам, подается по линиям:

- 3.1 — в камеру 19 для охлаждения исходных битумосодержащих отходов до температуры 10—12 °С, направляемых на измельчение на стол нарезки 1;
- 3.2 — в охладитель каменной крошки 22 для охлаждения расфасованной каменной крошки до температуры 20—30 °С;
- 3.3 — в битумоохладитель 23 для охлаждения готового расфасованного битума до температуры 20—30 °С;
- 3.4 — в теплообменник-конденсатор 24 для конденсации легких ароматических паров углеводородов из паровоздушной смеси, отводимой из плавильной камеры 2, при температуре 110—120 °С;
- 3.5 — в брикетохладитель 21 для охлаждения брикетов битумизированного картона до температуры 20—30 °С.

Потоки теплого воздуха по линиям 3.2, 3.3, 3.4 и 3.5 объединяются в общий поток 3.6 теплого воздуха с температурой 80—90 °С, который направляется в камеру нагрева 20 для предварительного нагрева измельченных битумсодержащих отходов до температуры 60—70 °С. Затем отработанный воздух из камеры нагрева 20 снова объединяется с потоком воздуха 3.1, отводимого из камеры охлаждения 19, в линию 3.0 для подачи в циклон 18, где воздух очищается от взвешенных частиц и пыли, что позволяет повысить экологичность производства и эффективность процессов теплопередачи с участием воздуха. Взвешенные частицы и пыль отводят из циклона 18 по линии 3.7 на утилизацию, а чистый воздух — на охлаждение в испаритель 17 парокомпрессионного теплового насоса 13. Линия 3.0 замыкается, и цикл повторяется.

Таким образом, предлагаемая технология переработки битумсодержащих отходов создает условия для реализации энергетически эффективной технологии в непрерывном режиме эксплуатации основного и вспомогательного оборудования, а используемые технологические приемы позволяют:

- реализовать предлагаемую технологию как энергосберегающую и экологически безопасную; обеспечить подготовку теплоносителей разного температурного потенциала с применением парокомпрессионного теплового насоса для осуществления всех технологических операций; повысить надежность эксплуатации поточной линии переработки битумсодержащих отходов за счет их предварительного охлаждения перед измельчением; повысить выход готовой продукции с максимальным разделением на фракции за счет предварительного нагрева измельченных битумсодержащих отходов перед плавильной камерой; получить готовую продукцию стабильно высокого качества, в том числе за счет возврата легких ароматических углеводородов, испарившихся при

плавке, в жидкий битум, повышая дуктильность готовой продукции (технологическая задача);

- максимально снизить выброс отработанных теплоносителей и вторичных ресурсов в окружающую среду за счет использования рециркуляционных схем с отделением загрязняющих веществ, применяя возобновляемые источники энергии (экологическая задача);

- исключить образование взрывоопасных концентраций паров углеводородов с воздухом и наличие открытого огня в помещении, в котором обращаются вещества повышенной пожарной опасности при высоких температурах (задача обеспечения пожарной безопасности);

- использовать рекуперацию теплоты конденсации хладагента в конденсаторе парокомпрессионного теплового насоса для нагрева термостойкого теплоносителя, тепло которого используют для осуществления сразу трех процессов: плавления битумсодержащих отходов, смешения битума и приготовления модификатора; использовать рекуперацию холода кипения хладагента в испарителе парокомпрессионного теплового насоса для подготовки воздуха, направляемого на вспомогательные операции (задача энергосбережения).

ЛИТЕРАТУРА

1. Асадуллина З. У., Исмагилов С. А., Яковлев В. В. Технико-экономические и экологические преимущества природоохранной технологии // Башкирский химический журнал. 2012. № 2. С. 74—77.
2. О внесении изменений в федеральный закон "Об отходах производства и потребления" и отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон от 31.12.2017 № 503-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы "Консультант Плюс".
3. Shevtsov S. A., Kargashilov D. V., Shutkin A. N. Fire and explosion safe technology of storage and regasification of liquefied petroleum gas // Chemical and Petroleum Engineering. 2018. V. 54. Iss. 1-2. P. 38—40.
4. Шевцов С. А., Каргашилов Д. В., Зенин А. Ю., Сахаров К. О. Способ переработки битумсодержащих отходов. Патент 2700499 Российской Федерации. МПК В09В 3/00. № 2018138714. Заявл. 01.11.2018. Оpubл. 17.09.2019. Бюл. № 26.

Environmentally friendly, fire-safe and energy-efficient technology for processing bitumen-containing waste

S. A. SHEVTSOV

Voronezh institute of Advanced Training of Employees of the EMERCOM of Russia, Voronezh, Russia

D. V. KARGASHILOV

Voronezh State University, Voronezh, Russia

I. A. ZHIVOTYAGIN

Voronezh State Pedagogical University, Voronezh, Russia

Technology of processing bitumen-containing wastes is proposed, which provides for their grinding with subsequent melting; separation of stone crumb with discharge and packing; mixing pure bitumen with a modifier; packing the finished bitumen into containers; preparation of the modifier; fragmentation of bitumized cardboard and its briquetting. The necessary temperature conditions are achieved by using a steam-compression heat pump. The technology makes it possible to increase energy efficiency, reduce fire hazard, eliminate emissions of harmful substances into the atmosphere.

Keywords: bitumen-containing waste, processing technologies, bitumen, release of harmful substances, fire safety, energy efficiency, heat pump.

Bibliography — 4 references.

Received January 15, 2020

УДК 504.064.4

О применении золошлаковых отходов ТЭС в дорожном строительстве

Л. Я. ШУБОВ, д-р техн. наук; К. Д. СКОБЕЛЕВ; И. Г. ДОРОНКИНА, канд. техн. наук;
К. Э. ДУБРОВИН

ФГАУ "НИИ "Центр экологической промышленной политики",
г. Мытищи, Московская обл., Россия

Рассмотрены перспективы широкомасштабного использования золошлаковых отходов (ЗШО) теплоэнергетики. Одним из направлений является их применение в строительстве автомобильных дорог. Сделаны предложения по созданию нормативно-правовых основ для широкого вовлечения в оборот данного вида отходов в качестве вторичных материальных ресурсов. Представлены качественные характеристики ЗШО, примеры использования золошлаковых отходов в России и в некоторых зарубежных странах. Описаны запатентованные технологические решения, расширяющие возможности применения ЗШО в области дорожного строительства.

Ключевые слова: золошлаковые отходы, отходы теплоэнергетики, зола от сжигания углей, шлак от сжигания углей, дорожное строительство, технологии утилизации золошлаковых отходов ТЭС.

Золошлаковые отходы — многотоннажные отходы теплоэнергетики. Представляя собой ценное вторсырье, они находят все большее применение в мировой практике. Тем не менее значительная часть ЗШО находится в золоотвалах, загрязняя воздушную среду (превышение ПДК воздуха зафиксировано в радиусе 4 км от кромки отвала), водные бассейны и почву (загрязнение золой почвы ведет к изменению ее кислотности, увеличивает содержание Ca, Fe, Mg) [1].

Золошлаковые отходы являются перспективным источником многих металлов, но их извлечение проблему ЗШО само по себе не решает вследствие малого выхода ценных компонентов [2]. Решение проблемы должно быть комплексным. Широкомасштабное применение ЗШО связано только с вовлечением их в производство строительных материалов и в дорожное строительство (зола может быть использована в основании дорожных одежд и покрытий тротуаров) [3].

Использование зол в дорожном строительстве связано с сооружением земляного полотна, устройством укрепленных оснований, возведением насыпей, устройством дорожных одежд. Дороги на основе золошлаковых отходов оказывают положительное

влияние на содержание углекислого газа в воздухе за счет карбоксилизации щелочных составляющих цемента (метод снижения содержания углекислого газа в воздухе, исследования в Англии).

В дорожном строительстве перспективно применение аглопорита — искусственного пористого заполнителя из ЗШО ТЭС (смесь ЗШО и глины). Аглопорит — хороший заполнитель в конструкционных высокопрочных легких бетонах. Его можно закатывать в состав слоя основания в дорожном строительстве, в цементобетон, в состав асфальтобетонной смеси для верхнего слоя дорожной одежды, использовать в качестве минеральной составляющей в битумо-минеральной смеси. В результате увеличиваются срок службы дорог и их морозостойкость. В сыром виде зола для отсыпки дорог не подходит (пыление). В дорожном строительстве в соответствии с мировым опытом цементобетонные покрытия по долговечности превосходят покрытия из асфальтобетонов.

Предлагается на электростанциях РФ применять сухой способ золошлакоудаления и использовать золы и шлаки в качестве вторичных материальных ресурсов (ВМР), присвоить золошлаковым отходам статус ВМР и осуществить паспортизацию ЗШО как ВМР (присвоить качественные характеристики), а также разработать нормативные документы для применения ЗШО в дорожном строительстве. Кроме того, предлагается ввести ограничения на добычу природного строительного сырья на региональном уровне управления (при наличии в регионе соответствующих ВМР, в том числе ЗШО) и снизить ж/д тарифы на перевозку золошлаковых материалов [4].

Возможна оптимизация состава ЗШО перед использованием в соответствии с требованиями действующей нормативной и технической документации (таблица).

Шубов Лазарь Яковлевич, профессор, старший научный сотрудник.

E-mail: info@eipc.center

Скобелев Кирилл Дмитриевич, начальник отдела.

E-mail: info@eipc.center

Доронкина Ирина Геннадиевна, доцент, научный сотрудник.

E-mail: doronkinaig@mail.ru

Дубровин Константин Эдуардович, инженер.

E-mail: k.dubrovin@eipc.center

Статья поступила в редакцию 22 июля 2019 г.

© Шубов Л. Я., Скобелев К. Д., Доронкина И. Г., Дубровин К. Э., 2020

Использование ЗШО для производства бетонов, силикатных изделий, строительных растворов, асфальтобетонных смесей

Вид сырья, направление использования	Нормативный документ	Основные показатели качества получаемой продукции
Зола-унос, золошлаковые смеси ТЭС Минеральный порошок в асфальтобетонные смеси	ГОСТ 9128-84	Лимитируются зерновой состав, пористость, коэффициент водостойкости смеси порошка с битумом, показатель битумности, содержание водорастворимых соединений, свободной CaO, влажность
Золошлаковые отходы ТЭС Строительство автодорог, оснований аэродромов, укрепление обочин	ГОСТ 8267-93, ГОСТ 25607-94	Щебень регламентируется по зерновому составу, прочности, морозостойкости, содержанию зерен пластинчатой и игольчатой формы, содержанию пылевидных и глинистых частиц, глины в комках и содержанию дробленых зерен в щебне из гравия, устойчивости структуры к распаду

Установлено, что зола углей, отличающихся высоким содержанием карбоната кальция (например, бурые угли болгарских месторождений Pernik и Bobovdol, сжигаемые на близлежащих ТЭЦ), обладает значительными вяжущими свойствами и может быть использована в качестве присадки к цементу в производстве бетона для дорожных покрытий и строительных целей. Присадка летучей золы снижает затраты и улучшает технологические свойства бетона [5].

На примере ЗШО Приднестровской ГРЭС показано, что ЗШО весьма эффективны при использовании для укрепления суглинистых грунтов в дорожном строительстве (испытаны зола гидрозолаудаления и отвалный шлак, размолотые в шаровой мельнице до крупности частиц с удельной поверхностью 1000 см²/г). Установлено, что 3%-я добавка цемента в смеси грунта с 30 % шлака или золы повышает водо- и морозостойкие качества грунта и увеличивает прочность образцов (во все сроки твердения) [6].

Золошлаковые отходы тепловых электростанций начинают достаточно широко применять в РФ в дорожном строительстве для укрепления грунтов, что существенно экономит цемент – основное вяжущее средство. Эффективность использования золы во многом определяется ее дисперсностью. Увеличение удельной поверхности в два раза (с 1500 до 3000 см²/г) повышает прочность укрепленного грунта в 4—5 раз [7].

Установлено, что золу-уноса и золошлаковые смеси Экибастузского и Кузнецкого углей можно использовать в строительстве дорог (в частности, ЗШО Черепетской ГРЭС соответствуют требованиям ГОСТов, регламентирующих их вторичное использование в производстве строительных материалов и в дорожном строительстве в качестве активной гидравлической добавки для устройства укрепленных дорожных оснований и покрытий) [8].

ЗШО, образовавшиеся на ТЭЦ-22 Мосэнерго (сжигание Кузнецкого угля с зольностью 18—20 %), нашли применение при сооружении земляного полотна автомобильных дорог, а также в производстве бетонов, цемента и кирпича [9].

В 2007 г. на ТЭС Германии образовалось ~4,2 млн т золы каменного угля. Зола сертифицирована как строительный материал по DIN EN450 и используется для получения бетона и строительного раствора, для получения цемента, в горных и отделочных работах, при изготовлении кирпича и в дорожном строительстве [10].

Рассмотренные далее запатентованные технологические решения расширяют возможности применения ЗШО в области дорожного строительства.

Цели запатентованных технологий

1. Утилизация золошлаковых отходов ТЭС в области дорожного строительства, в частности при возведении земляного полотна на вечномерзлом основании (из золошлаковых отходов выполняют теплоизолирующий слой в основании земляного полотна на поверхности вечномерзлого грунта) [11].

На рис. 1 показана схема использования ЗШО (например, Хабаровской ТЭЦ-3).

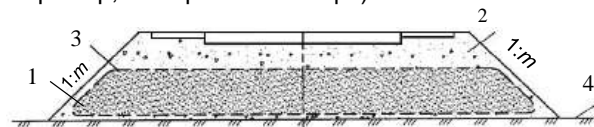


Рис. 1. Схема использования ЗШО в дорожном строительстве:

1 — ЗШО; 2 — насыпь; 3 — армирующее покрытие; 4 — вечномерзлый грунт

В качестве теплоизолирующего слоя 1, расположенного в обойме из армирующего покрытия 3 ("ГЕОСПАН ТН"), использованы ЗШО; над слоем 1 ЗШО должна быть уложена насыпь 2 в виде рабочего слоя (скальные или крупнообломочные грунты).

Порядок возведения земляного полотна, отличающегося повышенным сроком службы:

- освобождение поверхности вечномерзлого грунта 4 от растительности;
- укладка на вечномерзлый грунт 4 армирующего покрытия 3 из синтетического материала;
- укладка ЗШО 1 на армирующее покрытие;
- формирование откосов слоя ЗШО 1 (обеспечение теплоизоляции откосов земляного полотна);
- укладка насыпи 2 в виде рабочего слоя из скальных грунтов.

Армирующее покрытие 3 создает механическое препятствие для размывания ЗШО водой.

Слой ЗШО, расположенный в нижней части земляного полотна, обеспечивает поглощение растягивающих напряжений, увеличивает устойчивость земляного полотна.

2. Утилизация отходов производства (в частности, ЗШО от сжигания угля Томь-Усинских угольных бассейнов на ТЭЦ и в котельных г. Новосибирска и Новосибирской области) в области дорожного строительства и ремонта автодорог, а также при устройстве специальных площадок (для зернотоков, хранения сельхозтехники). Положительный эффект — комплексное укрепление грунтов, повышение эксплуатационных характеристик дорог и площадок [12].

Состав для устройства нижнего слоя основания дорожных одежд (%):

- глиняный грунт — 52—60 (испытаны распространенные в Западной Сибири суглинки, состоящие

преимущественно из пылевидных частиц; основные минералы: мусковит, кварц и полевой шпат; по пластичности глинистые материалы являются умеренно пластичными, число пластичности 7,5—12,5);

- цемент (минеральное вяжущее) — 3—5 (использован портландцемент марки ПЦ 400 Д20 Искитимского цементного завода, ГОСТ 10178-85 Портландцемент и шлакопортландцемент);

- золошлаковая смесь — 12—18 (испытания ЗШО проведены в соответствии с требованиями ГОСТ 25592-91 Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов. Технические условия. Характеристики: содержание шлака по массе 11,3—19,7 %, выход материала крупностью + 5 мм 13,1—17,9 %, максимальная крупность — до 20 мм, влажность 14,3—19,5 %, плотность 795—850 кг/м³, потеря массы при прокаливании — до 10 %. Золошлаки кислые: модуль основности $M_{oc} = 0,14$, силикатный модуль $M_c = 2,23$, коэффициент качества $K = 0,51$; преобладают частицы шарообразной формы);

- отходы асбоцементного производства — 5—7 (применяют для армирования нижнего слоя основания; представляют собой шлам из гидратированного цемента на волокнах асбеста диаметром 0,02—0,08 мкм и длиной 2—6 мм; годовой выход отходов ~19 тыс. т; содержат 50—60 % гидратированного портландцемента марки 400 производства ООО "Искитимцемент");

- опыленный талловый пек (гидрофобизирующая добавка) — 0,5—1,5 от массы цемента (промпродукт химической переработки древесины в сульфатно-целлюлозном производстве; снижает потребность в воде грунтобетонной смеси; омыление осуществляют раствором щелочи в соответствии с ТУ 13-0281078-146-90; по составу пек близок к талловому лигнину и канифоли, содержит олеиновую, линолевою и другие кислоты);

- вода затворения — 14—22.

Плотность и прочность грунтобетона, а также водостойкость и морозоустойчивость в дорожном основании зависят от процесса уплотнения. Рекомендуются виброуплотнение и ударный способ. Рациональное значение плотности уплотненной грунтобетонной смеси — не менее 1800 кг/м³. Характеристики: предел прочности при изгибе 0,97—1,03 МПа, усадка 0,5—0,8 мм/м, предел прочности при сжатии 3,82—5,59 МПа. Срок службы грунтобетонного материала существенно повышается (в основном за счет влияния таллового пек).

Срок службы дорожного покрытия при использовании предлагаемого состава нижнего основания дорожных одежд увеличивается за счет повышения морозоустойчивости, снижения трещинообразования и уменьшения усадочных деформаций. Одновременно решаются вопросы утилизации отходов многотоннажного производства.

3. *Реализация строительства автодороги предлагаемой конструкции (рис. 2) с утилизацией ЗШО ТЭС при формировании земляного грунта и подстилающего слоя высотой 40—55 см [13].*

От оси симметрии О—О к обочинам дороги предусмотрен уклон 1—2° (для стекания воды при атмосферных осадках).

Прочную, износостойкую и гибкую монолитную конструкцию автодороги (с повышенной водонепро-

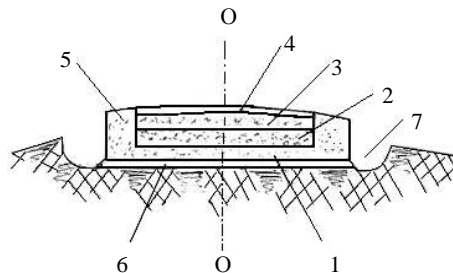


Рис. 2. Схема устройства автодороги:

1 — грунтовой земляной основе; 2 — подстилающий слой; 3 — основной слой дорожного покрытия (формируется из натурального гравия, песка, песчаных глин, цемента, извести, битума, связующей добавки); 4 — дорожное покрытие; 5 — обочина; 6 — водоотводящие выпуски; 7 — уклон к обочинам дороги

ницаемостью, морозоустойчивостью) обеспечивают применение запатентованных связующих добавок на основе цеолита и реализация определенного порядка формирования элементов дороги.

4. *Получение строительных изделий и материалов для строительства дорог и зданий на основе утилизации тонкомолотой золы-уноса и золошлаковых отходов золоотвалов [14].*

Состав сухой смеси компонентов (масс. %):

- тонкомолотая зола-унос (с удельной поверхностью 4500—6700 см²/г) — 20—40;

- цемент — 10;

- гипс — 3;

- золошлаковые отходы из золоотвалов 40—60;

- известь — 5;

- добавка, повышающая срок хранения сухой смеси (хлорид кальция или едкий натр), — 2.

Утилизируемые золы и шлаки частично заменяют дорогостоящие вяжущие средства (цемент) и заполнители (гравий, песок) без снижения прочностных характеристик при производстве легких бетонов. При этом срок хранения сухих вяжущих смесей увеличивается.

Прочностные характеристики изделий из сухой смеси достигают наибольших значений при определенном соотношении удельных поверхностей цемента и золы (от 1:1 до 1:2). Повышения физико-механической активности золы достигают ее доизмельчением совместно с известью.

5. *Переработка ЗШО от сжигания углей на тепловых электростанциях в целях получения кондиционных зольных продуктов со стабильными характеристиками (по влажности, крупности, плотности) для использования в качестве вторичного сырья в дорожном строительстве, в промышленности строительных материалов, в качестве минеральной добавки при производстве цемента, бетонных и асфальтобетонных смесей [15].*

Принципиальное отличие технологии — сушка (до влажности менее 1 %) и доизмельчение золошлаковой смеси (механическая активация; при добавлении органических реагентов — химическая активация). Применяемая технология нивелирует различие в характеристиках исходного сырья как объекта для переработки. Кондиционный зольный продукт производится на основании технических условий с гарантированным качеством и стабильными характеристиками.

Последовательность технологических операций:

- механическое обезвоживание отвальных золошлаковых смесей естественной влажности (45—50 %) путем буртования на открытой площадке (влажность снижается до 25—30 %); механическое обезвоживание позволяет снизить затраты на этапе сушки;
- сушка сырья в сушильном барабане с газовой горелкой до влажности менее 1 % (конструкция барабана способствует снижению пылевыноса мелкой фракции); теплоноситель в процессе сушки — смесь дымовых газов с воздухом; пыль, улавливаемую рукавным фильтром, можно использовать в качестве готового продукта (минеральная добавка);
- фракционирование высушенного сырья по классу 50 мкм (класс ~50 мкм является готовым продуктом);
- сухое доизмельчение класса +50 мкм в центробежной мельнице (способ измельчения — преимущественно ударом, без переизмельчения).

Отвальные золы гидроудаления более предпочтительны для использования в производстве цемента и бетонов, чем зола-уноса и золошлаковая смесь текущего выхода, вследствие естественного улучшения характеристик золы (вымывание из частиц золы соединений серы и гуминовых кислот, что снижает влияние техногенного сырья на коррозионную стойкость арматуры в железобетонных конструкциях и снижает водопотребность золы в бетонной смеси).

По мнению разработчиков технологии, использование лежалой золошлаковой смеси дает также определенный экологический эффект: полученный из лежалой золы или золошлаковой смеси конечный продукт содержит меньше тяжелых металлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скобелев Д. О., Марьев В. А., Шубов Л. Я., Иванов С. И., Доронкина И. Г. Систематизация и методы переработки

отходов производства // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. 2019. № 3. С. 2—106.

2. Шубов Л. Я., Скобелев К. Д., Иванов С. И., Доронкина И. Г. Аналитическая оценка золошлаковых отходов как техногенного сырья (к обоснованию экологической промышленной политики) // Экология промышленного производства. 2018. № 3 (103). С. 15—23.

3. Буркова В. А., Тынянова Т. Н. Способы использования золошлаковых отходов теплоэлектростанций России. — Томск: СТУ, 2001. С. 593—594.

4. Безукладников П. В., Тропин В. В., Полушкина Е. Н., Меркульева Т. А. Золошлаковые материалы угольных электростанций — отходы или ценное сырье? // Рециклинг отходов. 2008. № 6. С. 24—25.

5. Donchev I., Lenchev A. и др. Study of some mineral and technological properties of fly — ashes from thermoelectric power stations Republika and Bobovdol, Bulgaria // Докл. Болг. АН. 2001. № 11. С. 75—80.

6. Гурьянова М. Ф., Фомин Б. Г. Использование топливных золошлаков для укрепления грунтов в дорожном строительстве // Акад. промышленной экологии. 1999. № 1. С. 60—61.

7. Юмашев В. М. и др. Разработка технологии переработки и использования золошлаковых отходов тепловых электростанций в дорожном строительстве: 2-й Межд. конгресс по управлению отходами Вэйст Тэк-2001. Москва, 5—8 июня, 2001. Тез. докладов. — М.: Сибико Инт., 2001. С. 329.

8. Игнатъева О. А., Михина Т. В. Перспективы утилизации использования золошлаковых отходов Черепетской ГРЭС // Горный информационно-аналитический бюллетень Московского горного университета. 2004. № 11. С. 129—130.

9. Козлов И. М. и др. Опыт использования золошлаковых отходов на ТЭЦ-22 Мосэнерго // Энергетик. 2000. № 8. С. 15—16.

10. Absatzentwicklung von Flugasche 2007 // VGB PowerTech Jnt. Ed. 2008. 88. № 7. — 22 с.

11. Дмитриев В. Н., Чудинов С. А., Шаламова Е. Н., Козлов О. А., Черняк Р. Д., Черняк С. Р. Земляное полотно. Патент России № 158032 E01C3, 2015.

12. Бареев В. И., Городецкий С. А., Гришина В. А., Пичугин А. П., Хританков В. Ф. Состав для устройства нижнего слоя основания дорожных одежд. Патент РФ № 2468139, E01C3, 2011.

13. Арсеньев Д. А., Основин Е. В. Способ строительства автомобильных дорог и конструкция автомобильной дороги. Патент РФ № 2492290, E01C3, E01C21, 2011.

14. Курочкин А. А., Собкалов П. Ф., Шумилов Т. И. Сухая вяжущая смесь для получения строительных изделий и материалов. Патент РФ 2091343, C04B7, 1993.

15. Набоков А. Н., Щелыкина Т. П. Способ переработки золошлаковых отходов из отвалов системы гидроудаления тепловых электростанций с целью получения кондиционных зольных продуктов. Патент РФ № 2569132, B03B9, F23J1.

Using ash and slag waste in road construction

L. Ya. SHUBOV, K. D. SCOBELLEV, I. G. DORONKINA, K. E. DUBROVIN

FSAB "Research Institute "Environmental Industrial Policy Center",
Mytishchi, Moscow region, Russia

This article discusses the prospects for large-scale use of ash and slag waste from power system. One of the methods for the processing of ash and slag waste is identified, such as their use in the construction of roads. Some proposals for creating a regulatory framework for the widespread involvement in the circulation of this type of waste as secondary material resources are indicated. Also we consider the quality characteristics of ash and slag waste, examples of the use of ash and slag waste in Russia and in some foreign countries. Patented technological solutions that expand the possibilities of ash and slag waste in the field of road construction are described.

Keywords: ash and slag waste, thermal power waste, coal ash, coal burning slag, road construction, technologies of utilization of ash and slag waste from thermal power plants.

Bibliography — 15 references.

Received 22 July, 2019

УДК 691. 574

Рециклинг отходов топливно-энергетического комплекса в производстве легковесного кирпича на основе глинистых материалов различного минерального состава

В. З. АБДРАХИМОВ, д-р техн. наук

Самарский государственный экономический университет, г. Самара, Россия

Показано, что наиболее целесообразно использовать многотоннажные отходы топливно-энергетического комплекса в производстве легковесного кирпича, в качестве отощителя и выгорающей добавки использовать отходы флотационного обогащения антрацитов. Отходы флотационного обогащения антрацитов имеют повышенные потери при прокаливании (п.п.п. = 38,4 %), теплотворную способность (2800 ккал/кг) и содержание углерода ($C = 13,84\%$), поэтому они могут быть использованы для производства легковесного кирпича не только в качестве отощителя, но и в качестве выгорающих добавок. Полученные легковесные кирпичи в зависимости от содержания отходов флотационного обогащения антрацитов в их составах относятся к различным группам (например, по теплотехническим характеристикам к группам высокой эффективности, повышенной эффективности и к группе условно-эффективных). Использование многотоннажных отходов флотационного обогащения антрацитов в производстве легковесных кирпичей способствует утилизации промышленных отходов, снижению экологической напряженности в регионах и расширению сырьевой базы для керамической промышленности.

Ключевые слова: рециклинг, легковесные кирпичи, отходы флотационного обогащения антрацитов, монтмориллонит, бейделлит.

Наравне с трудом, капиталом и знаниями незагрязненная окружающая среда является ограниченным ресурсом [1]. С увеличением плотности населения увеличивается степень отрицательного воздействия человека на окружающую среду [2]. Учитывая накопление загрязнений, можно предположить, что загрязнение окружающей среды будет становиться все более опасным, что неблагоприятно скажется на здоровье людей [3—5].

Сокращение запасов традиционного природного сырья заставляет искать новые способы его замещения (например, отходами топливно-энергетического комплекса) [6—8]. Передовые зарубежные страны используют отходы топливно-энергетического комплекса в производстве строительных материалов [9—11].

В законодательстве передовых стран Евросоюза, США, Канады, Австралии, Новой Зеландии понятие "окружающая среда" включает в себя человека, природную среду, сооружения, транспортные средства и промышленные объекты. Поэтому в этих странах законодательство окружающей среды рассматривает как риски для здоровья человека, так и для природной среды (собственно экологические риски) и все

риски, связанные с промышленной деятельностью и промышленной продукцией.

В России сокращение объема образования отходов, включая переработку и рециклинг, предусмотрено государственной политикой в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 г. [12—14]. В представленной работе под рециклингом понимается процесс переработки многотоннажных отходов или использование их в качестве сырья для производства строительных материалов массового назначения, например легковесного кирпича [15].

Эффективная утилизация крупнотоннажных промышленных отходов — одна из актуальных экологических проблем [16—20]. Опыт передовых зарубежных стран показал практическую и техническую осуществимость этого направления и применения еще и как инструмента защиты природной среды от загрязнения [21, 22].

Согласно европейскому законодательству (Директива Европейского Парламента и Совета Европейского Союза 2008/98/ЕС) существует приоритетность методов управления отходами. Наиболее приемлемым вариантом утилизации отходов с сопутствующим повышением энергоэффективности композитного производства является их переработка в целях повторного использования в качестве полученных продуктов.

Неограниченными возможностями использования отходов отличается отрасль, производящая строи-

Абдрахимов Владимир Закирович, профессор.
E-mail: 3375892@mail.ru

Статья поступила в редакцию 18 ноября 2019 г.

© Абдрахимов В. З., 2020

тельные керамические материалы [23—26]. Это объясняется крупными масштабами строительного комплекса, его материалоемкостью и номенклатурой изделий [27, 28].

Цель работы — показать возможность обеспечения экологической безопасности при расширении сырьевой базы производства легковесного кирпича за счет применения продуктов техногенного происхождения, обоснование сырьевой ценности отхода флотационного обогащения антрацитов.

Отходы топливно-энергетического комплекса

Исследуемые отходы флотационного обогащения антрацитов относятся к отходам топливно-энергетического комплекса.

Топливо-электроэнергетический комплекс является одним из основных загрязнителей окружающей природной среды. Это выбросы в атмосферу (48 % всех выбросов), сбросы сточных вод (36 % всех сбросов), а также образование твердых отходов (30 % всех твердых загрязнителей) [29—31].

К отходам топливно-энергетической промышленности относятся продукты, получаемые в виде отходов при добыче, обогащении и сжигании твердого топлива [32, 33]. Эту группу отходов разделяют по источнику образования, виду топлива, числу пластичности минеральной части отходов, содержанию горючей части, зерновому составу, химико-минералогическому составу, степени плавкости, интервалу размягчения, степени вспучиваемости и т. д.

Длительное хранение отходов топливно-энергетического комплекса способствует попаданию вредных веществ и ионов тяжелых металлов в воду и почву [34, 35]. Антропогенная составляющая формирования качества поверхности вод уже соизмерима с природной составляющей, что представляет угрозу устойчивому водопользованию. Совершенно очевидно, что нужно снижать антропогенную нагрузку посредством внедрения региональных нормативов, изменения платы за загрязнения водных объектов и использования отходов топливно-энергетического комплекса в производстве различных строительных материалов [34, 35].

Легковесный пористый кирпич

Обычно керамический строительный легковесный кирпич представляет собой искусственный камень, изготовленный путем формовки и обжига, как правило, из глин с выгорающими добавками (ГОСТ 648-41, дата добавления в базу 01.09.2013). Легковесный пористый кирпич применяется для возведения стен и как заполнитель каркасных зданий. Он отличается от обычного строительного кирпича меньшей теплопроводностью. Такой кирпич изготавливается из смеси глины с выгорающими добавками, которые при обжиге выгорают и оставляют в массе кирпича поры. Для изготовления легковесного кирпича применяют жирные чистые глины, не содержащие посторонних включений. Технология производства в основном аналогична технологии производства обычного строительного кирпича. Кирпич должен иметь размеры 250×120×65 мм.

Строительный легковесный (теплоизоляционный) кирпич подразделяют в зависимости от плотности на три класса: А (от 700 до 1000 кг/м³); Б (от 1000 до 1300 кг/м³) и В (от 1300 до 1450 кг/м³).

Легковесными (теплоизоляционными) материалами принято называть материалы, истинная пористость которых равна или больше 45 %, благодаря чему они имеют высокие теплозащитные свойства.

Согласно требованиям ГОСТ 530-2007 Кирпич и камень керамические. Общие условия теплотехнические характеристики изделий оцениваются по коэффициенту теплопроводности в сухом состоянии λ , Вт/(м·°С): до 0,20 — группа высокой эффективности; от 0,20 до 0,24 — группа повышенной эффективности; от 0,24 до 0,36 — группа эффективных; от 0,36 до 0,46 — группа условно-эффективных; свыше 0,46 — группа малоэффективных (обычные).

Способы формирования пористой структуры огнеупоров

Существует много способов формирования пористой структуры в керамических материалах. Они основаны на создании условий, способствующих образованию пор в материале. В производстве пористых керамических материалов используют преимущественно два способа: выгорающих добавок и пеновый. Широко начинает применяться способ волокнообразования за счет совершенствования получения расплавов из тугоплавкого сырья и получения волокон из различных расплавов.

Выбор способа порообразования зависит от того, материал какой структуры и пористости мы хотим получить.

Способ выгорающих добавок является самым старым способом получения пористой керамики. Преимущество способа выгорающих добавок — его простота. Этим способом получают материалы с пористостью до 50—60 %.

Для получения теплоизоляционных материалов в керамические массы вводят выгорающие добавки, которые при низких температурах ведут себя аналогично отошающим добавкам (снижают сроки сушки), а при высоких температурах способствуют обжигу керамических изделий, снижают расход топлива, повышают пористость и уменьшают вес готовых изделий. К группе выгорающих добавок относят опилки, различные виды твердого топлива, в частности антрацит, коксовая мелочь и т. д. [36—38]. Их могут вводить в состав шихты до 8—10 % по объему, т. е. 50—80 % от общей потребности топлива на обжиг изделий.

Сырьевые материалы

Глинистые материалы. В качестве связующих для получения легковесного кирпича в настоящей работе использованы глинистые материалы различного минерального состава: монтмориллонитовая глина Смышляевского месторождения и бейделлитовая глина Образцовского месторождения Самарской области. Химические составы (оксидный и поэлементный) приведены в табл. 1 и 2, технологические показатели — в табл. 3, минералогические составы — в табл. 4.

Таблица 1

Оксидный химический состав компонентов

Компонент	Содержание оксидов, масс. %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	R ₂ O	SO ₃	п.п.п.
Монтмориллонитовая глина	58,89	14, 43	4,8	2,7	7,2	3,4	0,05	7,8
Бейделлитовая глина	54,38	19,46	8,52	1,75	1,82	2,73	1,82	8,42
Отход флотационного обогащения антрацитов	34,4	14,34	2,53	1,24	5,83	3,24	0,88	38,4

Примечание. п.п.п. — потери при прокаливании; R₂O = K₂O + Na₂O

Таблица 2

Позлементный химический состав компонентов

Компонент	Содержание элементов, %							
	O	Al	Si	K + Na	Ca + Mg	Ti	Fe	C
Монтмориллонитовая глина	56,8	13,46	17,47	4,99	2,46	1,57	3,25	—
Бейделлитовая глина	52,01	16,70	21,19	3,55	0,98	1,00	4,57	—
Отход флотационного обогащения антрацитов	49,23	11,91	19,03	2,47	1,32	—	2,48	13,84

Таблица 3

Технологические показатели глинистых компонентов

Компоненты	Число пластичности	Спекаемость	Содержание глинистых частиц (размером менее 0,005 мм), %	Огнеупорность, °C
Монтмориллонитовая глина	33—42 (высокопластичная)	Не спекается (вспучивается)	Более 60 (высокодисперсная)	1150—1200 (легкоплавкая)
Бейделлитовая глина	15—24 (среднепластичная)	Не спекается (вспучивается)	40—60 (среднедисперсная)	1320—1350 (легкоплавкая)

Таблица 4

Минералогические составы глинистых компонентов

Глинистый компонент	Содержание минералов, %					
	гидрослюда	кварц	гипс	полевошпат	монтмориллонит	оксиды железа
Монтмориллонитовая глина	5—8	25—30	3—5	8—20	50—55	5—7
Глинистый компонент	Содержание минералов, %					
	гидрослюда	кварц	гипс	полевошпат	каолинит	бейделлит
Бейделлитовая глина	5—10	20—25	2—3	10—15	3—5	35—45

Монтмориллонит (от названия французского города Монморийон, департамента Вьенн) — глинистый минерал, относящийся к подклассу слоистых силикатов. Его химическая формула $(\text{Na}, \text{Ca})_{0,33}(\text{Al}, \text{Mg})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Этот минерал обладает способностью к сильному набуханию благодаря своему строению и имеет ярко выраженные сорбционные свойства. Размеры частиц монтмориллонита меньше 0,1 мк (в пределах 100—200 нм), поэтому монтмориллонит называют наноглиной.

Пакет кристаллической решетки монтмориллонита образован двумя наружными тетраэдрическими слоями и одним внутренним октаэдрическим слоем. Концы обоих наружных слоев состоят из анионов O^{2-} , в силу чего смежные слои пакетов, будучи одноименно (отрицательно) заряжены, обуславливают сравнительно слабую связь между пакетами. Если связь между пакетами слаба, то туда легко могут попадать молекулы воды, из-за чего минерал при смачивании сильно набухает. Наличие изоморфных замещений (изоморфизм — свойство элементов замещать друг друга в структуре кристалла), огромная удельная поверхность (до 600—800 м²/г) и легкость проникновения ионов в межпакетное пространство обуславливают значительную емкость катионного обмена (80—150 ммоль-экв/100 г, ммоль — миллимоль).

Если в исследуемом глинистом связующем глинистый минерал в основном представлен монтмориллонитом (> 50 %), то такие глины называют бентонитами. Бентониты, добавляемые даже в малых количествах, значительно улучшают формовочные свойства керамических смесей на основе малопластичных тощих глин. Кроме того, из бентонитовых глин получают высококачественный керамзит [39—41].

Монтмориллонит способен интенсивно поглощать довольно большое количество воды, прочно ее удерживать и трудно отдавать при сушке, а также сильно набухать при увлажнении с увеличением в объеме до 16 раз [42—45].

Глина Образцовского месторождения характеризуется как среднедисперсная (табл. 3) преимущественно с низким содержанием мелких и средних включений, представленными кварцем, железистыми минералами, гипсом и карбонатными включениями [46—49]. Основным породообразующим минералом образцовской глины является бейделлит — $\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, названный по местности Бейделл штата Колорадо (США) и относящийся к минералам группы монтмориллонита [46—49].

На рис. 1 представлены образцы из монтмориллонитовой глины (Смышляевское месторождение) и бейделлитовой глины (Образцовское месторождение), обожженные при температуре 1000 °С.

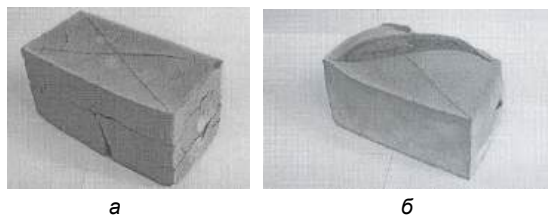


Рис. 1. Образцы из монтмориллонитовой глины Смышляевского месторождения (а); бейделлитовой глины Образцовского месторождения (б). Температура обжига 1000 °С

Как видно из рис. 1, глинистые материалы не могут быть использованы в производстве керамических материалов без применения отощителей.

Отощитель и выгорающая добавка. Пластичные глинистые материалы (монтмориллонитовые и бейделлитовые глины) редко применяют в чистом виде (без специальных добавок), так как в процессе сушки и обжига они дают большую усадку, сопровождаемую короблением и растрескиванием, что сильно затрудняет возможность изготовления из них изделий правильной формы и точных размеров. В целях уменьшения усадки керамических масс при сушке и обжиге и увеличения скорости сушки и обжига в их состав вводят отошающие материалы. Их делят на естественные (кварцевый песок) и искусственные (шамот). Кроме того, отошители формируют структуру черепка при обжиге и служат каркасом изделий.

В качестве отошителя в настоящей работе использованы отходы флотационного обогащения антрацитов ЦОФ "Обуховская" (Ростовская область), которые являются малосернистыми по сравнению с другими отходами энергетики. Содержание угольной составляющей может достигать 40 % (рис. 2), а минеральная часть представлена в основном гидрослюдой, кварцем, полевыми шпатами и слюдой. Органическая часть шламов флотационного углеобогащения представлена в большей степени антрацитом, за счет чего в них мало летучих компонентов и поэтому они трудно воспламеняются и горят коротким пламенем (температура обжига керамических изделий должна быть не менее 1050 °С).

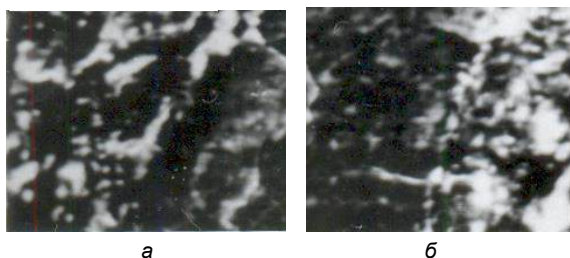


Рис. 2. Микроструктура отходов флотационного обогащения антрацитов (угольная составляющая выделена черным) (увеличение: а × 5000; б × 10000)

Зольность отходов флотационного обогащения антрацитов колеблется от 35 до 70 %, их оксидный и поэлементный химические составы приведены в табл. 1 и 2, фракционный — в табл. 5, технологические показатели — в табл. 6 [50—53].

Таблица 5

Фракционный состав отходов флотационного обогащения антрацитов

Содержание фракций, %	>0,063	0,063—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	<0,0001
Размер частиц, мм	37,8	24,2	7,1	13,2	17,7

Таблица 6

Технологические показатели отходов флотационного обогащения антрацитов

Теплотворная способность, ккал/кг	Огнеупорность, °С		
	Начало деформации	Размягчение	Жидкоплавкое состояние
2800	1250	1300	1350

Использование отходов флотационного обогащения антрацитов позволяет решить две очень важные задачи: получение из мелкого угля (шламов размером менее 0,5 мм) качественного низкосольного угольного концентрата, количество которого составляет до 20—30 % от общего концентрата; утилизацию промышленных отходов и охрану окружающей среды.

Имея повышенное значение п.п.п. (33—34 %; см. табл. 1), шламы флотационного углеобогащения способствуют получению легковесного кирпича с низкой плотностью, а повышенное содержание Fe_2O_3 способствует спеканию изделий при относительно невысоких температурах.

Отходы флотационного обогащения антрацитов имеют повышенные п.п.п. (38,4 %), теплотворную способность (2800 ккал/кг) и содержание углерода ($C = 13,84$ %), поэтому целесообразно использовать их для производства легковесного кирпича не только в качестве отошителя, но и в качестве выгорающих добавок.

Получение легковесного кирпича

Керамическую массу, предварительно измельченную до прохождения сквозь сито № 0,1, готовили в лабораторных условиях пластическим способом при влажности 18—22 %. Из нее формовали кирпичи размером 250×120×65 мм. Высушенные до остаточной влажности не более 5 % кирпичи обжигались при температуре 1000 °С.

В табл. 7 приведены составы керамических масс, а в табл. 8 — физико-механические свойства теплоизоляционных композиционных материалов.

Таблица 7

Составы керамических масс

Компонент	Содержание компонентов, масс. %					
	1	2	3	4	5	6
Монтмориллонитовая глина	70	60	50	—	—	—
Бейделлитовая глина	—	—	—	70	60	50
Отход флотационного обогащения антрацитов	30	40	50	30	40	50

Таблица 8

Физико-механические показатели легковесного кирпича

Показатель	Состав					
	1	2	3	4	5	6
Плотность, кг/м ³	1400	1230	1080	1420	1250	1100
Класс по плотности	В	Б	Б	В	Б	Б
Морозостойкость, циклы	28	25	22	26	24	20
Механическая прочность на сжатие, МПа	12,9	11,8	10,5	12,6	11,6	10,2
Теплопроводность, Вт/(м·°C)	0,32	0,20	0,185	0,34	0,22	0,192

Видно, что кирпичи, содержащие 30 % отхода флотации обогащения антрацитов (составы 1 и 4; табл. 7 и 8), относятся к классу В, а кирпичи, содержащие 40–50 % отхода флотации (составы 2, 3, 5, 6; табл. 7 и 8), — к классу Б.

По теплотехническим характеристикам составы № 1 и 4 относятся к группе эффективных, составы № 2 и 5 — к группе повышенной эффективности, составы № 3 и 6 — к группе эффективных.

Теплопроводность для легковесных кирпичей является основным показателем. Теплопроводность — это перенос тепловой энергии структурными частицами вещества (молекулами, атомами, ионами) в процессе их теплового движения [54–57]. Такой теплообмен может происходить в любых телах с неоднородным распределением температур, но механизм переноса теплоты будет зависеть от агрегатного состояния вещества. Явление теплопроводности заключается в том, что кинетическая энергия атомов и молекул, которая определяет температуру тела, передается другому телу при их взаимодействии или передается из более нагретых областей тела к менее нагретым областям [54–57]. Иногда теплопроводностью называют также количественную оценку способности конкретного вещества проводить тепло.

За счет повышенных содержаний в отходах флотационного обогащения антрацитов с приведенными ранее теплотворной способностью (2800 ккал/кг; см. табл. 6), ППП (см. табл. 1) и содержанием углерода С (см. табл. 2), которые выгорают при обжиге, в керамическом материале создается пористость, в результате чего получается пористый легковесный кирпич с низкой плотностью. Кроме того, на основе непригодных для получения керамических материалов монтмориллонитовой и бейделлитовой глин благодаря отходам флотационного обогащения антрацитов были получены с высокой эффективностью легковесные кирпичи.

Выводы

Исследования показали, что использование многотоннажных отходов флотационного обогащения антрацитов в производстве легковесных кирпичей позволяет получать изделия с высокими показателями даже из глинистых материалов, непригодных как самостоятельное сырье.

Выгорающие добавки не только повышают пористость керамических изделий, но также способствуют равномерному спеканию керамического черепка.

Использование отходов производств способствует:

- рациональному природопользованию за счет вовлечения отходов в производство керамических материалов;

- созданию энерго- и ресурсосберегающих технологий по производству строительных материалов;
- рациональной структуре потребления строительных материалов в строительстве, путем замены природных традиционных материалов на отходы производства;

- сохранению и рациональному использованию имеющихся природных сырьевых ресурсов;

- использованию накопленных и вырабатываемых отходов производства;

- снижению экологической напряженности в регионе;

- утилизации промышленных отходов, охране окружающей среды и расширению сырьевой базы для получения строительных материалов;

- снижению себестоимости продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильина Л. А., Абдрахимов В. З. Использование отхода топливно-энергетической промышленности — золошлакового материала — в производстве пористого заполнителя на основе жидкостеклянной композиции // Экология промышленного производства. 2018. № 4. С. 16—22.
2. Абдрахимов В. З., Пичуров С. Н., Абдрахимова Е. С., Абдрахимова И. Д. Снижение экологического ущерба биосфере в целом за счет использования керамического кирпича // Экология промышленного производства. 2017. № 1. С. 2—7.
3. Ильина Л. А., Абдрахимов В. З., Кайракбаев А. К., Рошупкина И. Ю. Экологические и экономические аспекты использования многотоннажных отходов топливно-энергетического комплекса // Экология промышленного производства. 2018. № 3. С. 7—14.
4. Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С. Использование электросталеплавильного шлака в производстве керамического кирпича и жаростойких бетонов // Экология промышленного производства. 2016. № 2. С. 2—7.
5. Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С. Керамические стеновые материалы на основе обожженного щелочного травления алюминия и межсланцевой глины // Экология промышленного производства. 2015. № 3. С. 8—11.
6. Федоренко Р. В., Абдрахимов В. З., Колпаков А. В. Экологические и экономические аспекты использования горючих пород в производстве пористых заполнителей, способствующие развитию "зеленой" экономики и транспортно-логистической инфраструктуры // Экология промышленного производства. 2019. № 3. С. 27—31.
7. Кайракбаев А. К., Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С. Исследование регрессивным методом зависимости отходов топливно-энергетической промышленности на сушильные свойства стеновой керамики // Экология промышленного производства. 2015. № 1. С. 6—10.
8. Абдрахимов В. З. Использование отходов от производства минеральной ваты для получения стеновых материалов // Экология промышленного производства. 2019. № 2. С. 9—12.
9. Абдрахимова Е. С., Абдрахимов В. З., Рошупкина И. Ю. Инновационные направления по использованию нанотехногенных отходов в производстве керамических композиционных материалов // Экология промышленного производства. 2014. № 3. С. 20—23.
10. Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С. Снижение экологического ущерба экосистемам за счет использования отходов горючих сланцев в производстве теплоизоляционных материалов // Экология промышленного производства. 2016. № 3. С. 18—24.
11. Абдрахимова Е. С., Абдрахимов В. З. Исследование отходов цветной металлургии в производстве кислотоупоров без

применения природного традиционного сырья // Экология промышленного производства. 2014. № 2. С. 13—16.

12. Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С., Кайракбаев А. К. Использование отходов топливно-энергетического комплекса в производстве теплоизоляционных материалов на основе жидкостеклянных композиций. — Актобе: Казахско-Русский международный университет, 2016. — 140 с.

13. Абдрахимов В. З., Кайракбаев А. К., Абдрахимова Е. С. Инновационные направления по экологическому образованию с учетом "зеленой" экономики. — Актобе: Актыбинский университет им. акад. С. Баишева, 2018. — 212 с.

14. Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С., Кайракбаев А. К. Инновационные направления по использованию отходов топливно-энергетического комплекса в производстве теплоизоляционных материалов. — Актобе: Казахско-Русский международный университет, 2015. — 276 с.

15. Абдрахимов В. З., Кайракбаев А. К. Экологический менеджмент. — Актобе: Актыбинский университет им. акад. С. Баишева, 2019. — 240 с.

16. Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С. Структура пористости пористого заполнителя на основе горелой породы, глиежей и жидкостеклянных композиций // Химическая технология. 2019. Т. 20. № 8. С. 354—360.

17. Абдрахимов В. З. Фазовый состав клинкерного кирпича на основе отходов цветной металлургии Восточного Казахстана // Химическая технология. 2019. № 9. С. 406—413.

18. Абдрахимов В. З. Использование отходов минеральной ваты в производстве керамических стеновых материалов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2019. Т. 10. № 3. С. 53—60.

19. Абдрахимов В. З., Ильина Т. А. Использование золошлакового материала в производстве пористого заполнителя способствует развитию "зеленой" экономики и транспортно-логической инфраструктуры // Уголь. 2019. № 11. С. 59—63.

20. Абдрахимов В. З. Повышение экологической безопасности за счет использования золошлакового материала и отработанного катализатора в производстве керамического кирпича на основе бейделлитовой глины // Биологическая совместимость: человек, регион, технологии. 2019. № 2. С. 35—42.

21. Абдрахимов В. З. Использование золошлакового материала и нанотехногенного карбонатного шлама в производстве кирпича на основе бейделлитовой глины // Строительство и реконструкция. 2019. № 2. С. 81—89.

22. Abdрахимов В. Z., Abdрахимова Е. S. Study of the Distribution of Iron Oxides in Interscale Clay and Oil Sludge Porous Filler with Mossbauer Spectroscopy // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2019. V. 53. Iss. 4. P. 703—707.

23. Кайракбаев А. К., Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С. Использование магний-хромитовых шламов Западного Казахстана в производстве огнеупоров на основе фосфатных связующих // Новые огнеупоры. 2019. № 6. С. 17—19.

24. Абдрахимова Е. С., Абдрахимов В. З. Химические, фазовые составы и структура пористости плинфы Белой башни (Греция) возрастом более 450 лет // Стекло и керамика. 2019. № 4. С. 40—43.

25. Кайракбаев А. К., Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С. Получение плиток для полов на основе золы легкой фракции и глинистой части "хвостов" гравитации циркон-ильменитовых руд // Уголь. 2019. № 6. С. 7881.

26. Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С. Использование в производстве жаростойких бетонов отходов химической промышленности как способ снижения загрязнения водоемов // Экологическая химия. 2019. Т. 28. № 4. С. 224—232.

27. Абдрахимов В. З. Повышение экологической безопасности за счет использования отхода обогащения угля в производстве пористого заполнителя на основе жидкого стекла и монтмориллонитовой глины // Энергосбережение и водоподготовка. 2019. № 3. С. 33—38.

28. Абдрахимов В. З. Влияние фазового состава на морозостойкость керамического кирпича на основе бейделлитовой глины и золошлакового материала // Изв. вузов. Строительство. 2019. № 3. С. 41—49.

29. Сафронов Е. Г., Сунтеев А. Н., Коробкова Ю. Ю., Абдрахимов В. З. Экологические, экономические и практические аспекты использования многотоннажных отходов топливно-энергетического комплекса — сланцевой золы в производстве пористого заполнителя // Уголь. 2019. № 4. С. 44—49.

30. Кайракбаев А. К., Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С. Исследование методом ЯГР-спектроскопии оксидов железа, фазового состава и структуры пористости керамического кирпича на основе межсланцевой глины и шлака от сжигания бурого угля // Стекло и керамика. 2019. № 2. С. 15—22.

31. Абдрахимов В. З., Колпаков А. В. Аспекты использования отходов топливно-энергетического комплекса и химической промышленности в производстве керамического кирпича // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23. № 1. С. 46—59.

32. Абдрахимов В. З. Снижение экологического ущерба экосистемам за счет использования межсланцевой глины и золошлакового материала в производстве легковесного кирпича и пористого заполнителя // Уголь. 2018. № 10. С. 85—91.

33. Ильина Л. А., Абдрахимов В. З., Колпаков А. В., Кайракбаев А. К., Рошупкина И. Ю. Экологические и экономические аспекты использования многотоннажных отходов топливно-энергетического комплекса в производстве керамического кирпича // Экология промышленного производства. 2018. № 3. С. 7—14.

34. Абдрахимова Е. С., Абдрахимов В. З. Инновационные направления по использованию отходов углеобогащения и межсланцевой глины в производстве теплоизоляционных материалов // Энергосбережение и водоподготовка. 2017. № 2. С. 54—58.

35. Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С. Перспективное использование отходов углеобогащения в производстве теплоизоляционного материала без применения природных традиционных материалов // Перспективные материалы. 2017. № 3. С. 69—77.

36. Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С., Денисов Д. Ю. Керамические строительные материалы. — Самара: Самарская академия государственного и муниципального управления. 2010. — 364 с.

37. Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С. Основы материаловедения. — Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет. 2006. — 495.

38. Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С. Химическая технология керамического кирпича с использованием техногенного сырья. — Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет. 2007. — 432.

39. Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С. Технология стеновых материалов и изделий. — Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет. 2005. — 194 с.

40. Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С. Производство керамических изделий на основе отходов энергетики и цветной металлургии. — Усть-Каменогорск. Восточно-Казахстанский государственный технический университет. 1997. — 290 с.

41. Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С., Ковков И. В., Абдрахимов А. В., Вдовина Е. В., Денисов Д. Ю. — Самара: ООО "Центр перспективного развития, 2007. — 134 с.

42. Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С., Куликов В. А. Исследование фазового состава и структуры пористости теплоизоляционного материала на основе монтмориллонитовой глины и нефтяного кека // Материаловедение. 2011. № 9. С. 48—54.

43. Абдрахимов В. З., Куликов В. А., Ковков И. В., Абдрахимова Е. С. Кинетика фазового состава при различных скоростях охлаждения керамзита на основе монтмориллонитовой глины // Изв. Самарского научного центра РАН. 2010. Т. 12. № 4. С. 135—139.

44. Куликов В. А., Ковков И. В., Абдрахимов В. З. Исследование фазового состава керамзита на основе монтмориллонитовой глины и отходов горно-обогатительной фабрики при обогащении угля // Изв. вузов. Строительство. 2010. № 10. С. 24—28.

45. Куликов В. А., Абдрахимов В. З., Ковков И. В. Исследование фазового состава керамзита на основе нефтяного кека и смышляевской глины // Башкирский химический журнал. 2010. Т. 17. № 3. С. 81—83.

46. Абдрахимова Е. С., Абдрахимов В. З. Фазообразование при обжиге керамического материала из бейделлитовой и межсланцевой глины // Материаловедение. 2013. № 1. С. 51—56.

47. Колпаков А. В., Абдрахимов В. З. Исследование коэффициента вспучивания фазового состава на различных этапах обжига керамзита из межсланцевой и бейделлитовой глины // Строительство и реконструкция. 2012. № 5. С. 50—58.

48. Вдовина Е. В., Абдрахимов В. З. Исследование фазового состава в керамических композиционных материалах на основе бейделлитовой глины и отходов производств минеральной ваты // Огнеупоры и техническая керамика. 2012. № 4-5. С. 67—79.

49. Абдрахимова Е. С., Абдрахимов В. З. Исследование керамического композиционного материала на основе бейделлитовой глины и золошлаковых отходов // Химия твердого топлива. 2012. № 3. С. 49—55.

50. Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С. Экологические, теоретические и практические аспекты использования шламов флотационного углеобогащения в производстве теплоизоляционных материалов // Кокс и химия. 2013. № 3. С. 39—44.

51. Абдрахимова Е. С., Абдрахимов В. З. Свойства конструктивно-изоляционных керамических материалов из смеси межсланцевой глины и отходов флотационного обогащения антрацитов // Химия твердого топлива. 2014. № 5. С. 30—34.

52. Абдрахимова Е. С., Абдрахимов В. З. Влияние отходов углеобогащения на пористость теплоизоляционных материалов на основе межсланцевой глины // Техника и технология силикатов. 2016. № 1. С. 24—30.

53. Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С. Инновационные направления по использованию отходов флотационного обогащения антрацитов и шлака от производства ферросилиция в керамических материалах на основе глинистой части "хвостов" гравитации // Экологические системы и приборы. 2016. № 3. С. 17—24.

54. Абдрахимова Е. С., Абдрахимов В. З. Термомеханические исследования керамического кирпича // Изв. вузов. Строительство. 2006. № 7. С. 12—16.

55. Абдрахимова Е. С., Абдрахимов В. З. Исследование тепломассообменных процессов при обжиге керамических материалов из техногенного сырья // Материаловедение. 2008. № 1. С. 18—20.

56. Абдрахимов В. З., Белякова Е. А., Денисов Д. Ю. Экспериментальное исследование теплопроводности легковесного кирпича на основе бейделлитовой глины и горелых пород // Огнеупоры и техническая керамика. 2010. № 11—12. С. 49—52.

57. Абдрахимов В. З., Белякова Е. А., Денисов Д. Ю. Процессы тепломассообменных процессов при обжиге легковесного кирпича // Огнеупоры и техническая керамика. 2011. № 1—2. С. 49—53.

Recycling of waste fuel and energy complex in the production of lightweight bricks based on clay materials of different mineral composition

V. Z. ABDRAKHIMOV

Samara State University of Economics, Samara, Russia

Reduction of stocks of traditional natural raw materials forces to look for new ways of its replacement with waste. The experience of advanced foreign countries has shown the technical feasibility of this direction and application as a tool to protect the natural environment from pollution. In the present work it is shown that it is most expedient to use multi-tonnage waste of the fuel and energy complex in the production of lightweight bricks. Waste from anthracite flotation enrichment was used as a thinning agent and burnout additive. Waste flotation enrichment of anthracites have increased: the content of PP (loss during calcination=38.4 %), calorific value of 2800 kcal / kg and carbon content (C=13.84 %), so they were used for the production of lightweight bricks not only as a thinner, but also as burnout additives. The resulting lightweight bricks, depending on the content of waste flotation enrichment of anthracites in their compositions, belong to different groups, for example, by thermal characteristics to the groups: with high efficiency, increased efficiency and even to the group conditionally effective. The use of multi-tonnage waste of anthracite flotation enrichment in the production of lightweight bricks contributes to the utilization of industrial waste, reducing environmental tensions in the regions and expanding the raw material base for the ceramic industry.

Keywords: recycling, lightweight bricks, waste of anthracite flotation enrichment, montmorillonite, beidellite.

Bibliography — 57 references.

Received November 18, 2019

УДК 678

Утилизация полимерных отходов в производстве облицовочной керамики, получаемой с использованием стеклобоя

И. А. ВИТКАЛОВА; А. С. УВАРОВА; Е. С. ПИКАЛОВ, канд. техн. наук;
О. Г. СЕЛИВАНОВ

Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых,
г. Владимир, Россия

Приведены результаты разработки облицовочного керамического материала, получаемого на основе малопластичной глины с добавлением борной кислоты и боя листового оконного стекла для обеспечения жидкофазного спекания и эффекта самоглазурования поверхности при дополнительном введении полимерных отходов, в частности отходов потребления изделий из непластифицированного поливинилхлорида (ПВХ), в качестве выгорающей добавки. Показана зависимость основных свойств получаемой керамики от количества полимерных отходов в составе шихты при введении борной кислоты и стеклобоя в объемах, обеспечивающих максимально возможные значения прочности и морозостойкости. Определено количество полимерных отходов, позволяющее получать материал, который соответствует требованиям, предъявляемым к облицовочным керамическим изделиям, и относится к условно-эффективным по теплотехническим характеристикам. Применение полученного состава шихты позволяет совместить утилизацию полимерных и стекольных отходов и одновременно расширить сырьевую базу и ассортимент для производства облицовочной керамики.

Ключевые слова: полимерные отходы, стеклобой, облицовочная керамика, самоглазурование, малопластичная глина, энергоэффективность.

Все большую актуальность приобретает проблема переработки отходов, решение которой, с одной стороны, препятствует загрязнению и деградации окружающей среды, а с другой — способствует рациональному природопользованию и снижению экономических затрат на сырьевые материалы.

Решение проблемы переработки отходов в наибольшей степени обеспечивается их утилизацией в производстве строительных материалов и изделий. Это связано с возможностью раздельной и комплексной переработки большинства видов отходов в больших количествах с помощью относительно простых и недорогих технологий и процессов. При этом наиболее эффективными и перспективными являются методы утилизации, позволяющие совместную

переработку разных отходов в качестве добавок, повышающих качество и модифицирующих свойства изделий [1—3].

При использовании отходов важно учитывать объемы, в которых они образуются и накапливаются, а также их востребованность в других производственных процессах в качестве вторичных ресурсов. В данной работе рассматривается состав шихты, позволяющий комплексно утилизировать полимерные отходы и стеклобой, в частности отходы непластифицированного поливинилхлорида (НПВХ) и бой листового оконного стекла. Полимерные отходы являются одними из наиболее крупнотоннажных, и их утилизация является актуальной задачей [4—6]. Полимерные отходы высокой степени чистоты и малой степени деструкции успешно перерабатывают в виде добавки к первичному сырью в производстве пластмассовых изделий, в то время как отходы низкого качества с большим количеством примесей практически невостребованы [4, 5, 7]. В случае стекольных отходов наблюдается схожая тенденция: отходы производства перерабатываются предприятиями стекольной промышленности, а отходы потребления в количестве до 10 % от общего количества отходов накапливаются в местах складирования и захоронения отходов [8—10].

Авторами данной работы ранее проводились исследования по утилизации полимерных и стекольных отходов, в том числе был разработан состав шихты на основе малопластичной глины, дополнительно

Виткалова Ирина Андреевна, магистрант кафедры "Химия".

E-mail: scream7687@yandex.ru

Уварова Анастасия Сергеевна, магистрант кафедры "Химия".

E-mail: astorlova@mail.ru

Пикалов Евгений Сергеевич, доцент кафедры "Химические технологии".

E-mail: evgeniy-pikalov@mail.ru

Селиванов Олег Григорьевич, инженер-исследователь кафедры "Биология и экология".

E-mail: selivanov6003@mail.ru

Статья поступила в редакцию 20 декабря 2019 г.

© Виткалова И. А., Уварова А. С., Пикалов Е. С., Селиванов О. Г., 2020

включающий борную кислоту в роли плавня, бой оконного стекла в роли флюсующе-упрочняющей добавки и отходы НПВХ в качестве выгорающей добавки для повышения энергоэффективности изделий. Было установлено, что 2,5 масс. % борной кислоты и 12,5 масс. % стекольного боя позволяют получить наибольшую прочность и наименьшее водопоглощение, которые можно достичь при использовании данного состава шихты при введении от 2,5 до 20 масс. % отходов НПВХ [1].

Цель данной работы — исследование влияния полимерных отходов на основные свойства самоглазурующей керамики, получаемой с использованием стеклобоя, и выбор количества полимерных отходов в составе шихты, обеспечивающего получение изделий, соответствующих нормативным требованиям для лицевого керамических изделий при достижении их энергоэффективности.

Сырьевые материалы и методы исследования

В исследуемом составе шихты основным компонентом являлась глина Суворотского месторождения Владимирской области, число пластичности которой, определенное по стандартной методике, составляет 5,2, что свидетельствует о малой пластичности глины. Это является причиной низкой прочности и высокого водопоглощения получаемых из нее изделий. Следовательно, необходимо введение специальных добавок для повышения качества изделий. Применяемая глина имеет следующий состав (масс. %): $\text{SiO}_2 = 67,5$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 10,75$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 5,85$; $\text{CaO} = 2,8$; $\text{MgO} = 1,7$; $\text{K}_2\text{O} = 2,4$; $\text{Na}_2\text{O} = 0,7$ [4, 11].

Добавкой для повышения прочности изделий за счет жидкофазного спекания являлся бой листового оконного стекла, получаемый в результате измельчения отходов потребления следующего состава (масс. %): $\text{SiO}_2 = 73,5$; $\text{CaO} = 7,4$; $\text{MgO} = 1,9$; $\text{Na}_2\text{O} = 11,1$; $\text{K}_2\text{O} = 5,2$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,9$ [1, 9].

В качестве выгорающей добавки в разрабатываемый состав шихты вводили отходы потребления НПВХ, в частности отходы строительных профилей (стыковочных профилей и плинтусов) и отделочных панелей. При этом стоит учитывать токсичность продуктов сгорания НПВХ, в первую очередь паров соляной кислоты и различных хлорорганических соединений, в том числе диоксинов. Для их нейтрализации необходимо использовать камеры дожигания, в которых продукты сгорания разлагаются при температурах 1200–1400 °С. В случае с парами соляной кислоты наиболее эффективным будет метод сухой очистки, заключающийся во введении в дымовые газы негашеной извести, оксида магния или гидроксида натрия, которые в результате реакции с соляной кислотой образуют безвредные соединения [1, 4, 12].

Оба вида применяемых отходов в достаточно больших количествах скапливаются в результате строительных и ремонтных работ, что обосновывает актуальность их использования в составе шихты.

В состав шихты дополнительно вводили борную кислоту марки В 2-го сорта по ГОСТ 18704-78, содержащую не менее 98,6 масс. % основного вещества. Применение борной кислоты снижает темпера-

туру жидкофазного спекания и совместно со стеклобоем обеспечивает эффекты самоглазурования и остекловывания изделий [1, 8, 9].

Перед использованием в качестве компонентов шихты глину, отходы НПВХ и стеклобой отдельно измельчали для получения размера частиц не более 0,63 мм и высушивали до постоянной массы. Все высушенные компоненты шихты перемешивали сначала в сухом состоянии, а затем при увлажнении до 8 масс. %. Из формовочной массы при удельном давлении прессования и максимальной температуре обжига 1050 °С получали образцы исследуемой керамики.

У полученных образцов по стандартным методикам определяли прочность на сжатие ($\sigma_{\text{сжат}}$, МПа) и изгиб ($\sigma_{\text{из}}$, МПа), водопоглощение (V , %), морозостойкость (M , циклы), открытую ($P_{\text{отк}}$, %), закрытую ($P_{\text{зак}}$, %) и общую ($P_{\text{об}}$, %) пористости, плотность (ρ , кг/м³) и теплопроводность (λ , Вт/(м·°С)).

Результаты экспериментов и их обсуждение

В соответствии с ранее полученными результатами, обеспечивающими высокое качество керамики, в данной работе в состав шихты вводили стекольный бой в количестве 12,5 масс. % и борную кислоту в количестве 2,5 масс. %. Отходы НПВХ вводили в количестве от 2,5 до 20 масс. %. Введение меньшего количества отходов НПВХ не приводит к существенным изменениям теплопроводности и других свойств материала, а введение свыше 20 масс. % отходов НПВХ ведет к излишнему снижению прочности и повышению водопоглощения, что приводит к снижению морозостойкости. Кроме того, при введении излишнего количества отходов НПВХ в объеме материала и на его поверхности остаются следы выгорания добавки [1].

Как видно из полученных результатов, общая пористость разрабатываемого материала интенсивно и практически линейно повышается с увеличением количества вводимых в состав шихты отходов НПВХ, что связано с их выгоранием при обжиге с образованием пор и пустот в объеме образцов (рис. 1).

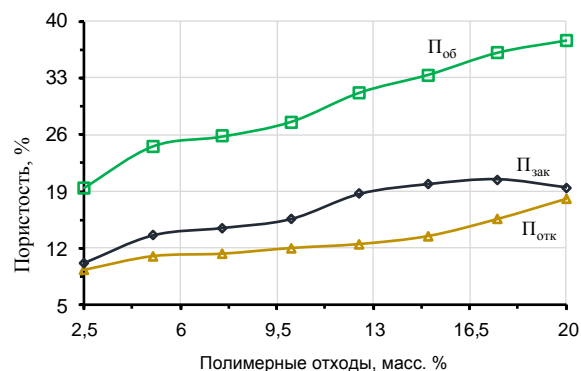


Рис. 1. Зависимость пористости разрабатываемой керамики от количества полимерных отходов

Открытая пористость также повышается линейно, но с введением свыше 10 масс. % отходов НПВХ интенсивность роста доли открытых пор повышается.

Закрытая пористость повышается при введении до 17,5 масс. % НПВХ, а при более высоких количествах полимерных отходов начинает снижаться.

Рост открытой пористости и снижение закрытой при введении свыше 17,5 масс. % НПВХ объясняются образованием развитой пористой структуры, которая при данных количествах добавки связывает между собой поры на поверхности и в объеме керамики.

Выявлено, что прочности на сжатие и изгиб керамики практически линейно понижаются с увеличением содержания полимерных отходов (рис. 2).

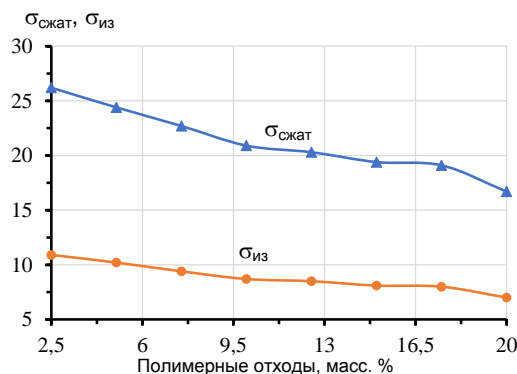


Рис. 2. Зависимость прочности разрабатываемой керамики от количества полимерных отходов

Такой характер зависимости прочности керамики связан с тем, что в результате образования пор при выгорании НПВХ уменьшается площадь контакта между кристаллической и стекловидной фазами по всему объему материала. В результате каркас из частиц керамики, связанных через слои стекловидной фазы, нарушается. Более значительное снижение прочностных характеристик материала происходит при повышении количества отходов НПВХ с 2,5 до 10 масс. %, что может быть связано с наиболее интенсивным нарушением целостности каркаса из частиц керамики.

Как видно из представленных данных, водопоглощение керамики практически линейно повышается с увеличением количества отходов НПВХ в составе шихты, что, в свою очередь, приводит к такому же линейному снижению морозостойкости (см. рис. 3). Такая зависимость объясняется повышением пористости материала, в том числе увеличением доли открытых пор в результате образования развитой пористой структуры.

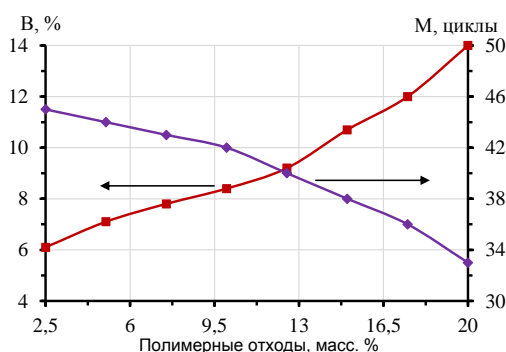


Рис. 3. Зависимость водопоглощения и морозостойкости разрабатываемой керамики от количества полимерных отходов

На рис. 4 показана зависимость плотности и теплопроводности разрабатываемой керамики от количества отходов НПВХ: и плотность, и теплопроводность интенсивно снижаются с увеличением количества вводимых в состав шихты отходов НПВХ. Это объясняется образованием пористой структуры материала, которая снижает его массу и теплопроводность.

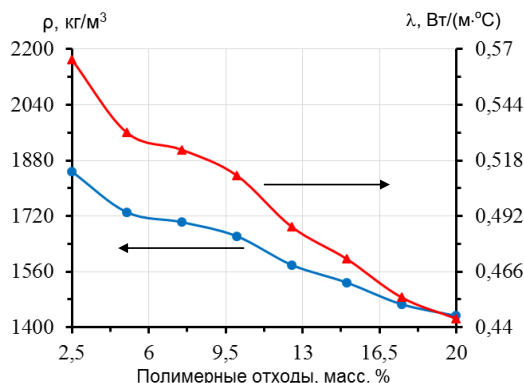


Рис. 4. Зависимость плотности и теплопроводности разрабатываемой керамики от количества полимерных отходов

Поскольку одной из целей данной работы являлось достижение энергоэффективности керамики, которая в соответствии с ГОСТ 530-2012 достигается при теплопроводности не выше 0,46 Вт/(м·°C), было принято решение вводить в состав шихты 17,5 масс. % отходов НПВХ. Это количество добавки позволяет получить значение $\lambda = 0,454$ Вт/(м·°C) и отнести получаемые изделия к условно-эффективным. Дальнейшее повышение количества НПВХ в составе шихты нерационально, так как при увеличении данной добавки существенно снижаются основные эксплуатационные свойства разрабатываемой керамики.

Заключение

Получен состав шихты на основе малопластичной глины, дополнительно включающий 2,5 масс. % борной кислоты, 12,5 масс. % стеклобоя и 17,5 масс. % полимерных отходов. Состав шихты позволяет получить керамический материал, который по ГОСТ 530-2012 может быть отнесен к условно-эффективным ($\lambda < 0,46$ Вт/(м·°C)). По значениям прочности на сжатие и изгиб (19,1 и 8 МПа соответственно) полученная керамика сравнима с лицевыми кирпичами и камнями марки М175, а по морозостойкости соответствует марке F35, которая допускается при производстве лицевых изделий.

Таким образом, разработанный состав шихты обеспечивает совместную переработку стекольных и полимерных отходов в качестве функциональных добавок при производстве облицовочной керамики достаточно высокого качества, что, с одной стороны, снижает темпы и объемы накопления данных отходов, а с другой — расширяет ассортимент строительных материалов и изделий, а также сырьевую базу для их производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виткалова И. А., Торлова А. С., Пикалов Е. С., Селиванов О. Г. Применение полимерных и стекольных отходов для получения самоглазующейся облицовочной керамики // Экология и промышленность России. 2019. № 11. С. 38—42.
2. Чумаченко Н. Г., Коренькова Е. А. Промышленные отходы — перспективное сырье для производства строительных материалов // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 3. С. 20—24.
3. Пугин К. Г., Пугина В. К. Особенности использования ресурсного потенциала отходов производства для получения строительных конструкций и материалов // Фундаментальные исследования. 2016. № 9—2. С. 289—293.
4. Перовская К. А., Петрина Д. Е., Пикалов Е. С., Селиванов О. Г. Применение полимерных отходов для повышения энергоэффективности стеновой керамики // Экология промышленного производства. 2019. № 1. С. 7—11.
5. Снежков В. В., Речиц Г. В. Полимерные отходы — в готовые изделия // Твердые бытовые отходы. 2011. № 1. С. 16—19.
6. Базунова М. В., Прочухан Ю. А. Способы утилизации отходов полимеров // Вестник Башкирского университета. 2008. Т. 13. № 4. С. 875—885.
7. Торлова А. С., Виткалова И. А., Пикалов Е. С., Селиванов О. Г. Утилизация керамических и полимерных отходов в производстве облицовочных композиционных материалов // Экология и промышленность России. 2019. № 7. С. 36—41.
8. Шахова В. Н., Виткалова И. А., Торлова А. С., Пикалов Е. С., Селиванов О. Г. Получение облицовочной керамики с использованием несортированного боя тарных стекол // Экология и промышленность России. 2019. № 2. С. 36—41.
9. Торлова А. С., Виткалова И. А., Пикалов Е. С., Селиванов О. Г. Разработка энергоэффективной облицовочной керамики на основе местного сырья и стекольного боя // Экология промышленного производства. 2019. № 3. С. 22—26.
10. Павлушкина Т. К., Кисиленко Н. Г. Использование стекольного боя в производстве строительных материалов // Стекло и керамика. 2011. № 5. С. 27—34.
11. Шахова В. Н., Березовская А. В., Пикалов Е. С., Селиванов О. Г., Сысоев Э. П. Разработка облицовочного керамического материала с эффектом самоглазурования на основе малопластичной глины // Стекло и керамика. 2019. № 1. С. 13—18.
12. Солдатенко Н. А., Васюков В. В., Халтурин В. Г. Термическая утилизация полимерных отходов, содержащих поливинилхлорид // Экология и промышленность России. 2009. № 10. С. 16.

Recycling of polymer waste in the production of facing ceramics obtained using cullet

I. A. VITKALOVA, A. S. UVAROVA, E. S. PIKALOV, O. G. SELIVANOV
Vladimir State University named after A. G. and N. G. Stoletovs, Vladimir, Russia

This article presents the results of the development of ceramic facing material obtained on the basis of low-plastic clay with the addition of boric acid and broken of window glass for liquid-phase sintering and the effect of self-glazing of the surface with the additional introduction of polymer waste, in particular waste consumption of products made of non-plasticized PVC, as a burnout additive. Presents results of a research of the dependence of main characteristics of obtained ceramics from the amount of polymer waste in the charge with the introduction of boric acid and cullet, in quantities ensuring maximum strength and frost resistance. The amount of polymer waste is determined, which allows to obtain a material that meets the requirements for facing ceramic products and belongs to the conditionally efficient of thermal characteristics. The use of the resulting composition of the charge makes it possible to jointly dispose of polymer and glass waste, while expanding the raw material base and range for the production of facing ceramics.

Keywords: polymer waste, cullet, facing ceramic, self-glazing, low-plastic clay, energy efficiency.

Bibliography — 12 references.

Received 20 December, 2019

УДК 628.4.03

Новые способы экологической кооперации промышленных объектов в регионах на примере технических возможностей цементных заводов

К. Ю. ЧИСТЯКОВ, канд. архитектуры

Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва, Россия

Рассмотрены способы утилизации бытовых и производственных отходов, отмечено влияние экологического фактора на формирование объектов цементной промышленности, межотраслевые взаимосвязи и региональную кооперацию предприятий. Приведены схемы генеральных планов новейших цементных заводов, где отмечены места наиболее предпочтительной дислокации блоков твердых бытовых отходов (блоков альтернативного топлива), а также блоков добавок и присадок, получаемых из отходов других производств.

Ключевые слова: полигоны утилизации, мусоросжигательные и мусороперерабатывающие заводы, цементные заводы, экологический эффект, генеральные планы цементных заводов, блоки твердых бытовых отходов, блоки добавок и присадок.

Утилизация бытовых и производственных отходов — важная экологическая и экономическая проблема. К примеру, в среднем по России приходится более 400 кг мусора на человека в год (всего порядка 70 млн т/г.) [1]. В ином измерении это 130 млн м³ твердых отходов, около 90 % из которых складывается на полигонах и свалках. Около 8 % из них перерабатывается. Такие же проблемы отмечены и в большинстве стран мирового сообщества.

Самым традиционным способом утилизации мусора является полигонное или карьерное складирование, определенная доля которого производится легально, с государственным лицензированием этой деятельности, с выполнением ряда обязательных технологических операций, с постоянным мониторингом ситуации (заранее просчитанные объемы и высота отвалов, пробы воздуха, замеры загрязнения грунтовых вод, устройства систем дренажа и технических слоев отделения от грунта, системы отвода и сбора газов, обработка спецвеществами и т. д.). Санкционированное карьерное складирование на полигонах может быть как открытого, так и закрытого типа (внутри грунта). Известны случаи искусственного внедрения в водную среду в целях освоения новых территорий (Нидерланды, Дания, Япония, Сингапур (остров Семаку), ОАЭ (острова Пальм)). После закрытия санкционированных свалок проводят масштабные работы по их рекультивации, предусматривающие целый комплекс затратных мероприятий.

Необходимо признать, что в мире существует значительное количество нелегальных мусорных

карьеров, особенно в странах с недостаточно развитой правовой базой, с невысокой эффективностью государственного регулирования.

Нелегальные карьеры являются "бомбами замедленного действия", так как экологические проблемы, связанные с ними, со временем только увеличиваются и вовсе не гасятся сами собой. Внутри мусорного отвала проходят процессы разложения, в которых участвуют анаэробные бактерии. В результате образуется токсичный биогаз. Одним из его компонентов является метан.

Неожиданные возгорания скопившихся газов — довольно частое явление на свалках, а тушение очагов возгорания — дорогостоящее и чрезвычайно опасное мероприятие, так как возможны провалы людей и техники в образующиеся пустоты. Пластиковые отходы на свалках разлагаются медленно, вступая в сложные химические реакции с другими фракциями мусора, образуя чрезвычайно токсичные соединения, возгорание которых губительно для атмосферы. Ядовитый дым отравляет все живое на расстоянии в несколько десятков километров. Кроме того, грунтовые воды, находящиеся под такими свалками, также отравляются ядами, ближайшие водоемы становятся ядовитыми и опасными для жизни. Если рядом находятся проточные воды, то ареал поражения многократно увеличивается. Сами грунты под такими свалками непригодны для использования в течение нескольких сотен лет [2].

В Подмоскovie из 39 полигонов твердых бытовых отходов (ТБО), действовавших на протяжении десятков лет, с устаревшими технологиями, без учета современных экологических требований, закрыто 28 (данные за декабрь 2019 г.) [3].

В целом надо отметить, что как нелегальные, так и официально разрешенные свалки — сама идея прикопать или закопать мусор где-нибудь в земле — остаются ущербными с точки зрения экологической науки, никак не вписываются в концепцию устойчиво-

Чистяков Константин Юрьевич, профессор кафедры "Архитектура промышленных зданий".
E-mail: const2513@mail.ru

Статья поступила в редакцию 24 января 2020 г.

© Чистяков К. Ю., 2020

го развития, связанную с изменением курса преобразования всего мирового сообщества. Стремительно ухудшающаяся экологическая ситуация может привести к прогнозируемой на основе анализа динамики ее развития глобальной катастрофе, которая разразится уже в XXI в. и приведет к гибели всего живого на планете, если не предпринимать решительных мер. Как отмечалось на конференции ООН по окружающей среде и развитию (ЮНСЕД), состоявшейся в 1992 г. в Рио-де-Жанейро, среди основных проблем экологического характера, свойственных планете Земля, находятся проблемы удаления (уничтожения) отходов, загрязнения воздуха, деградации почв и экосистем, загрязнения вод, химического загрязнения, нарушения биогеохимических циклов [4].

Еще одной мировой проблемой является загрязнение вод ядами и мусором. Это, например, явления, связанные с Великим тихоокеанским мусорным пятном (Great Pacific Garbage Patch), которое составляет около 2200 км в длину и 800 км в ширину, что в три раза больше территорий Испании и Португалии, вместе взятых. Высота слоя в среднем около 10 м. По последним, в том числе натурным (визуальным) исследованиям экологов, это пятно состоит в основном из довольно мелких частиц пластика, хотя встречаются и крупные фрагменты, а также резиновые шины.

Причина этого явления проста: практически до середины XX в. человечество использовало речные, морские и океанские воды как безразмерный резервуар для слива и утилизации отходов. Однако постепенно приходит научное понимание проблемы с экологическим подходом. Вместе с тем и за последние 40 лет количество пластиковых обломков только значительно увеличилось. Если Великое мусорное пятно представляет собой лишь плавающие фракции мировых отходов, то можно представить, что происходит на дне рек, озер, морей и океанов планеты, равно как и в самой толще вод. По мнению экологов, Великое тихоокеанское пятно прежде всего приводит к глобальной разбалансировке экосистемы, так как значительные количества пластиковых частиц находят в желудках рыб, птиц, черепах. Степень воздействия на них такого продукта до конца не изучена. В то же время насекомые водомерки, уسونгие раки, некоторые беспозвоночные процветают и бесконечно размножаются в такой среде, все более вторгаясь в другие экосистемы и причиняя им невосполнимый ущерб [5]. Всего в акватории Мирового океана отмечено пять гигантских мусорных пятен.

С 2019 г. в большинстве регионов Российской Федерации вступила в силу программа "Мусорная реформа". Она предполагает целый ряд взаимосвязанных мероприятий.

Это, во-первых, возможность выбирать единых и крупных региональных экологических операторов, комплексно занимающихся сбором, перевозкой и утилизацией мусора, а значит, и все претензии по некачественной работе в этой сфере могут отсылаться по единому адресу.

Во-вторых, делается ставка на мусороперерабатывающие (сортировочные) производства. Так, к 2024 г. должно быть построено около 200 таких объектов по всей территории России. К этому же време-

ни доля переработки отходов по стране должна составить 60 %.

В-третьих, это направленность на отдельный сбор мусора населением. По данным Минприроды, "Мусорная реформа" потребует 300 млрд руб. инвестиций, причем около 15 % должен составить эко-сбор с населения.

Программа "Мусорная реформа" является составной частью более глобального национального проекта "Экология", включающего всестороннюю разработку таких разделов, как "Отходы", "Вода", "Воздух", "Биоразнообразие", "Технологии". В целом это означает введение новых экологических стандартов. Национальный проект "Экология" развивается так стремительно, причем в положительную сторону, что иногда трудно оценить его динамику.

В то же время возникает ряд не совсем ясных вопросов в связи с внедрением "Мусорной реформы". Централизация, укрупнение региональных операторов приводят к тому, что малые города и населенные пункты оказываются на удалении от мусороперерабатывающих предприятий и официально признанных полигонов, что неизбежно связано с ростом расходов на транспортировку. Это, в свою очередь, может привести к росту тарифов для населения.

Не совсем понятно, как организовать отдельный сбор мусора на местах. Надо признать, что планировки квартир в наших многоэтажных многоквартирных домах никак не приспособлены для хранения 5—7 и даже 3—4 контейнеров (емкостей, пакетов) для отдельного сбора мусора. Еще более непонятно, как организовать отдельный сбор для домов, оборудованных мусоропроводами. В связи с этим представляется совершенно правильным подход, при котором контейнеры для различных компонентов на специально выделенных площадках соседствуют с традиционными контейнерами для сбора смешанного мусора.

Есть еще одна проблема, которая носит, по мнению автора, глобальный характер. По современным данным, не бытовые, а производственные отходы являются доминирующими в загрязнении планеты [6].

Весьма распространенным способом борьбы с мусором является территориально-сетевая производственная система, состоящая из мусороперерабатывающих и мусоросжигательных заводов, а также предприятий смешанного типа.

Мусоросжигательные заводы, широко распространенные в мире, не являются мусоросжигательными с научной точки зрения. Они служат частью мусороперерабатывающих производств. Тем самым сеть мусоросжигательных заводов теоретически, а все чаще и практически, внедряется в систему производств с безотходными технологиями. Подобные объекты не рассматривают как системы, превращающие мусор только лишь в золу, шлаки и выбросы в атмосферу. Это системы-преобразователи бытового и производственного мусора в тепловую и электрическую энергию, в присадки и наполнители для других производств, в продукты готовые (или полуфабрикаты) и необходимые для других технологий (например, для устройства асфальтовых и асфальтобетонных

слоев автодорог). Что же касается практического использования получаемой при этом тепловой и электрической энергии, то его трудно описать даже в работе, многократно превышающей по объему данную.

Таким образом, можно прийти к выводу: развитие технологий достигло такого уровня, что производственный и бытовой мусор больше не является просто проблемой дорогостоящей утилизации, теперь это сырье и топливо, которые имеют свою рыночную стоимость.

Есть еще один, весьма существенный признак мусоросжигательных (как части мусороперерабатывающих) производств, характерный для наиболее развитых стран. Для сжигания на них используют не весь мусор, который удалось собрать, а лишь его особо отобранные фракции, предназначенные специально для этих целей. Мусор для сжигания проходит этап обязательной предварительной сортировки. Это позволяет исключить образование особо вредных химических веществ и соединений в получаемых золах, шлаках и газозвоздушных смесях, что существенно улучшает экологическую ситуацию и позволяет применять более простые и дешевые агрегаты газо- и пылеочистки.

Весь процесс переработки отходов в мире должен начинаться со стадии сортировки. Затем отобранные фракции необходимо отправлять либо на специализированные мусороперерабатывающие предприятия, либо на мусоросжигательные заводы, которые, по сути, являются частью мусороперерабатывающих предприятий. При отношении к таким производствам как к безотходным на выходе должны получать продукты (полуфабрикаты), востребованные в других технологических цепочках и имеющие свою цену.

Для успешного функционирования мусороперерабатывающих предприятий и предприятий смешанного типа общество должно обладать определенным уровнем социальной сознательности и технологического развития, что свойственно наиболее развитым странам. Как уже отмечалось, на уровне бытового мусора эта проблема сводится к раздельному сбору ТБО у каждого дома, в каждом дворе, на придворовых площадках, а также к созданию небольших и средних по мощности цехов сортировки ТБО, причем количество различных по природе компонентов мусора может достигать 5—7. В некоторых городах Японии количество собираемых населением фракций мусора достигает до 10—15.

Лидерами по организации раздельного сбора, равно как и по мусоропереработке, можно назвать, например, Скандинавские страны, Германию, Японию.

За последние 10 лет и в России построены значительные мусороперерабатывающие заводы, например, Новокузнецкий, Курский, Оренбургский, Красноярский [1], а также строятся 3—4 комплекса в Подмоскowie.

В связи с обозначенными проблемами обращают на себя внимание предприятия по производству цемента.

Цементная отрасль имеет одно из ключевых значений для экономического развития стран, для получения основных видов материалов в жилищном и

промышленном строительстве, для объектов инфраструктуры и гидротехнических сооружений. Этот материал также незаменим в нефтедобывающей, газодобывающей, асбестоцементной и других отраслях. Темпы роста цементной промышленности в 1,5—2 раза выше темпов роста мирового валового внутреннего продукта (ВВП), объем производства цемента в мире составляет около 3 млрд т/г. Все более возрастает удельный вес развивающихся стран в производстве этого продукта (Китай, Индия, страны Юго-Восточной Азии и Африки), которые, в отличие от развитых стран, еще не имеют устойчивой сетевой структуры цементных производств. Все сказанное свидетельствует о повсеместном, глобальном распространении таких предприятий.

Интересен факт, что **новейшие технологии цементных заводов позволяют использовать как бытовой, так и производственный мусор (отходы) путем его сжигания, причем не только в качестве топлива на стадии обжига клинкера, но и в качестве добавок при приготовлении шихты, клинкера и самой цементной смеси.**

Здесь мы сталкиваемся с необходимостью осознания еще одного современного принципа концепции устойчивого развития, который с успехом реализуется на практике в странах, владеющих передовыми промышленными технологиями. Это принцип *Co-incineration*, т. е. совместного использования [7].

В частности, данный принцип подразумевает сжигание мусора в таких установках, которые не являются традиционными печами для его сжигания, но чьи характеристики дают возможность утилизации. Здесь имеются в виду вращающиеся печи цементных заводов, предназначенные для обжига клинкера, причем печи на заводах как сухого, так и полусухого и мокрого способов получения цемента. Напомним, что такие агрегаты состоят из собственно печи (горизонтального вращающегося цилиндра значительной длины (60—120 м)), узла подачи материалов в печь, устройства сжигания топлива, тягодутьевого оборудования с вентиляторами, компрессорной, трансформаторной, электрофильтров для очистки отходящих газов и дымовой трубы. В контексте интересны прежде всего устройства сжигания и печь, которые должны быть запроектированы с учетом возможности использования альтернативного топлива.

Основные виды топлива для цементных заводов в нашей стране — это газ, мазут и уголь. Однако, как показывает зарубежная практика, в таких установках могут сжигаться и отходы бумажного производства, картон, древесина (в частности, утильные шпалы), ткани, пена полистирола, пластики, а также резиновые шины, бытовой мусор, отработанные моторные масла, растворители, клеи, лаки, браки красок, отходы переработки нефти и газа, шлам от чистки резервуаров и трубопроводов, остатки дистилляции, осадки сточных вод, сельскохозяйственные отходы, органические отходы, в том числе из мяса, костной муки, животных жиров [8].

Порядка 85 % предприятий, производящих цемент в Европе и Америке, в той или иной степени используют вторсырье. Продвижение в этом смысле зашло так далеко, что в Норвегии, Швейцарии, Японии агре-

газы цементных печей уже долгие годы используют как основные при сжигании многих компонентов бытового и производственного мусора. Там же, где существуют альтернативные структуры утилизации, их применяют как дополнения к имеющимся возможностям.

Специалисты России утверждают, что сжигание утильного материала на цементных производствах гораздо более экологично, чем на мусоросжигательных заводах. Действительно, на цементном заводе температура рабочей зоны доходит до уровня 1500—2000 °С. Это позволяет обеспечить разложение наиболее вредных веществ, например диоксинов. Продукты разложения находятся в данной зоне длительное время. Разложение веществ происходит практически до атомарного уровня. Затем осуществляется их рекомбинация в неагрессивные соединения. Указанные условия недостижимы на мусоросжигательных заводах [9].

К таким же выводам приходят и зарубежные ученые. По данным французского Агентства по управлению окружающей средой и энергетическим ресурсам (ADEME), использование промышленных и бытовых отходов в качестве топлива не нарушает экологию, не увеличивает количество пыли, образуемой в ходе производства цемента. Исследования Агентства показали, что сжигание нефтеотходов и шлама чистки резервуаров и трубопроводов безопасно, подтверждается их полный распад. Тестами ADEME также установлено, что разрушение органических молекул и накопление (сбор) загрязнителей путем фильтрации на цементных заводах дают превосходные результаты и оптимально уменьшают выбросы вредных веществ в атмосферу по сравнению с другими способами утилизации [7].

Вместе с тем на цементных предприятиях все больше развиваются системы аспирации, т. е. в каждом месте перегрузки материалов с агрегата на агрегат устанавливают мощные системы отсоса газопылевой смеси с помощью вентиляторов с последующим ее пропуском через эффективные электрофильтры, рукавные фильтры, системы циклонов, после чего она удаляется в атмосферу с помощью труб. Чем более продумана и развита система очистных агрегатов с внедрением новейших разработок, тем выше экологическая безопасность таких производств.

Об эффективности систем очистки воздуха на цементных предприятиях можно судить по данным, приведенным в таблице [10].

В целом по нормативам степень пылеудаления отходящих газов на цементных производствах составляет не более 50 мг/м³ вредных веществ на 1 м³ выброса.

Производство цемента не оставляет ни твердых, ни жидких отходов. Тем самым оно способно замкнуть особую, верхнюю нишу в кооперации производств.

Необходимо отметить, что экологическими проблемами цементных заводов, особенно давно действующих, являются следующие:

- значительное потребление энергии;
- выбросы в атмосферу (прежде всего, оксида углерода CO + CO₂, оксида азота NO + NO₂, оксида серы SO₂);
- загрязнение грунтовых вод (поверхностные сточные воды не дают существенных загрязнений).

Однако производство цемента в 13 раз менее энергоемко, чем стекла, в 20 — чем стали, в 63 — чем алюминия [8].

По поводу выбросов в атмосферу можно сослаться на приведенный текст и таблицу, а также на исследования ADEME, которые показали, что заводы этой отрасли имеют чрезвычайно эффективные системы борьбы с загрязнениями, тем самым не оказывая негативного воздействия на окружающую среду и людей.

Существуют три задачи, решение которых актуально для предприятий данной отрасли:

- повсеместная и своевременная модернизация, постепенный вывод из строя морально и физически устаревших производств, строительство новых;
- существенные вложения (до 1/3—1/2) всех капвложений) в очистные агрегаты и сооружения на стадиях проектирования и строительства;
- тщательное соблюдение технологических цепей производства и постоянный мониторинг ситуации на действующих объектах.

Согласно международным нормам существует лишь небольшой список отходов, которые запрещены к сжиганию как на цементных, так и на обычных мусоросжигательных заводах. Это прежде всего радиоактивные и взрывчатые вещества, а также ядовитые и химически опасные вещества, газы, в том числе сжиженные, ртутьсодержащие предметы и отходы с большим содержанием хлора, отходы медицинской промышленности. Для их утилизации сооружаются специальные печи и сооружения-могильники, применяются особые технологии при их устройстве.

Эффективность систем очистки воздуха от газо- и пылевоздушных смесей

Тип пылеуловителя	Степень обеспыливания, %	Область применения
Пылеосадительные камеры	3—15	Сушильные барабаны; мельницы сухого помола
Циклоны	80—95	Сушильные барабаны; мельницы сухого помола; вращающиеся печи с циклонными теплообменниками
Электрофильтры	85—99	Мельницы; вращающиеся печи; колосниковые холодильники
Рукавные фильтры с рукавами из натуральных и синтетических волокон	97—99,9	Мельницы; вращающиеся печи; колосниковые холодильники
Рукавные фильтры с рукавами из стекловолокна	97—99,9	Мельницы; силосы

Таким образом, перед сжиганием ТБО на цементных заводах они должны пройти те же стадии сортировки, измельчения и просушки, иногда гранулирования, что и при сжигании на мусорных заводах. Проще говоря, к сжиганию пригодно специально подготовленное "альтернативное топливо", что очень важно понимать при разработке экономической и технологической схем подобных производств [8].

Сортировочные предприятия являются первым необходимым звеном при современных подходах к утилизации мусора. Можно предположить, что технологии сортировки будут становиться все более автоматизированными, освобождая от этой рутинной и неприятной работы людей. Проще вопрос решается с производственным мусором, так как характер, виды и фракции такого мусора заранее предсказуемы, а его объемы колоссальны.

Как представляется автору, сортировочные блоки нецелесообразно располагать в составе цементных предприятий. В зависимости от региона, от степени взаимосвязи с предприятиями других отраслей цементные заводы должны быть подготовлены к использованию тех или иных видов альтернативного топлива, а также определенных составов добавок и присадок в шихту и клинкер. Кроме того, необходимо обеспечить их стабильное и многолетнее поступление на производство. По этой схеме действуют, например, в странах Западной Европы.

На цементных заводах целесообразно устройство блока хранения и подготовки альтернативного топлива, заранее отсортированного в других местах (блока ТБО).

Первые сооружения такого рода возводят и на новых заводах в России. Так, на Калужском цементном заводе уже вводят в строй блок ТБО, способный покрыть 85 % потребности в топливе для всего производства. Подобный блок строят в Туле на заводе Heidelberg. ОАО "Мордовцемент" достигло значительного замещения традиционного топлива альтернативным. Включением блоков ТБО в состав своих предприятий занимаются ОАО "Холсим", Коломна и группа "Лафарж", Воскресенск [8]. Как отмечают отечественные специалисты, **ни для строительства, ни для реконструкции сейчас даже не рассматривают заводы, которые не оснащены блоками хранения и подготовки альтернативного топлива.**

При максимальном использовании энергии от сжигания отходов и постепенном снижении потребности в традиционных топливных ресурсах в виде газа, мазута и угля цементные производства все более вписываются в концепцию устойчивого развития, которая подразумевает оптимальное использование ограниченных ресурсов и использование экологичных природо-, энерго-, материалосберегающих технологий, включая добычу и переработку сырья, создание экологически приемлемой продукции, минимизацию, переработку и уничтожение отходов [11].

Нельзя забывать о такой важной части кооперации цементных заводов с предприятиями других отраслей, как линии поставок наполнителей, присадок и добавок для клинкера и шихты. Это доменные шлаки металлургической промышленности, золы и шлаки тепловых электростанций, шламы глиноземного производства, снятые слои асфальтовых покрытий, строительный мусор и бой. Можно задуматься об объемах таких отходов в масштабах России. Это отходы, которые в условиях цементных производств становятся полуфабрикатами. Они, в отличие от основных исходных компонентов производства (мергеля, известковых туфов, глин, суглинков, лесса), доставляются на территории заводов только железнодорожным и автотранспортом (основные компоненты все чаще доставляют конвейерным транспортом, так как цементные заводы дислоцируются вблизи сырьевых карьеров). В любом случае отходы других производств должны пройти стадию дробления, так же как и основные исходные компоненты. В зависимости от назначения отходы-полуфабрикаты поступают либо в усреднительные склады сырья, смешиваясь там с основным сырьем (добавки в шихту), либо в специальные склады добавок (добавки в клинкер и цемент), располагаемые на подсобно-складской панели в генеральных планах предприятий, часто проектируемой параллельно с главной линией производства.

Усреднительные склады устраивают, как правило, круглыми, с купольным или шатровым покрытием. Их строят на цементных предприятиях вне зависимости от того, добавляют или нет отходы других производств в шихту. Склады добавок, вмещающие в себя отходы других производств, должны проектироваться как отдельные сооружения или сооружения, блокируемые с другими складами добавок (с общей разделительной стеной). Как и большинство существующих усреднительных складов, они могут быть однопролетными сооружениями шириной 12—36 м, оснащенными мостовым грейферным краном. Они должны оборудоваться также эстакадными и бункерными приемными устройствами для разгрузки железнодорожного и автотранспорта, весовыми дозаторами.

Подробное изучение зонирования генеральных планов цементных заводов разной мощности на основе отечественного и зарубежного опыта строительства и проектирования позволило автору предложить варианты включения в них блоков складирования и обработки (измельчения, просушки) бытового и производственного мусора — блоков ТБО, отмеченных в схемах генпланов как блоки А, а также варианты включения блоков складирования и обработки (измельчения, просушки) наполнителей, добавок и присадок, получаемых из отходов других производств, отмеченных в схемах генпланов как блоки Б (см. рис. 1, 2).

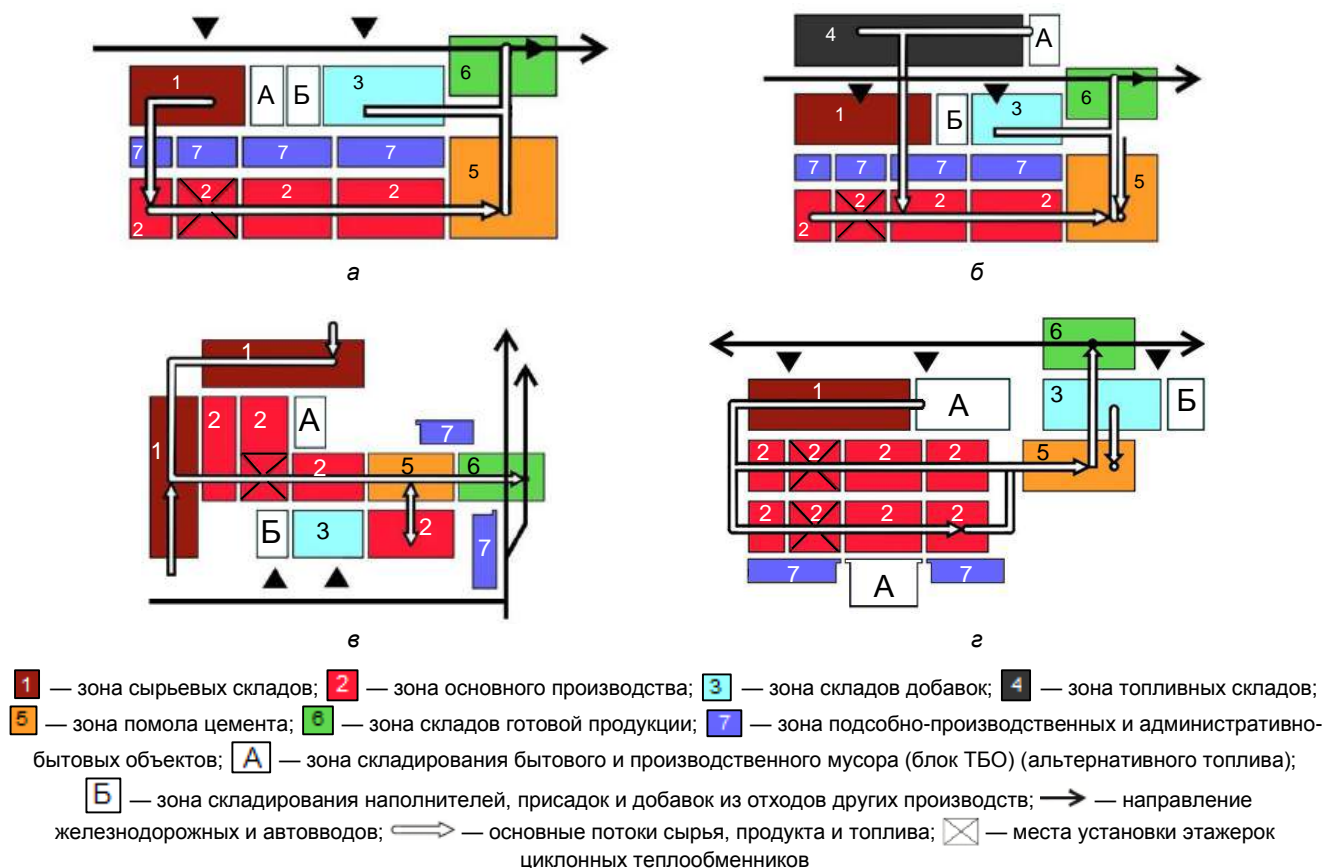


Рис. 1. Схемы генеральных планов цементных заводов малой и средней мощности:

а — однопанельная линейная компоновка генерального плана завода небольшой мощности при использовании в качестве топлива природного газа и альтернативных видов топлива; б — однопанельная линейная компоновка генерального плана завода небольшой мощности при использовании в качестве топлива мазута, угля и альтернативных видов топлива; в — однопанельная линейная компоновка генерального плана завода при использовании в качестве топлива природного газа и альтернативных видов топлива, запиткой складов сырья и добавок конвейерным транспортом; г — двухпанельная компоновка генерального плана завода при использовании в качестве топлива природного газа и альтернативных видов топлива

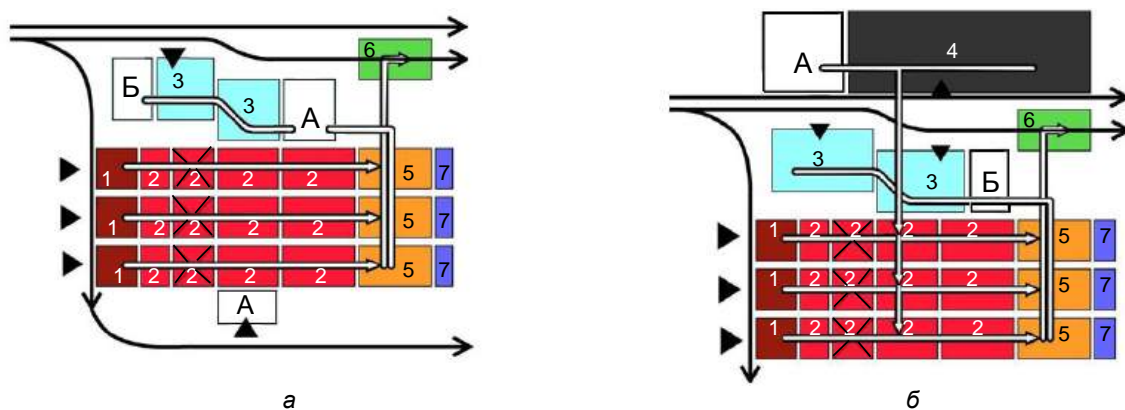


Рис. 2. Схемы генеральных планов цементных заводов большой мощности:

а — трехпанельная компоновка генерального плана завода мощностью 3—6 млн т. клинкера в год при использовании в качестве топлива природного газа; б — трехпанельная компоновка генерального плана завода мощностью 3—6 млн т. клинкера в год при использовании в качестве топлива мазута и угля (Обозначение см. рис. 1)

Данная информация является оригинальной и не встречалась ранее в изученной специальной литературе и других источниках (Интернет-ресурсах). Сама тема использования цементных заводов как альтернативного варианта уничтожения бытовых и производственных отходов, причем с экономическим и экологическим эффектами, достаточно нова для условий Российской Федерации.

Взгляд на цементные заводы как на экологически чистые производства позволяет по-новому рассматривать и градостроительный аспект проблемы, поскольку промышленные объекты подобного рода могут быть приближены к жилым территориям, тем более что специалисты в разное время уже отмечали малую эффективность проектирования санитарно-защитных зон на современном этапе [12, 13]. Воз-

возможность размещения цементных заводов вблизи селитебных территорий — это еще один, забытый на практике способ устройства градостроительных доминант, необычных по силуэту и особой технической эстетике. Уместно вспомнить, что исторически промышленные объекты умело вписывали в среду городов. Особенно это удавалось в XIX в. Однако и XX в. не лишен своих показательных примеров (как, например, во времена конструктивизма). На качественно новом уровне развития технологий и экологических стандартов нельзя выбрасывать производственные объекты в территориальные резервации, надо развивать и осмысливать их архитектурные достоинства.

В целом цементные заводы, сеть которых на территории России должна быть равномерной, — это еще один перспективный и пока мало освоенный резерв утилизации бытовых и производственных отходов. Возможности научных и проектных разработок в данном направлении не ограничены.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самые крупные мусороперерабатывающие заводы России [Электронный ресурс]. Режим доступа: theecology.ru/interesting/musoroprerabatyvajushhie-zavody-rossii
2. Мусорные свалки — острая экологическая проблема [Электронный ресурс]. Режим доступа: demontash.su/novosti/musornye-svalki-ostraya-ecologicheskaya-problema
3. Мусорные полигоны в Подмоскovie будут закрыты к концу 2020 года [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://govoritmoskva.ru>
4. "Рио +20": новый импульс для перехода к устойчивому развитию? [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.ecoaccord.org. Rio 20 general.pdf
5. Мусорное пятно в Тихом океане: где ложь, а где истина [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ocean-media.su/20.06.2016/A.Широков>
6. Промышленное загрязнение окружающей среды [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.polnaja-jenciklopedija.ru/planeta-zemlya
7. Утилизация промышленных отходов на цементных заводах [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.rucem.ru/yabbfiles/Elimination of Industrial Residues in Cement Plants](http://www.rucem.ru/yabbfiles/Elimination%20of%20Industrial%20Residues%20in%20Cement%20Plants)
8. Перспективы утилизации бытовых отходов в цементной промышленности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://greenologia.ru/utilizaciya-i-pererabotka/cement>
9. Об отходах, цементе и не только // Твердые бытовые отходы. 2014. № 6. https://ekocom.ru/services/detail.php?IBLOCK_ID=29&ELEMENT_ID=2193
10. Зозуля П. В., Никифоров Ю. Н. Проектирование цементных заводов: учеб. пособие. — М.: Синтез, 1995. — 191 с. <http://www.pbeton.ru/69>
11. Концепция устойчивого развития [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.openlearning.ru/ustojchivoe-razvitiye-rossii/Kontseptsiya-ustojchivogo-razvitiya>
12. Мыслин В. А., Пирогов Ю. М. Размещение промышленных предприятий // Строительное проектирование промышленных предприятий // Реф. жур. Сер. III. 1970. № 2.
13. Красильников В. А. Принципы архитектурного формирования промышленных предприятий с учетом современных экологических требований: дис. — М., 1989. С. 174.

The new methods in ecological cooperation between industrial objects in regions thanks to technical opportunities in cement plants

K. Yu. CHISTYAKOV

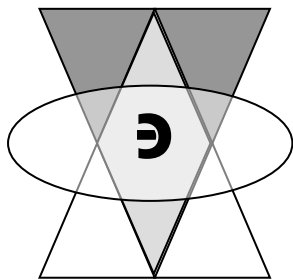
Moscow Institute of Architecture (State Academy), Moscow, Russia

The article considers modern methods of utilization of household and industrial wastes, the influence of the environmental factor on the formation objects of the cement industry, intersectoral relationships and regional cooperation of enterprises. Schemes of modern cement plant master plans are presented, locations of the most preferable dislocation of solid household waste units (alternative fuel blocks), as well as blocks of additives and additives derived from waste from other industries are noted.

Keywords: utilization polygons, incinerations and wasters plants, cement plants, ecological effect, cement plant master plans, solid household waste units, blocks of additives and additives derived from waste.

Bibliography — 13 references.

Received January 24, 2020



Экологический контроль, прогнозирование

УДК 504.064

Методика оценки экологической ситуации загрязненных территорий

И. М. ЯННИКОВ, д-р техн. наук; М. В. ТЕЛЕГИНА, канд. техн. наук;
Н. П. КУЗНЕЦОВ, д-р техн. наук

Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова,
г. Ижевск, Россия

Рассмотрены вопросы программно-технического обеспечения мониторинга и прогнозирования экологических загрязнений, к которым относится и состояние существующих программных приложений, систем расчета последствий различных чрезвычайных ситуаций (ЧС), а также прогнозирования их развития. Отмечено, что одной из актуальнейших проблем оценки последствий и прогнозирования ЧС является оценка последствий загрязнения территорий промышленными потенциально опасными объектами, в том числе бывшими объектами по уничтожению химического оружия. Предлагается методика автоматизированной оценки остроты экологических ситуаций, позволяющая определить ареал распространения ситуации, оценить ситуацию в балльной системе и определить класс экологической ситуации. Представлены алгоритм расчета класса экологической ситуации и методика расчета, описан порядок проведения тестирования методики и его результаты. Данная методика отличается тем, что позволяет учесть не только состав элементов, определяющих класс экологической ситуации, но и коэффициент превышения предельно допустимой концентрации (ПДК) вещества и класс его опасности.

Ключевые слова: геоинформационная система (ГИС), загрязняющие вещества, экологическая ситуация, экологическое картографирование, атрибутивные данные, геокодирование, база правил, алгоритм расчета, тестирование.

После завершения процесса уничтожения химического оружия на территории Российской Федерации экологические проблемы у бывших объектов по уничтожению химического оружия (ОУХО) остались актуальными. К ним прежде всего относится организация мониторинга загрязнения территорий воздей-

ствия, где особенно важны оценка экологической ситуации и повышение эффективности мероприятий по реабилитации и санации территорий. Актуальность темы при этом обусловлена не только высокой токсичностью уничтоженных боевых отравляющих веществ и возможным наличием остатков загрязнений на соответствующих территориях, но и планированием размещения на производственной базе указанных объектов новых предприятий, в том числе по переработке твердых и жидких отходов первого и второго классов опасности. Это предопределяет дополнительное комплексное воздействие негативных факторов на окружающую среду.

Определение экологической ситуации включает в себя установление в пределах определенной территории перечня экологических проблем, соотнесение данного перечня с другими территориями и определение степени остроты проявления экологической

Янников Игорь Михайлович, доцент, профессор кафедры "Техносферная безопасность".

E-mail: imyannikov@mail.ru

Телегина Марианна Викторовна, доцент кафедры "Автоматизированные системы обработки информации и управления".

E-mail: mari_tel@mail.ru

Кузнецов Николай Павлович, профессор кафедры "Ракетная техника".

E-mail: tmitmm@istu.ru

Статья поступила в редакцию 12 декабря 2019 г.

© Янников И. М., Телегина М. В., Кузнецов Н. П., 2020

ситуации. Сам процесс определения экологической ситуации является трудоемким, затратным по времени, сложным и требует большого набора знаний эксперта по всем критериям оценки экологической ситуации.

Процесс мониторинга зон влияния является многокритериальной задачей. Для указанных зон характерно большое количество загрязняющих веществ (ЗВ), по которым необходимо вести наблюдение [1].

Существует немало систем автоматизированного экологического мониторинга потенциально опасных объектов, иных промышленных предприятий и зон их влияния [2—4]. В указанных системах данные поступают с датчиков контроля состояния окружающей среды, после чего оценивается превышение ПДК ЗВ в атмосферном воздухе, воздухе рабочих зон, содержание загрязнений в снежном покрове и почве. Оценка экологической ситуации производится автоматически путем определения превышения допустимых параметров и визуализации данных на карте и в табличном виде. Однако подобные системы при контроле и оценке ситуации не позволяют учесть уже имеющиеся на контролируемой территории экологические проблемы, например эрозию почвы, фоновую загрязненность территории и т. д. Кроме того, совокупность превышений допустимых концентраций загрязняющих веществ, как и степень проявления других экологических проблем при оценке экологической ситуации, в данных системах не учитывается.

Наличие пространственной распространенности экологических проблем требует применения средств геоинформационных систем (ГИС), которые делают возможными работу с экологическими картами и проведение анализа загрязненных территорий по определенному химическому элементу в автоматизированном режиме. Автоматизация процесса определения совокупности экологических проблем территории позволяет при наличии тщательно разработанной методики не допустить ошибок в вычислениях и визуализации расчетов.

Для решения проблемы количественной оценки остроты экологической ситуации используют метод экспертных балльных оценок [5]. Все показатели, в той или иной степени оказывающие влияние на формирование экологической ситуации, оценивают в баллах по шкале, состоящей, как правило, из трех-пяти градаций. Частные баллы суммируют, полученную сумму также разбивают на три-пять ступеней. На основании отнесения полученного интегрального

показателя к определенному интервалу дают оценку экологической ситуации. При всех имеющихся недостатках балльная система является приближением к количественным методам оценки и, в ряде случаев, является единственно возможным способом оценки и сравнения экологических ситуаций различных территорий.

Методика оценки остроты экологических ситуаций состоит из нескольких этапов. На начальном этапе оценки в зонах влияния потенциально опасных объектов собирают входную информацию:

- данные отчетов государственного экологического мониторинга, содержащие результаты наблюдений компонентов окружающей природной среды, координаты отбора проб и карты местности;
- документы, регламентирующие остроту экологической ситуации;
- документы, устанавливающие значения ПДК ЗВ.

На втором этапе оценки создают карты экологических ситуаций. На карту наносят точки с координатами мест пробоотбора, содержащие наименования загрязнителей и их фоновые значения. Для каждого загрязняющего вещества установлен критерий контроля ПДК. Атрибутивные данные проводимого мониторинга с помощью функции геокодирования наносят на карту.

Далее на основе геокодированных данных создают поверхность интерполяции с применением деления области всех имеющихся значений параметров загрязнителей на градации по значениям ПДК. В итоге получают область распространения ЗВ по степени опасности.

Данное действие выполняют для всех загрязняющих веществ и проблемных экологических ситуаций, которые необходимо воспроизвести на карте. Области пересекающихся полигонов объединяют в один слой с применением процедуры оверлея, образуя совокупность экологических проблем.

Для определения класса экологической ситуации необходимо описать ее в количественном виде как сумму количественных характеристик наборов загрязняющих веществ (соединений) и/или отдельных экологических проблем, присущих конкретной территории, на которой проводится мониторинг. Например, для совокупности экологических проблем, приводящих к снижению природно-ресурсного потенциала и активизации негативных природных процессов, оценку ситуации как "катастрофическая" дадут приведенные в таблице комбинации превышения ПДК загрязнителями почвы.

Возможные комбинации экологических ситуаций

Степень остроты	Комбинация
Катастрофическая	$\text{P}_{\text{Hg}}^4; \text{P}_{\text{Pb}}^4; \text{P}_{(\text{Pb} + \text{Hg})}^4; \text{P}_{\text{C}_{20}\text{H}_{12}}^4; \text{P}_{\text{As}}^4; \text{P}_{\text{F}}^4; \text{P}_{\text{Zn}}^4$ — любая комбинация трех и более факторов
	$\text{P}_{\text{бензин}}^4; \text{P}_{\text{C}_6\text{H}_6}^4; \text{P}_{\text{C}_8\text{H}_{10}}^4; \text{P}_{\text{ЖКО}}^4; \text{P}_{\text{КГУ}}^4; \text{P}_{\text{CH}_2\text{O}}^4; \text{P}_{\text{C}_2\text{H}_8}^4; \text{P}_{\text{C}_9\text{H}_{10}}^4; \text{P}_{\text{C}_9\text{H}_{12}}^4; \text{P}_{(\text{C}_9\text{H}_{12} + \text{C}_9\text{H}_{10})}^4; \text{P}_{\text{NO}_3}^4; \text{P}_{\text{ОФУ}}^4; \text{P}_{\text{суперфосфат}}^4; \text{P}_{\text{CH}_2\text{O}}^4; \text{P}_{\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2}^4; \text{P}_{\text{C}_2\text{H}_4\text{O}}^4; \text{P}_{\text{C}_6\text{H}_6}^4; \text{P}_{\text{B}}^4; \text{P}_{\text{Co}}^4; \text{P}_{\text{Cu}}^4; \text{P}_{\text{Mo}}^4; \text{P}_{\text{F}^{(+2)}}^4; \text{P}_{\text{Zn}}^4; \text{P}_{\text{F}}^4; \text{P}_{\text{Al}}^4; \text{P}_{\text{Fe}}^4; \text{P}_{\text{I}}^4; \text{P}_{\text{K}}^4; \text{P}_{\text{Ca}}^4; \text{P}_{\text{Si}}^4; \text{P}_{\text{Mg}}^4; \text{P}_{\text{Na}}^4; \text{P}_{\text{S}}^4; \text{P}_{\text{Sr}}^4; \text{P}_{\text{P}}^4$ — любая комбинация пяти и более факторов
	$\text{P}_{\text{Fe}}^3 \text{P}_{\text{Fe}}^2 \text{P}_{\text{S}}^3 \text{P}_{\text{S}}^2 \text{pH}^{-2} \text{Y}^3$
	$\text{Э}^3 \text{P}_{\text{Fe}}^3 \text{P}_{\text{Mg}}^3$
	$\text{Э}^3 + \text{P}_{\text{Hg}}^3; \text{P}_{\text{Pb}}^3; \text{P}_{(\text{Pb} + \text{Hg})}^3; \text{P}_{\text{C}_{20}\text{H}_{12}}^3; \text{P}_{\text{As}}^3; \text{P}_{\text{F}}^3; \text{P}_{\text{Zn}}^3$ — любая комбинация трех и более факторов

Примечание: П — превышение концентрации, цифра — количество ПДК; Э — эрозия почвы, цифра — степень ее проявления.

При определении класса экологической ситуации на третьем этапе оценки строят карту экологического состояния объекта, формируемую путем наложения нескольких различных карт экологических проблем по отдельным составляющим мониторинга. Создают новый слой, в котором совокупность экологических проблем обозначена как класс экологической ситуации в баллах. Для этого все сочетания показателей загрязняющих веществ суммируют с применением коэффициента, устанавливаемого нормативными документами для разных категорий земель и видов загрязняющих воздействий. Определение класса экологической ситуации производят следующим образом [6]:

1. Выявленные наборы характеристик для определенной территории сравнивают с экологическими ситуациями, уже имеющимися в базе правил. При появлении совпадений однозначно определяют экологическую ситуацию. Далее представлен фрагмент разработанной базы правил.

Входные данные — множество экологических проблем, приводящих к катастрофической степени остроты ситуации:

$$M_1 = \{Пн_9^4, \dots, Пzn^4\}; M_2 = \{\dots\}; \\ M_3 = \{\dots\}; \dots; M_{10} = \{\dots\}.$$

Выходные данные:

$\langle Sit_kat, Sit_kriz, Sit_krit, Sit_uu, Sit_konf, Sit_nap \rangle$.

Правила: $(F_{M_1} \vee F_{M_2} \vee \dots \vee F_{M_{10}}) \Rightarrow Sit_kat$, где Sit_kat — ситуация катастрофическая;

$F_{M_1} = C_7^{k_1}$, $k_1 \geq 3$, где C_n^k — количество сочетаний

из n по k , $C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}$;

$F_{M_2} = C_{17}^{k_2}$, $k_2 \geq 5$;

$F_{M_3} = ПFe^3 \wedge ПFe^2 \wedge Ps^3 \wedge Ps^2 \wedge ПpH^{-2} \wedge ПY^3$;

$F_{M_4} = ПY^3 \wedge ПFe^3 \wedge Пn_9^3$;

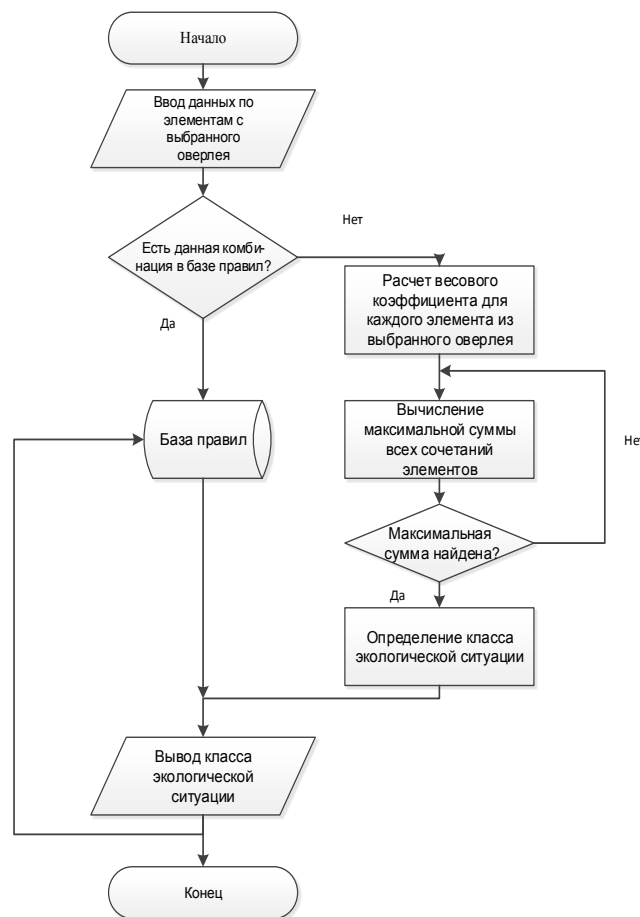
$F_{M_5} = C_7^{k_3}$, $k_3 \geq 3$;

$F_{M_6} = C_7^{k_4}$, $k_4 \geq 3$.

2. Если по набору характеристик в базе правил нет однозначно определенного класса экологической ситуации, то определение происходит по другой методике, которая позволяет определить класс экологической ситуации по набору характеристик (проблем) с учетом их типов и различной степени проявления. На рисунке представлен алгоритм расчета класса экологической ситуации.

Входными данными для определения класса экологической ситуации являются картографические полигональные объекты с атрибутами проявления экологических проблем на территории (концентраций загрязняющего вещества). Совокупность полиго-

нальных объектов после операции оверлея (топологического наложения слоев) образует новый слой полигональных объектов с атрибутами, определяющими впоследствии экологическую обстановку соответствующей территории.



Алгоритм расчета класса экологической ситуации

Расчет производят по следующей формуле [6]:

$$K = \max \sum_{l=a}^r \left(\sum_{i=1}^n k_i U_i \right),$$

где K — класс экологической ситуации;

k_i — показатель степени опасности элемента;

U — коэффициент повышения;

n — число элементов, которые входят в набор элементов, определяющих экологическую ситуацию с повышающим коэффициентом;

a — минимальное число элементов, которые входят в набор элементов, определяющих экологическую ситуацию;

r — общее число элементов, входящих в комбинацию, определяющих принадлежность к классу экологической ситуации.

На основе анализа работ специалистов в области экологического картографирования [5, 7] с учетом санитарных норм и правил оценки степени опасности загрязнения почвы химическими веществами, а также

исходя из совокупности характеристик каждой ситуации сформирован диапазон принадлежности экологической ситуации к классу. Класс опасности загрязняющих веществ и элементов для различных категорий земель задают нормативные документы. Выделенные на карте территориальные сочетания экологических проблем разделяют на шесть категорий по остроте экологических ситуаций: условно удовлетворительная, конфликтная, напряженная, критическая, кризисная, катастрофическая. Области каждой категории экологической ситуации на карте соответствует индивидуальная цветовая раскраска. Выходной информацией являются карты экологических ситуаций, показывающие пространственно-временное сочетание различных, в том числе позитивных и негативных с точки зрения проживания и состояния человека условий и факторов, создающих определенную экологическую обстановку на анализируемой территории.

В результате оценки экологической ситуации на выходе имеются три карты:

- с обозначением распространения отдельных загрязняющих веществ (или экологических проблем) с применением метода интерполяции;
- экологической ситуации в баллах — оценка по совокупности загрязняющих веществ на территории с учетом их концентрации (или степени проявления экологической проблемы);
- обозначающая класс экологической ситуации, статистическая в соответствии с балльной оценкой.

Тестирование методики проводили на данных о состоянии почв территории бывших объектов уничтожения химического оружия в п. Кизнер и г. Камбарка [8—12]. Работу выполняли по специально разработанной системе оценки экологических ситуаций [13]. Кроме того, методика как совокупность выполняемых процедур ввода, геокодирования, обработки пространственных данных и визуализации протестирована в геоинформационной системе MapInfo. Результатом являются созданные наборы карт экологических проблем территорий зон влияния бывших объектов по уничтожению химического оружия.

Тестирование показало условно-удовлетворительную ситуацию, так как превышения показателей на всей территории ОУХО практически не обнаружено. На смоделированных данных, превышающих ПДК загрязняющих веществ в почве, работоспособность методики подтвердилась.

Таким образом, данная методика позволяет не только автоматизировать процесс определения экологической ситуации, но и, учитывая загрязняющие вещества и их показатели, определять и отображать ареал распространения ситуации, оценивать ситуацию в балльной системе и определять класс экологической ситуации.

Применение автоматизированной процедуры оценки остроты экологических ситуаций позволит не только снизить временные затраты на анализ состояния территории, оказавшейся в зоне воздействия потенциально опасного объекта, спрогнозировать их возможное развитие, но и принять своевременные адекватные меры по обеспечению экологической безопасности населения, проживающего на указанных территориях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудрин А. Ю., Власов В. А., Габричидзе Т. Г., Алексеев В. А., Янников И. М., Батырев В. В., Фомин П. М. Комплексная многоступенчатая система безопасности критически важных, потенциально опасных объектов. — Ижевск: Изд-во "Ассоциация "Научная книга", 2007. — 184 с.
2. Ашихмина Т. Я. Комплексный мониторинг объектов хранения и уничтожения химического оружия. — Киров: Вятка, 2002. — 544 с.
3. Макаров М. И., Павлов С. В., Черный А. Н. Направления развития технических средств и технологий мониторинга состояния потенциально опасных объектов крупных муниципальных образований // Технологии гражданской безопасности. 2008. № 1—2 (15—16). С. 41—45.
4. Капашин В. П. и др. Экологический мониторинг опасных производственных объектов: опыт создания и перспективы развития (на примере систем экологического контроля и мониторинга объектов по уничтожению химического оружия) / под общ. ред. Чулиса В. Н. — М.: Научная книга, 2010. — 526 с.
5. Телегина М. В., Вотивцева Ю. С. Методика автоматизированной оценки остроты экологических ситуаций: сб. научных статей "Новая наука: стратегии и векторы развития". — Стерлитамак: Агентство международных исследований, 2016. С. 218—220.
6. Стурман В. И. Экологическое картографирование: учеб. пособие. — М.: Аспект Пресс, 2003. — 251 с.
7. Шестаков А. С. Принципы классификаций эколого-географических ситуаций // Изв. Русс. геогр. об-ва. 1992. Вып. 3. С. 124—135.
8. Обеспечение проведения государственного экологического мониторинга в санитарно-защитной зоне и зоне защитных мероприятий объекта по уничтожению химического оружия в п. Кизнер Удмуртской Республики в 2012 г. Отчет, 2012. — 288 с.
9. Обеспечение проведения государственного экологического мониторинга в санитарно-защитной зоне и зоне защитных мероприятий объекта по уничтожению химического оружия в п. Кизнер Удмуртской Республики в 2013 г. Отчет, 2013. — 319 с.
10. Обеспечение проведения государственного экологического мониторинга в санитарно-защитной зоне и зоне защитных мероприятий объекта по уничтожению химического оружия в п. Кизнер Удмуртской Республики в 2017 г. Отчет, 2017. — 167 с.
11. Обеспечение проведения государственного экологического мониторинга в санитарно-защитной зоне и зоне защитных мероприятий объекта по уничтожению химического оружия в г. Камбарка Удмуртской Республики в 2012 г. Отчет, 2012. — 170 с.
12. Обеспечение проведения государственного экологического мониторинга в санитарно-защитной зоне и зоне защитных мероприятий объекта по уничтожению химического оружия в г. Камбарка Удмуртской Республики в 2013 г. Отчет, 2013. — 191 с.
13. Караваев Н. А., Телегина М. В., Янников И. М. Автоматизированная система классификации экологических ситуаций на основе анализа состояний экологических объектов в пределах определенной территории: свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2015660250 от 25.09.2015.

Methodology for assessing the environmental situation of contaminated areas

I. M. YANNIKOV, M. V. TELEGINA, N. P. KUZNETSOV

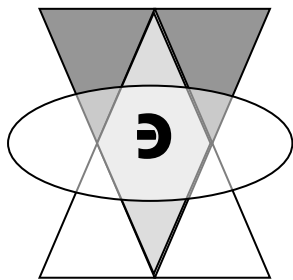
Izhevsk State Technical University named after Mikhail Kalashnikov, Izhevsk, Russia

The article discusses the issues of software and hardware for monitoring and forecasting environmental pollution, which includes the state of existing software applications, systems for calculating the consequences of various emergencies, as well as forecasting their development. It is noted that one of the most urgent problems of assessing the consequences and forecasting emergencies is the assessment of the consequences of contamination of territories by industrial potentially hazardous facilities, including former chemical weapons destruction facilities. A technique is proposed for automated assessment of the severity of environmental situations, allowing, taking into account the pollutants and their indicators, to determine the distribution area of the situation, assess the situation in the point system and determine the class of the environmental situation. The paper presents an algorithm for calculating the class of environmental situations and calculation methods, describes the procedure for testing the methodology and its results. This technique is different in that it allows you to take into account not only the composition of the elements that determine the class of the environmental situation, but also the excess coefficient of the MPC of the substance and its hazard class.

Keywords: geographic information system (GIS), pollutants, environmental situation, environmental mapping, attribute data, geocoding, rule base, calculation algorithm, testing.

Bibliography — 13 references.

Received December 12, 2019



Чрезвычайные ситуации, экологическая оценка их последствий

УДК 551.438.5

Причины аварии на Саяно-Шушенской ГЭС в августе 2009 г., не названные в акте технического расследования

В. В. ТЕТЕЛЬМИН, д-р техн. наук

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Выполнен анализ совокупности физических процессов в створе высокой арочной плотины, которые послужили причинами тяжелой аварии.

Ключевые слова: непроектные процессы, перемещения арочной плотины, вибрация гидроагрегата.

В 2019 г. исполнилось 10 лет с момента самой тяжелой аварии за всю историю российской гидроэнергетики, которая случилась на Саяно-Шушенской ГЭС (СШГЭС) 17 августа 2009 г. Как и для любой катастрофы, для нее имелись предпосылки. В акте комиссии по приему в эксплуатацию Саяно-Шушенского гидроэнергетического комплекса сказано: "В напорной грани и скальном основании плотины происходят негативные процессы, связанные с нарушением плотности бетона и разуплотнением скального основания в масштабах, существенно превышающих проектные предположения".

Любая подобная катастрофа имеет стадию зарождения, когда в процессе строительства и эксплуатации сооружения накапливаются технические неисправности, повреждения и закладываются предпосылки будущей катастрофы. Авторы десятков научно-технических статей описывали процессы и называли цифры, свидетельствующие о выходе высокой арочной плотины, рассеченной сквозными трещинами, за рамки проектного режима работы. В 1997 г. нормальный подпорный уровень (НПУ) был снижен до отметки 539 м. Однако неисправности продолжали накапливаться: развитие трещин в бетоне первого столба, рост арочных напряжений и необратимые перемещения плотины в сторону нижнего бьефа не прекратились.

Следует признать, что не все процессы, определяющие поведение и безопасность арочной плотины высотой 242 м, хорошо изучены и в полной мере учтены при проектировании и эксплуатации крупнейшего в России гидроузла. К таким процессам можно

отнести глубинные нестационарные фильтрационные процессы и сопутствующие изменения свойств упругих горных пород, процессы конвективного теплообмена в толще основания и берегов, нарушение изоляции весом водохранилища и образование большой воронки оседания [1—5].

В мире построены сотни арочных плотин. Однако среди них нет подобных высоких плотин с предельно большим отношением длины по гребню к высоте, равным 4,5. Эта конструктивная особенность сделала плотину СШГЭС чувствительной к малейшим деформациям основания и берегов. Особенность аварийного гидроагрегата ГА-2 и прикрывающей его от водохранилища секции 18 плотины заключается в том, что и секция, и гидроагрегат стоят на тектоническом разломе, что делает их особенно чувствительными к внешним силовым воздействиям.

До аварии система плотина–основание–берега находилась в неравновесном состоянии. Авторы монографии [6] отмечают, что при проектировании и строительстве плотины СШГЭС имели место факты, повлиявшие на безопасность сооружения, а также что не удалось отразить в расчетах повышенные перемещения плотины. До аварии в створе плотины происходили следующие необратимые процессы [1—14]: сближение берегов, разуплотнение основания под первым столбом плотины, угловые и радиальные перемещения плотины на всех отметках, рост арочных напряжений, рост напряжений в элементах турбинных водоводов и спиральных камер (рис. 1). После каждой сезонной сработки водохранилища до уровня мертвого объема плотина не возвращалась в исходное положение, а все более сползала в сторону нижнего бьефа. Причины этих непроектных процессов не получили официального объяснения со стороны проектной организации.

Высокая плотина СШГЭС сконцентрировала огромную потенциальную энергию. Многие потенци-

Тетельмин Владимир Владимирович, профессор.
E-mail: v-tetelmin@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 9 декабря 2019 г.

© Тетельмин В. В., 2020

ально опасные производства, в том числе и СШГЭС, спроектированы так, что вероятность крупной аварии на них оценивают величиной порядка 10^{-4} . Это означает, что из-за неблагоприятного стечения обстоятельств возможно одно разрушение объекта за 10 тысяч лет. Авария на СШГЭС случилась через 30 лет после пуска в эксплуатацию первого гидроагрегата. В акте комиссии технического расследования причин аварии [7] не установлены конкретные причины сильной вибрации аварийного ГА-2 и остальных шести работавших в момент аварии гидроагрегатов, вскользь сказано, что авария произошла из-за совокупности различных причин.



Рис. 1. Области фиксации комплекса необратимых процессов в створе плотины СШГЭС:

- 1 — радиальные перемещения; 2 — угловые перемещения;
3 — разуплотнение основания; 4 — раскрытие трещин в бетоне первого столба; 5 — рост напряжений в турбинных водоводах и спиральной камере

Рассмотрим совокупность происходивших в створе плотины физических процессов, послуживших, по мнению автора, причиной беспрецедентной по масштабам и последствиям аварии. Остановимся на анализе причинно-следственных связей следующей цепочки событий: перемещения плотины → напряжения в турбинном водоводе и спиральной камере → отклонение оси вала от вертикали → разрушение шпилек крепления крышки гидротурбины.

Особенность компоновки сооружений СШГЭС такова, что радиальные и угловые перемещения арочной плотины в сторону нижнего бьефа увеличивают нагрузку на турбинные водоводы, которая передается через металлическую оболочку водоводов на спиральные камеры и турбинные блоки. Аварийный второй гидроагрегат ГА-2 находится в створе секции 18 плотины. К моменту аварии гребень этой секции получил необратимые радиальные перемещения в сто-

рону нижнего бьефа около 50 мм, а обратимые сезонные перемещения гребня составили 35 мм (рис. 2). На отметке 332 м секция 18 наклонялась в сторону НБ с интенсивностью 0,5 угловых с/г. К моменту аварии абсолютная расчетная необратимая осадка русловых секций плотины составила около 150 мм.

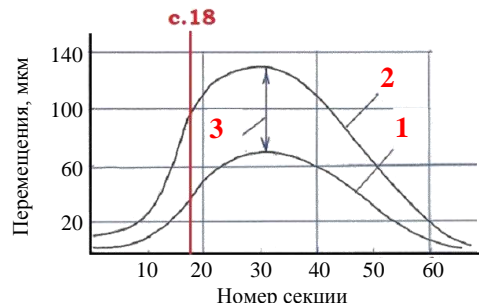


Рис. 2. Радиальные перемещения гребня секций плотины СШГЭС перед аварией:

- 1 — накопленные необратимые; 2 — общие; 3 — обратимые

Турбинные водоводы и спиральные камеры. Необратимые и сезонные перемещения высокой арочной плотины влияют на напряженно-деформированное состояние сопряженных с ней сооружений. В частности, турбинные водоводы, выполненные как сталежелезобетонные конструкции, воспринимают заметную долю нагрузки на плотину, так как они вынесены на низовую грань плотины и жестко с ней связаны.

В металлической оболочке и арматурных стержнях турбинных водоводов в течение всех лет эксплуатации увеличивались напряжения сжатия продольного направления [10]. В 2006 г. напряжения сжатия в металлической оболочке достигли 106 МПа, во внутренней арматуре — 268 МПа, во внешней — 220 МПа. Возникающие продольные усилия в каждом из водоводов частично передавались горизонтальному участку металлической оболочки водоводов в районе деформационного шва (рис. 1) и далее — стальной оболочке спиральных камер. Об этом свидетельствует многолетний прирост кольцевых напряжений в арматуре и стальной оболочке спиральных камер. Например, перед аварией этот прирост в оболочке спиральной камеры четвертого гидроагрегата составил 46 МПа, восьмого гидроагрегата — 26 МПа [10].

О реальности процесса "навала плотины" на сооружения машинного зала свидетельствует также необратимая и сезонная составляющие закрытия конструктивных швов в железобетонной оболочке турбинных водоводов между анкерными опорами и зданием ГЭС (рис. 1). Наибольшие остаточные значения закрытия швов в анкерных опорах гидроагрегатов ГА-6 и ГА-8 достигали 3,6 мм. Размахи сезонного изменения раскрытия деформационных швов турбинных водоводов агрегатов ГА-1, ГА-2 и ГА-4 составляли 2 мм.

На закрытие конструктивных швов влияют также радиальные перемещения секций плотины вблизи контакта бетона со скалой. Например, марка 4 поперечного гидронивелира секции 18, расположенная на отметке 311 м на стыке второго и третьего столбов, за годы эксплуатации переместилась в направлении машинного зала на 16 мм. Средний размах сезонных горизонтальных перемещений этой марки до аварии

составлял 2 мм. Непосредственно перед аварией марка 4 зафиксировала повышенное на 1 мм смещение в направлении аварийного второго агрегата ГА-2.

Компоновка сооружений ГЭС такова, что перемещения плотины в сторону НБ передаются сооружениям машинного зала и тем самым могут нарушать соосность шахт турбинных блоков и роторов всех гидроагрегатов. В результате многолетнего возрастания горизонтального усилия, действовавшего на спиральную камеру второго гидроагрегата, произошла деформация статорного кольца, являющегося посадочным местом ГА-2, и, как следствие, изменилось пространственное положение линии вала рабочего колеса.

Натурные данные о трендовом и сезонном закрытии деформационных швов водоводов, об увеличении напряжений в элементах турбинных водоводов и спиральных камер позволяют сделать вывод о влиянии общих перемещений плотины на напряженно-деформированное состояние спиральных камер и турбинных блоков. Вполне вероятно, что угловые и линейные перемещения секции 18 плотины могли привести к следующим последствиям:

- нарушить пространственное положение линии вала гидроагрегата, вызвав механический дебаланс ротора и его усиленную вибрацию;
- деформировать статорное кольцо и создать срезающие усилия в шпильках крепления крышки рабочего колеса.

В августе-сентябре каждого года передаваемые спиральным камерам усилия получали максимальное приращение за счет максимальных сезонных перемещений плотины в сторону НБ и за счет максимального сезонного нагрева элементов турбинных водоводов (рис. 3).

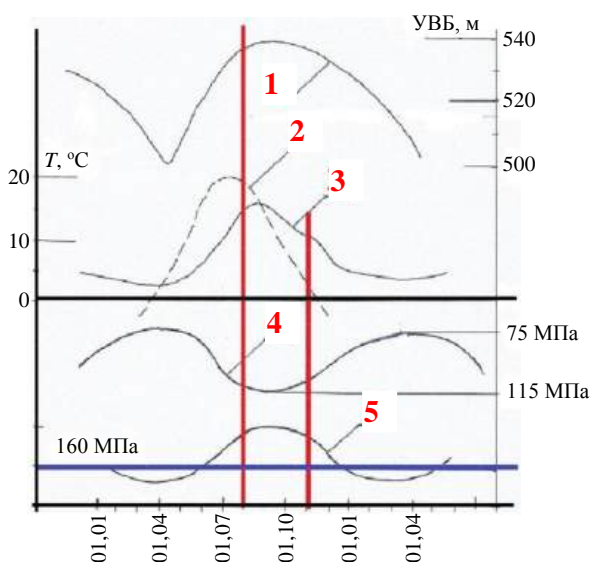


Рис. 3. Сезонное (август-октябрь) увеличение трех факторов, ежегодно определяющих максимальные значения продольных сжимающих напряжений в стенках трубы турбинного водовода гидроагрегата ГА-8 и соответствующее сезонное обострение вибрационной обстановки на гидроагрегатах СШГЭС:

- 1 — УВБ; 2 — температура бетона низовой грани; 3 — температура стенки трубы; 4 — продольное сжимающее напряжение в стенке трубы; 5 — амплитуда горизонтальных вибраций турбинного подшипника

Гидроагрегат ГА-2 был пущен в эксплуатацию в 1979 г. со сменным рабочим колесом, с которым работал до 1986 г. Агрегат выводился в ремонт из-за повышения боя вала и повышенной вибрации корпуса турбинного подшипника. Разрушалось неподвижное кольцо лабиринтного уплотнения, повреждались шпильки крепления турбинного подшипника к крышке турбины [7].

Не случайно авария произошла в середине августа: именно в этот период года напор на плотине приближался к своему сезонному максимуму, температура воды и температура металлической оболочки турбинного водовода также достигали своего сезонного максимума (14 °C). К середине августа секция 18 плотины получила значительные радиальные и угловые перемещения, а металлическая оболочка водовода от нагревания увеличила свою длину примерно на 10 мм. Оба сезонных фактора обеспечили в дополнение к накопившимся трендовым напряжениям силовое воздействие стальной оболочки водовода на спиральную камеру гидроагрегата, что нарушило его центровку и спровоцировало появление вынужденных гармоник радиальной вибрации турбинных подшипников с большой амплитудой (таблица).

Размах радиальной вибрации турбинных подшипников работавших перед аварией гидроагрегатов (мкм) при допустимом значении вибрации 160 мкм [7]

ГА-1	ГА-2	ГА-3	ГА-4	ГА-5	ГА-8	ГА-9
200	840	175	160	160	200	170

Работа гидроагрегата с повышенной вибрацией приводит к ускорению износа его элементов, особенно в зонах их сопряжения. Все радиально-осевые турбины РО230/833-В-677 "обладали несовершенным рабочим процессом": в диапазоне выхода на номинальную нагрузку от 225 до 495 МВт имели зону повышенной вибрации В. Высокий уровень вибрации в зоне В был обусловлен образованием в потоке проточной части на входе в отсасывающую трубу мощного вихревого жгута.

При выполнении капитального ремонта второго гидроагрегата в 2005 г. было обнаружено отклонение линии вала от вертикали, которое не должно превышать 0,1 мм/м [15]. Закрытие деформационного шва в анкерной опоре могло сместить в пространстве линию вала ГА-2 и обеспечить градиент ее отклонения от вертикального положения до 0,3 мм/м. О реальности подобной версии свидетельствует аварийная ситуация, часто возникающая на гидроагрегатах после 35 лет их эксплуатации, которая авторами [16] сформулирована следующим образом: нарушение центровки вследствие изменения пространственного положения гидроагрегата, то есть нарушение равномерности зазоров и отметок в плане и по высоте подвижных частей гидроагрегата относительно неподвижных.

Аварийный гидроагрегат ГА-2 был запущен в эксплуатацию после среднего ремонта в марте 2009 г. К концу мая горизонтальные вибрации турбинного подшипника превышали по амплитуде предельно допустимое значение 160 мкм и к концу июня достигли 250 мкм. К 15 августа максимальная величина радиальных вибраций достигла 800 мкм, что в 5 раз пре-

восходит допустимую величину. Утром 17 августа в 8 ч 13 мин, когда второй агрегат в шестой раз за сутки перешел через запрещенную зону В на стадии снижения нагрузки, максимальные вибрации турбинного подшипника достигли 1500 мкм. Этот момент стал началом подъема рабочего колеса вместе с крышкой и ротором гидрогенератора, суммарная масса которых составляла 1788 т [17].

Шпильки крепления. Металлическая оболочка водовода передает усилие спиральной камере по касательной к шахте турбинного блока и к статорному кольцу, на котором размещены 80 шпилек крепления крышки турбины и которое является посадочным местом для этой крышки. Толкающее усилие со стороны металлической оболочки водовода деформирует статорное кольцо, придавая ему эллиптическую форму (рис. 4). Связь между крышкой и статорным кольцом осуществляется шпильками, расположенными равномерно по круговому контуру крышки. Шпильки перемещаются в соответствии с деформацией статорного кольца, на котором они размещены. Деформациям статорного кольца препятствует жесткая стальная крышка гидроагрегата. В результате силового взаимодействия между деформирующимся статорным кольцом и жесткой стальной крышкой в шпильках возникает срезающее усилие [11]. В местах кругового контура крышки, где статорное кольцо деформируется внутрь шахты (малая ось эллипса), усталостные трещины возникают на поверхности шпилек, обращенных внутрь шахты гидроагрегата. В местах, где статорное кольцо деформируется вдоль большой оси эллипса, усталостные трещины возникают на внешней стороне шпилек.

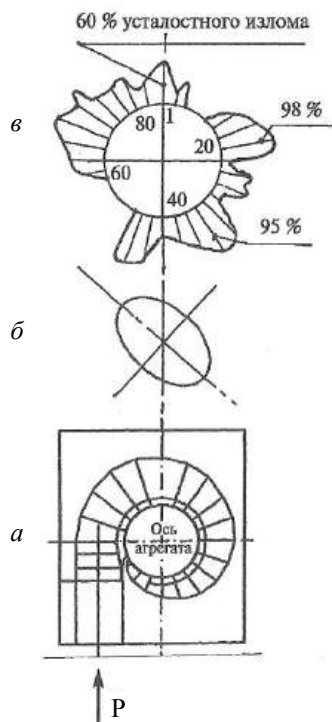


Рис. 4. Механизм возникновения срезающих напряжений в шпильках крепления крышки рабочего колеса:
 а — направление усилия, действующего со стороны металлической оболочки турбинного водовода на спиральную камеру; б — соответствующее пространственное положение эллипса деформации статорного кольца; в — диаграмма распределения усталостных разрушений шпилек по контуру их установки

На диаграмме усталостных разрушений шпилек, построенной по данным акта расследования комис-

сии [7], четко просматривается неравномерность разрушений шпилек вдоль контура их размещения. Зоны статорного кольца с высокой долей усталостного разрушения шпилек располагаются в пределах секторов с номерами шпилек 21–41 и 61–1. Эти сектора хорошо коррелируют с зонами сдвиговых напряжений в шпильках, создаваемых турбинным водоводом и спиральной камерой.

Таким образом, накопившиеся до аварии необратимые перемещения, а также сезонные перемещения секции 18 плотины вызвали деформацию статорного кольца, перемещение конструкции турбинного блока и механический дебаланс ротора второго гидроагрегата. Деформация статорного кольца относительно жесткой крышки рабочего колеса вызывала в шпильках крепления срезающие усилия — "эффект гильотины". Диаграмма распределения усталостных разрушений по контуру крышки свидетельствует о наличии преимущественного направления силового воздействия на шпильки. Это направление совпадает с большой осью эллипса деформации статорного кольца (см. рис. 4, б).

В вертикальном гидроагрегате частота изменения центробежных сил соответствует частоте вращения ротора (2,38 Гц). Большое биение вала вызвано наличием возмущающих сил, которых в работающем агрегате может быть несколько: механические, вызванные неуравновешенностью массы ротора, гидродинамические, возникающие в проточной части гидротурбины и электромагнитные в гидрогенераторе. Совокупное действие этих возмущений обеспечило сложную по спектру гармоник вибрацию и усталостное разрушение шпилек крепления крышки гидротурбины. Далее по причине усталости металла шпилек и ослабления затяжки крепления произошел выброс ротора гидроагрегата.

В момент отрыва на всю площадь крышки гидротурбины со стороны проточной части действовала сила примерно в 7500 т. Кроме силы веса конструкции (около 1800 т), этому подъёмному усилию противодействовала осевая гидравлическая сила 1400 т, создаваемая набегающим на лопасти колеса потоком. Избыточное усилие со стороны проточной части, обеспечившее выброс вращающегося ротора гидроагрегата вместе с крышкой, составляло 4300 т.

Длительная работа второго гидроагрегата ГА-2 с большими вибрациями вызвала усталостные повреждения в узлах крепления и опорных элементах конструкции. Концентраторами зарождения усталостных трещин в шпильках явились внутреннее и внешнее резьбовые канавки. Инструкция по эксплуатации гидроагрегатов не предусматривала контроль шпилек, крепящих крышку гидротурбины. Проведенная после аварии экспертиза показала, что площадь усталостного излома шпилек (М80×80 шт.) составляла от 5 до 95 % от общей площади сечения [7]. В итоге накопившиеся дефекты привели к аварии из-за разрушения шпилек, крепивших крышку рабочего колеса к статорному кольцу. К моменту аварии средняя площадь усталостных разрушений шпилек достигла 65 % от площади сечения шпилек.

Теория усталостного разрушения [18, 19] позволяет найти совокупное силовое воздействие всех возмущающих факторов и осредненную амплитуду

циклического напряжения $\Delta\sigma$, которое испытывала каждая из шпилек крепления в течение 30 лет работы гидроагрегата. Медленный рост трещины длиной l определяется известным дифференциальным уравнением [19—21]:

$$\frac{dl}{dN} = A(\Delta K)^n, \quad (1)$$

где N — количество циклов, которое выдержала шпилька до разрушения (ресурс шпильки);
 $\Delta K = 1,66 \Delta\sigma\sqrt{l}$ — размах изменения коэффициента интенсивности напряжений в вершине растущей опоясывающей трещины в цилиндрическом теле шпильки за цикл нагружения при циклической амплитуде $\Delta\sigma$.

Справочные константы A и n для стали марки Ст. 35, из которой выполнены шпильки, можно принять следующими: $A = 4 \cdot 10^{-13} \text{ МПа}^{-4} \cdot \text{м}^{-1}$; $n = 3$.

Из расчета средней площади усталостного разрушения шпилек (65 %) глубина опоясывающей трещины в цилиндрическом теле шпильки диаметром 80 мм составляет $l_k = 15 \text{ мм}$ [7]. При данном среднем значении глубины кольцевой трещины произошло разрушение шпилек. В качестве начальной глубины трещины примем глубину резьбы $l_0 = 5 \text{ мм}$. Средняя годовая наработка агрегата составляет 5000 ч. При частоте вращения ротора 2,38 Гц количество циклов силового воздействия на шпильку за 30 лет эксплуатации составило $N = 1,28 \cdot 10^9$.

Интегрирование уравнения (1) при известной длине исходной трещины l_0 и длине усталостной трещины l_k , при которой произошло критическое разрушение шпильки, позволяет найти функцию связи между амплитудой нагружения шпильки $\Delta\sigma$ и количеством циклов нагружения N :

$$l_0^{(1-0,5n)} - l_k^{(1-0,5n)} = (0,5n - 1) A (1,66 \Delta\sigma)^n N. \quad (2)$$

Отсюда находим амплитуду циклического напряжения $\Delta\sigma = 125 \text{ МПа}$ в шпильках, являющегося результатом совокупного воздействия всех возможных возмущающих факторов. Умножив значение $\Delta\sigma$ на площадь сечения всех шпилек, получим значение силы порядка 5000 т. Это значение примерно соизмеримо с приведенной общей нагрузкой, вызвавшей разрушение второго гидроагрегата. Недостатками эксплуатации гидроагрегатов являлось отсутствие в технологической карте ремонта нормативов по контролю состояния узлов крепления, обеспечивающих герметичность гидротурбины.

Выводы

Следует признать (как показала авария) недостаточность знаний о масштабах воздействия крупного водохранилища СШГЭС на геологическую среду, на перемещения плотины и гидроагрегатов, а также в целом на напряженно-деформированное состояние (НДС) системы плотина–основание–берега.

Наблюдавшиеся до аварии нештатные необратимые перемещения плотины и многие другие не объясненные процессы в створе СШГЭС [6, 12] обусловлены развитием мощных неисследованных и неучтенных при проектировании глубинных процессов массо- и теплопереноса в массивах оснований и береговых примыканий, а также нарушением изостатического равновесия земной коры от веса водохранилища.

Расчеты показывают [1, 3], что абсолютные сезонные вертикальные перемещения плотины и гидроагрегатов СШГЭС примерно в три раза больше перемещений, фиксируемых геодезической съемкой. Таким образом, служба мониторинга ГЭС фиксирует около 30 % реальных сезонных осадок плотины и гидроагрегатов.

Сравнение расчетных и натурных данных обратных радиальных перемещений плотины также показывает их существенное несовпадение [22, 23].

В августе–сентябре каждого года передаваемые спиральным камерам усилия получают максимальное приращение за счет максимальных сезонных перемещений плотины СШГЭС в сторону нижнего бьефа, а также за счет максимального сезонного нагрева элементов турбинных водоводов. Именно этим объясняется повышенная вибрация всех семи работающих агрегатов перед аварией, именно силовым воздействием со стороны перемещающейся плотины объясняется ежегодное осеннее повышение вибрационного режима работающих гидроагрегатов.

Игнорирование глубинных геодинамических процессов в створах крупных гидроузлов приводит к неконтролируемому механическому перенапряжению системы плотина–основание–берега, что не отвечает требованию ст. 9 федерального закона ФЗ-117 "О безопасности гидротехнических сооружений" и тем самым увеличивает риск аварий и катастроф.

Направленность не учитываемых при эксплуатации СШГЭС глубинных геодинамических процессов в створе плотины такова, что они могут снижать ее запас устойчивости. Следует выполнить расчет текущего значения коэффициента запаса устойчивости плотины на сдвиг в условиях, когда:

- на протяжении всех лет эксплуатации не учитываются силовые и температурные воздействия на НДС системы плотина–основание–берега со стороны глубинного фильтрационного потока;
- не учитывается формирование большой воронки оседания от веса водохранилища;
- продолжается рост пьезометрических напоров в основании отдельных секций плотины (в частности, с 18 аварийного гидроагрегата);
- в период август–октябрь каждого года происходит обострение вибрационного режима работающих гидроагрегатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тетельмин В. В. Сильные воздействия водохранилищ на геологическую среду и земную кору. — М.: Интеллект, 2015. — 240 с.
2. Тетельмин В. В. Плотина Саяно-Шушенской ГЭС: состояние, процессы, прогноз. — М.: ЛИБРОКОМ, 2011. — 240 с.
3. Тетельмин В. В., Даниелов Э. Р. Динамика восстановления изостатического равновесия земной коры, нарушенного созданием крупного водохранилища // Вестник РАН. 2018. Т. 18. № 2. С. 40—46.

4. Тетельмин В. В., Уляшинский В. А. Упругий режим фильтрации в основаниях высоких плотин // Гидротехническое строительство. 2009. № 5. С. 17—22.
5. Тетельмин В. В. Механика образования трещин в напорной грани бетонных плотин // Гидротехническое строительство. 2010. № 12.
6. Вульфович Н. А., Гордон Л. А., Стефаненко Н. И. Арочно-гравитационная плотина Саяно-Шушенской ГЭС. Оценка технического состояния по данным натурных наблюдений. — СПб.: ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 2012. — 210 с.
7. Акт технического расследования причин аварии, произошедшей 17 августа 2009 года в филиале ОАО "РусГидро" — "Саяно-Шушенская ГЭС им. П. С. Непорожного" — Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. 2009. <http://www.gosnadzor.ru/actSSG/bak>.
8. Епифанов А. П., Стефаненко Н. И. Из опыта организации безопасной эксплуатации Саяно-Шушенской арочно-гравитационной плотины // Гидротехническое строительство. 2008. № 11. С. 5—10.
9. Пермякова Л. С., Епифанов А. П., Стефаненко Н. И. Состояние напорного фронта Саяно-Шушенской плотины после завершения ремонтных работ по снижению его водопроницаемости // Гидротехническое строительство. 2008. № 1. С. 9—13.
10. Пермякова Л. С., Рассказчиков В. А., Уляшинский В. А. Напряженно-деформированное состояние элементов напорного тракта турбин Саяно-Шушенской ГЭС // Гидротехническое строительство. 2008. № 11. С. 11—18.
11. Сашурин А. Трагедии могут стать периодическими // Технадзор. 2010. № 8. С. 60—63.
12. Стефаненко Н. И., Затеев В. Б., Пермякова Л. С. и др. Поведение Саяно-Шушенской плотины после катастрофического разрушения здания ГЭС // Гидротехническое строительство. 2010. № 1. С. 5—10.
13. Тетельмин В. В., Уляшинский В. А. Техногенные воздействия и процессы в скальных основаниях плотин. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 160 с.
14. Тетельмин В. В. Анализ необратимых процессов в створе плотины Саяно-Шушенской ГЭС // Гидротехническое строительство. 2010. № 2. С. 47—51.
15. Коган Ф. Л. Аномальные режимы работы и надежность современных гидроагрегатов // Гидротехническое строительство. 2010. № 4. С. 46—51.
16. Байков А. И., Киселев М. И. и др. Время не ждет // Гидротехническое строительство. 2009. № 9. С. 27—33.
17. Белаш И. Г. Причины аварии гидроагрегата № 2 на Саяно-Шушенской ГЭС: актуальность повышения надежности гидроэнергетического оборудования // Гидротехническое строительство. 2010. № 3. С. 25—30.
18. Партон В. З. Механика разрушения: от теории к практике. — М.: Изд-во ЛКИ, 2007. — 240 с.
19. Пестриков В. М., Морозов Е. М. Механика разрушения твердых тел. — СПб.: Профессия, 2002. — 320 с.
20. Колесников Ю. В., Морозов Е. М. Механика контактного разрушения. — М.: Изд-во ЛКИ, 2007. — 224 с.
21. Эшби М., Джонс Д. Конструкционные материалы. Полный курс. — М.: ИД "Интеллект", 2010. — 672 с.
22. Вульфович Н. А., Потехин Л. П. Об ограничениях интенсивности наполнения и опорожнения водохранилища бетонных плотин // Гидротехническое строительство. 2017. № 12. С. 11—19.
23. Долгинин Е. А. Саяно-Шушенская ГЭС: размышления после аварии // Гидротехническое строительство. 2010. № 2. С. 53—54.

Causes of Sayano-Shushenskaya hydroelectric power station accident in august 2009, not included into technical investigation report

V. V. TETELMIN

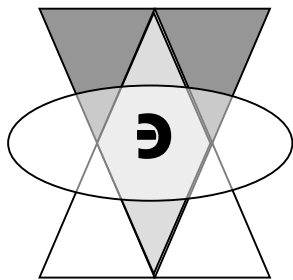
The Russian Peoples' Friendship University, Moscow, Russia

Analysis of the aggregate of technical processes in the arch dam site that caused the severe accident.

Keywords: beyond design processes, arch dam movement, hydraulic unit vibration.

Bibliography — 23 references.

Received December 9, 2019



Внедрение экологически безопасных технологий

УДК 504.064.4

Ресурсосбережение в строительстве — стимул экологического прогресса

О. Н. БОРИСОВА, канд. техн. наук

ФГБОУ ВО "Российский государственный университет туризма и сервиса", пос. Черкизово, Пушкинский р-н, Московская обл., Россия

Раскрывается проблема ресурсосбережения при производстве строительных материалов. Рассматриваются виды техногенного сырья. Изучаются пути использования альтернативных источников сырья для производства строительных материалов.

Ключевые слова: техногенное сырье, строительные материалы, энергоэффективность, экоинновации, отходы производства, отходы потребления.

Строительный сектор является крупнейшим потребителем сырья в мире. На строительные и демонстрационные работы приходится около 33 % отходов, образующихся ежегодно. Существует экологический стимул для реконструкции ресурсоемкого и расточительного сектора строительства: более эффективное сокращение использования ресурсов и повторное использование отходов приведут к значительному сокращению совокупных материальных потребностей европейских обществ [1]. В то же время существует экономический стимул, поскольку использование меньшего объема материала может существенно снизить затраты на строительство и ремонт объектов. Однако в Европейском союзе большая часть внимания сосредоточена на вопросах энергетики. На европейском уровне законодательство и инновационные усилия, связанные со строительством, в основном сосредоточены на энергии, особенно на повышении энергоэффективности и использовании возобновляемых источников энергии. Подобные усилия важны, особенно с учетом того, что на здания приходится наибольшая доля конечного потребления энергии и около 35 % всех выбросов парниковых газов, но ограничение только на выбросы может означать, что инновационные усилия сосредоточены на стабильных способах производства энергии без учета инноваций, которые могли бы снизить потребности в энергии в долгосрочной перспективе. Точно так же

сосредоточение внимания только на снижении энергетических потребностей может означать, что компромисс с материальными ресурсами не учитывается; например, изоляция может снизить потребности в энергии, но не ясно, какой тип изоляции обеспечит наилучшую производительность и есть ли альтернативы стандартной строительной системе. Необходим комплексный подход к строительству и реконструкции, позволяющий эффективно использовать энергию и материалы. Расширение перспективы эффективности использования ресурсов даст возможность лучше подготовить строительный сектор к задачам XXI в. и будет способствовать лучшему достижению экологических целей [2].

Отходы, которые можно повторно использовать в строительном комплексе для производства материалов и изделий, это в основном вторичное сырье или вторичные минеральные ресурсы. Вопросы правильного использования природных ресурсов содержат ресурсосбережение. Ресурсосберегающая технология — это сведение к минимуму использования природных ресурсов и минимальное нарушение экологических природных условий [3].

Строительная промышленность — это крупная отрасль по своему масштабу и значению, именно поэтому на ее фоне быстрыми темпами развивается отрасль ресурсосбережения как вспомогательный важный элемент. Необходимость включения такого элемента в крупную систему обоснована. Индустрия строительства все больше требует использования энергосберегающих составляющих, которые помогут минимизировать затраты на ресурсы, а также сократить расходы на содержание и эксплуатацию объекта в целом [4, 5]. В условиях нарастающих экологических проблем вопрос о рациональном использовании и

Борисова Оксана Николаевна, доцент высшей школы сервиса.
E-mail: borisova-on@bk.ru

Статья поступила в редакцию 4 декабря 2019 г.

© Борисова О. Н., 2020

эффективном сбережении природных ресурсов становится одной из первостепенных задач жизнедеятельности государства. При этом большое значение имеет не только сбережение сырьевых ресурсов, но и их переработка и повторное использование. Весьма важно использование вторичного сырья для поддержания уровня экологии на безопасном уровне.

Ресурсосбережение в строительной промышленности имеет несколько составляющих, а именно разработку и проектирование зданий и сооружений, их планировки и комплексной застройки, расположения коммуникаций, обеспечивающих минимальные затраты на строительство, эксплуатацию и, в дальнейшем, реконструкцию. Помимо этого активно создаются и внедряются ресурсосберегающие виды строительных материалов, изделий и соответствующие технологии их производства.

Большое внимание при создании экономических проектов для обеспечения ресурсосбережения уделяется улучшению норм строительного проектирования. Следует отметить, что огромное значение имеет то, из какого материала и каким образом производят строительные конструкции. Известно, что все больше возрастает заинтересованность производителей в рациональном использовании ресурсов. В связи с этим разрабатываются различные технологии производства инновационных строительных материалов, сокращающие расходы на их изготовление. При этом они не уступают по характеристикам традиционным материалам [6].

Известно, что отрасль производства строительных материалов использует два вида сырья: первый — это природный, в него входят строительные камни, гравий, песок, щебень и прочие горные породы и их комбинации; второй вид сырья — техногенный, иногда его называют вторичным, поскольку здесь могут быть использованы и продукты переработки отходов. Многие районы России не обеспечены природным сырьем в необходимом количестве. В других районах запасы его уже значительно истощены. В большинстве случаев приходится транспортировать его из других районов, что значительно увеличивает затраты. Поэтому с быстрым технологическим развитием и ухудшением экологической обстановки большое значение в строительной отрасли приобретает техногенное сырье, к которому можно отнести как разнообразные промышленные отходы и продукты побочного производства (металлургические шлаки, отходы горно-обогатительных комбинатов, зольные отходы ТЭС, вторичные полимеры и множество других отходов), но и твердые бытовые отходы, образующиеся в системе городского и жилищно-коммунального хозяйства.

Образовавшиеся в результате жизнедеятельности человека отходы производства и потребления являются, с одной стороны, главными загрязнителями окружающей среды и могут привести к сильному и даже необратимому нарушению экологической системы, а с другой — зачастую представляют собой ценные продукты, потенциально пригодные для переработки и вторичного использования [7].

Твердые бытовые отходы (ТБО) — гетерогенная смесь органоминеральных компонентов (черные и цветные металлы, макулатура, пластмассы, стекло,

текстиль, кожа, резина, камни, пищевые и растительные остатки, а также опасные и токсичные бытовые отходы — отработанные сухие гальваноэлементы и т. п.).

При вовлечении ТБО в промышленную переработку в качестве техногенного сырья особую роль играют технологические процессы сепарации как подготовительные операции, позволяющие выделить те или иные ценные компоненты для вторичного использования, удалить опасные компоненты и оптимизировать состав отходов для последующих переделов переработки [8, 9].

Многие специалисты рассматривают техногенное сырье как исключительно ценный продукт, который включает ранее затраченные инвестиционные и энергетические ресурсы. Использование такого сырья в производстве строительных материалов оказалось значительно дешевле, чем разработка и освоение природных ресурсов. С экологической точки зрения использование техногенного сырья для производства строительных материалов является перспективным направлением, так как при этом сокращаются объемы добычи дефицитных природных ресурсов. Также благодаря этому утилизируется огромное количество загрязняющих окружающую среду промышленных отходов и освобождаются земельные участки, используемые для хранения отходов производства и ТБО.

Внедрение новейших технологий по переработке твердых бытовых отходов помогает не только решить одну из острых экологических проблем, но и создать очень доходный бизнес.

Готовой продукцией для производства строительных материалов являются:

- черные и цветные металлы (черный металлолом, цветной металлолом, пластмасса и резина);
- полимернаполненные стройматериалы и изделия технического назначения, дробленка и гранулы (пластмассовая тара и жесткая упаковка из-под напитков (ПЭТФ, ПНД, ПВД, ПС, ПК и ПП));
- эковата, волокнистый материал и изделия из него (бугорчатая тара и т. п.) — бумажные отходы любых видов;
- дробленое стекло (наполнитель для бетона, использование в производстве стекла) — бутыльное стекло, оконное стекло;
- древесные гранулы (наполнитель при производстве стройматериалов) — древесина, древесные отходы;
- резиновая крошка и регенерат (отходы производства резинотехнических изделий, отработанные автопокрышки) и т. д.

Продукты переработки древесины и других растительных отходов находят применение в производстве строительных материалов, так как в России на деревоперерабатывающих комбинатах и лесопромышленных комплексах ежегодно образуется более 200 млн м³ отходов древесины. Помимо этого в огромном количестве вывозятся в отвалы и сжигаются отходы культур и другого экологически ценного сырья, которые пригодны для производства строительных материалов. Важнейшим направлением экологически целесообразного и рационального использования древесины в строительстве является

производство древесных бетонов: арболита, фибролита, опилкобетона и других. Наиболее известным, экологически чистым и дешевым материалом является арболит — легкий крупнопористый бетон, состоящий из древесной дробилки и портландцемента марки 400. Он широко применяется для изготовления стеновых блоков при строительстве малоэтажных зданий. При устройстве ограждающих конструкций и перегородок используют королит — теплоизоляционный материал из коры, цемента и добавок.

Стеклобой также является сырьем для огромного ассортимента продукции, особенно строительной. Измельченный стеклобой плавят в печах, создавая стеклянные нити. Переплетение стеклонитей образует стеклоткань, которая широко применяется в создании утеплителей — стекловаты и стекломата. Стеклохолст, сотканый из стекловолокна, является основой современных видов черепицы. Также из стекловолокна производят ламинат, надежно усиливающий поверхность пластиковых труб и фитингов для прокладки трубопроводов, предназначенных для транспортировки различных веществ — от воды до нефти и нефтепродуктов. Ламинированные трубы используют для монтажа газо- и паропроводов, для устройства вентиляционных каналов, в качестве канализационных труб. Для получения труб с высокой кислотоустойчивостью и прочностью, превышающей прочность бетонных труб, разработана технология, в которой измельченные до определенной фракции отходы стекла перемешиваются специальным образом в заданных пропорциях с мономерами — полиэфирстиролом или метилметакрилатом.

Многие предприятия производят пеностекло, выпускаемое в форме блоков, плит или гранул. Пеностекло является отличным дренажным материалом, используемым в строительных фундаментах, а пеностекло относится к категории высококачественных изоляционных материалов, применяемых для утепления и звукоизоляции потолков и стен на объектах гражданского строительства.

Использование пеностекла в России является особенно перспективным. Даже в сложных климатических условиях со значительными перепадами температур и высокой влажностью этот материал длительное время не теряет своих качеств: гарантированный срок эксплуатации пеностекла составляет более ста лет. Устойчивость материала к атмосферным воздействиям позволяет хранить его под открытым небом [10].

Еще одним направлением использования стеклобоя является производство микрошариков и микросфер. Стеклянные полные микросферы из натрий-боросиликатного стекла при добавлении в лакокрасочные покрытия создают эффективный защитный барьер, уменьшающий теплопроводность. Нанесение на поверхность строений краски, содержащей в своем составе микросферы, обеспечивает отражение солнечных лучей и поддерживает тем самым более низкую температуру в помещениях.

Производители новых гидроизоляционных материалов делают ставку на простоту применения про-

дуктов при высоких эксплуатационных характеристиках. Эта идея взята за основу при разработке самоклеящегося рулонного гидроизоляционного материала, который производится на основе той же стеклоткани, о которой говорилось ранее. В добавление к ней используют пропитку из битумно-полимерного состава с целевыми добавками, которые улучшают эксплуатационные свойства. При таком составе материал является гибким, что в разы облегчает монтаж гидроизоляции. Битумно-полимерная пропитка играет роль защитного слоя гидроизоляции, препятствующего всякого рода повреждениям. Благодаря нижнему слою такая гидроизоляционная ткань клеится к любому основанию.

Таким образом, можно констатировать, что ресурсосбережение в производстве строительных материалов при использовании техногенного сырья — это будущее экономики. Для развития данного направления важно реконструировать производственные предприятия. Одной из главных задач при реконструкции должна стать замена физически и морально устаревшего оборудования на новое инновационное, которое будет более прогрессивным и позволит получить существенную экономию многих видов ресурсов, а также повысить качество выпускаемой продукции. Путем внедрения новых ресурсосберегающих технологий, материалов и оборудования можно добиться снижения отрицательного влияния деятельности человека на окружающую среду и сокращения степени загрязнения биосферы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шубов Л. Я., Борисова О. Н. Об оптимизации управления твердыми бытовыми отходами в системе ЖКХ // Жилищно-коммунальное хозяйство. 2013. № 11. С. 20—29.
2. Борисова О. Н. Предпосылки для рационального ресурсосбережения — создание экотехнопарков // Славянский форум. 2018. № 2 (20). С. 124—129.
3. Борисова О. Н. Ресурсоэффективное использование техногенного сырья в строительстве: новые горизонты для экоинноваций: мат. XXIII Межд. науч.-практ. конф. "Наука — сервис" / под ред. Бушуевой И. В., Афанасьева О. Е. 2018. С. 294—303.
4. Иванов Л. А., Борисова О. Н., Муминова С. Р. Изобретения в области нанотехнологий, направленные на решение практических задач. Ч. I // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2019. Т. 11. № 1. С. 91—101.
5. Иванов Л. А., Деменив А. В., Муминова С. Р. Изобретения в области нанотехнологий, направленные на решение практических задач. Ч. II // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2019. Т. 11. № 2. С. 175—185.
6. Волков А. А., Муминова С. Р. Интерактивное планирование ремонтных работ для жилых зданий // Вестник МГСУ. 2013. № 4. С. 209—213.
7. Грешишкин В. С., Борисова О. Н. Практика переработки твердых бытовых отходов и тенденции развития технологии: мат. Всеросс. науч. конф. аспирантов и молодых ученых "Современные проблемы туризма и сервиса". 2013. С. 128—132.
8. Шубов Л. Я., Борисова О. Н., Доронкина И. Г. Ситуация с отходами в Московском регионе: планы и реалии (начало) // Твердые бытовые отходы. 2010. № 1 (43). С. 16—21.
9. Шубов Л. Я., Борисова О. Н., Доронкина И. Г. Ситуация с отходами в московском регионе: планы и реалии (продолжение) // Твердые бытовые отходы. 2010. № 2 (44). С. 27—35.
10. Комаров Н. М., Жаров В. Г. Управление инженерными системами интеллектуального здания с использованием технологий информационного и инфографического моделирования // Сервис plus. 2013. № 2. С. 74—81.

Resource saving in construction is an incentive of ecological progress

O. N. BORISOVA

Russian State University of Tourism and Service, village Cherkizovo, Pushkin district,
Moscow region, Russia

This article reveals the problem of resource saving in the production of building materials, discusses the types of man-made raw materials, the study of ways to use alternative sources of raw materials for the production of building materials.

Keywords: technogenic raw materials, building materials, energy efficiency, eco-innovation, production waste, consumption waste.

Bibliography — 10 references.

Received December 4, 2019

УДК 574

Влияние зоопланктона на развитие водорослей и цианобактерий в экспериментальной экосистеме

Т. Н. ГЕРАСИМОВА, канд. биол. наук; П. И. ПОГОЖЕВ, канд. биол. наук

Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

А. П. САДЧИКОВ, д-р биол. наук

Международный биотехнологический центр МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

Разработан метод, позволяющий очищать водоем от цианобактерий и улучшать качество воды, для чего необходимо не менее семи проточных установок.

Ключевые слова: зоопланктон, дафнии, фитопланктон, цианобактерии, цветение водоемов, трофические взаимоотношения, рыбы-планктофаги.

Фильтрующий зоопланктон является естественным биофильтром в пресных и морских водоемах. Сам зоопланктон используется в пищу более крупными беспозвоночными и рыбами [1—3]. В связи с малыми размерами зоопланктон характеризуется интенсивным обменом веществ [4], высокой фильтрационной активностью и плодовитостью [5]. Так, годовая продукция планктонных ракообразных в пресных водоемах в 10—30 раз превосходит среднюю за вегетационный сезон биомассу. Фильтрационная способность его настолько велика, что в эвтрофных водоемах весь объем воды проходит через фильтрационный аппарат зоопланктона всего за несколько суток. В море биомасса зоопланктона значительно меньше, чем в пресных водоемах, но и там объем воды поверхностной зоны, в которой сконцентрирован зоопланктон, за год много раз проходит через фильтрационный аппарат ракообразных [6].

Специальные исследования показали, что зоопланктон профильтровывает до 170 % объема воды в сутки [7]. Это приводит к тому, что при массовом развитии ракообразных снижается количество фитопланктона, меняется его видовой состав, увеличивается прозрачность водоема. Очевидно, что регулирование численности зоопланктеров-фильтраторов открывает новые перспективы в управлении водными экосистемами.

В первой половине 60-х гг. XX в. появились данные, показавшие, что удаление рыб в прудах приводит к изменению видового состава зоопланктона и увеличению размеров особей [8]. В результате внесения в озеро рыб-планктофагов уменьшается средний размер рачков [9]. Это сказывается не только на количестве зоопланктона, но и на видовом составе фитопланктона и химическом составе вод.

Таким образом, появилась возможность влиять с помощью рыб не только на планктонное сообщество,

но и на гидрохимические показатели водоема. При увеличении пресса хищных рыб уменьшается количество планктоядных рыб, что приводит к росту численности крупных по размеру ветвистоусых рачков-фильтраторов и хищных беспозвоночных. Последние снижают количество мелкого зоопланктона. При этом в планктоне начинают преобладать крупные дафнии, которые способны потреблять более крупные виды и колонии водорослей. Мелкий зоопланктон питается только нанопланктонными водорослями [10]. Итак, изменение размерной структуры зоопланктона сказывается на всей пищевой цепочке. Это ведет к увеличению прозрачности воды, уменьшению величин первичной продукции, активной реакции воды и т. д.

Исследования трофических связей привели к тому, что начали изучать многокомпонентные системы водоросли—мирный зоопланктон—планктоядные рыбы—хищные рыбы и оценивать, например, влияние хищных рыб на первичную продукцию. Для этого в экспериментах используют пластиковые сферы большого объема (полиэтиленовые мешки, пластиковые прозрачные трубы, заглубленные в ил, и т. п.).

Так, в двух шведских озерах использовали пластиковые трубы диаметром 3 м и объемом 15 м³, заглубленные в ил. В каждом озере устанавливали емкости с рыбой (лещ, плотва, карась) и без рыбы и следили за составом и количеством фито-, зоопланктона, бентоса и первичной продукции. В емкостях без рыбы численность крупных ветвистоусых и бентоса была выше, прозрачность воды больше, а скорость фотосинтеза ниже, чем в емкостях с рыбой. Было показано, что путем изменения количества "мирных" рыб можно влиять на величину первичной продукции. На этой основе предложен метод регулирования биологической продуктивности озер [11].

Особого внимания заслуживают работы по оздоровлению водоемов, выполненные на небольших озерах. Опыты в полиэтиленовых мешках с внесением рыб-планктофагов и добавлением биогенных элементов показали, что рыбы выедают крупных ракообразных, что приводит к 10-кратному увеличению биомассы фитопланктона [12]. Эксперименты в озерах с удалением "мирных" рыб с помощью ядохимиката ротенона или вселения хищных рыб позволили за 2 года увеличить численность дафний, снизить

Герасимова Татьяна Николаевна, научный сотрудник.

E-mail: gerasiming@gmail.com

Погожев Петр Иванович, ведущий инженер.

E-mail: pogozhev@bk.ru

Садчиков Анатолий Павлович, профессор.

E-mail: aquaescotox@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 8 декабря 2019 г.

© Герасимова Т. Н., Погожев П. И., Садчиков А. П., 2020

количество фитопланктона, в результате чего прозрачность воды возросла с 2 до 5 м [13].

Однако удаление рыб с помощью ядохимикатов отрицательно сказывается на экосистеме озер и водохранилищ. Поэтому в Германии для улучшения качества воды пошли по пути увеличения в водоемах численности хищных рыб. Этот метод управления качеством вод назван экотехнологией. На его основе разработана стратегия управления качеством вод. Примером таких работ могут служить эксперименты, проведенные в водохранилище Баутцен (ФРГ). В водоем вселили судака, и уже через несколько лет в нем начали происходить следующие изменения: снизилась численность мелкого окуня и планктонных рыб, почти в 2 раза увеличилась доля в зоопланктоне *Daphnia galeata*, причем она стала в 2 раза крупнее, с 1,5 до 2,5 м возросла прозрачность воды [14].

Сочетание экспериментов в пластиковых сосудах большого объема и биоманипуляции (т. е. вселение или удаление рыб в водоеме) позволяет анализировать влияние биогенных веществ на состояние экосистемы, но не всегда удается получить желаемые результаты. Неоднозначность результатов объясняется не только трудностями, связанными с контролем воздействия разных форм биогенных элементов на водоросли, но и с трудностями оценки влияния рыб на зоопланктон.

Не вызывает сомнения, что именно благодаря увеличению численности дафний (за счет удаления их потребителей) возрастает прозрачность воды и снижается содержание хлорофилла (т. е. водорослей), так как рачки способны профильтровать весь объем эпилимниона в течение 2—5 дней [15].

Биоманипулирование, при котором в основном регулируют соотношение численности "мирных" рыб—дафний—фитопланктона, как оказалось, влияет и на другие компоненты водных экосистем, например на бактерии и бесцветные жгутиковые. Это показано в опытах с изолированными емкостями объемом 5 м³, заполненными озерной водой. В одни сосуды вносили плотву (общая масса 1,8 кг), в другие — минеральный фосфор до концентрации 227 мкг/л, в третьи — рыбу и фосфор. Кроме того, имелись контрольные емкости. В зоопланктоне озера доминировали *Daphnia galeata* и *Daphnia cucullata*. В безрыбных емкостях биомасса зоопланктона составляла около 0,5 мг С/л, в емкостях с рыбой — почти в 5 раз меньше. Соответственно выедание бактерий крупным зоопланктоном было в 10 раз больше в одних емкостях, чем в других. Трофический пресс рыб приводил к слабому использованию бактерий рачками (в первую очередь за счет снижения их количества), которые потреблялись жгутиковыми. Это приводило к увеличению численности последних до 5 тыс. экз./мл против 0,05—0,23 тыс. экз./мл. Следовательно, потребление рыбой рачков приводит к увеличению численности бактерий и их доступности для питания жгутиковых [16].

Описанные опыты показали принципиальную возможность регулирования первичной продукции озер и химического состава вод за счет изменения структуры пищевой цепи. Более полное понимание функционирования пищевой цепи хищные рыбы—рыбы—планктофаги—зоопланктон—фитопланктон создает теоретический фундамент управления качеством

вод. Имеющийся опыт биоманипулирования показывает, что биологические методы "оздоровления" озер открывают широкие возможности для улучшения качества воды. Научиться управлять биотическими взаимодействиями — одна из основных задач экологии гидросферы. Для успешного применения требуется дальнейшая разработка научных основ этого метода.

Изучение выедания зоопланктона рыбами в природных водоемах — трудоемкая задача. При этом не всегда удается получить положительный результат. Особенно сложно проследить за изменением развития зоопланктона и его влиянием на структуру фитопланктона. Для этого требуются сферы большого объема, с которыми сложно работать. Кроме того, они требуют больших финансовых и людских ресурсов.

В работе авторов использованы проточные экосистемы [17—19], которые позволяют изолировать зоопланктон от рыб-планктофагов. Кроме того, экспериментальные установки соединены с водоемом специальными протоками и легки в эксплуатации. Их можно быстро перемещать по акватории пруда или перевозить в другие водоемы.

Цель работы — изучение развития зоопланктона в естественных условиях (непосредственно в водоеме) и в экспериментальной установке при изоляции сообщества ракообразных от рыб-планктофагов. Осуществлена попытка показать, с какой интенсивностью и за какое время зоопланктон может снизить биомассу цианобактерий в водоеме до приемлемых значений.

Методы исследования

Эксперименты проводили в Чистом пруду г. Москвы в установленных проточных экосистемах. Пруд расположен в центральной части Москвы.

Чистый пруд — наливной. Его используют для рекреационных целей. Он относится к высокотрофному водоему. Площадь акватории пруда 1,5 га, средние и максимальные глубины 1,5 и 2,5 м соответственно. Объем воды в пруду составляет около 15 тыс. м³. В нем отмечены продолжительное цветение цианобактерий и заморные явления. Ихтиофауна пруда состоит из ротана, карася, щуки, окуня, толстолобика, карпа, плотвы, верховки, уклейки и других рыб. Многие из них имеют продолжительный порционный нерест в течение всего вегетационного сезона, из-за чего в пруду постоянно присутствует молодь рыб разного размера [20, 21].

Исследования проводили с 22 июня по 2 октября 2000 г. Отбор проб зоо- и фитопланктона осуществляли еженедельно у входа воды в проточную экосистему. Параллельно отбирали пробы воды из самой экспериментальной экосистемы. Прозрачность воды измеряли с помощью диска Секки. Температуру воды в водоеме измеряли послойно через каждые 20 см от поверхности до дна, а в проточной экосистеме — на глубине 20 см (анализатор Water quality checker U-10, HoriBa, Япония). В водоеме пробы воды для учета фитопланктона отбирали батометром с глубины 20 см. С такой же глубины вода поступала в проточную экосистему, на выходе из которой пробы отбирали для исследования.

Для учета ракообразных пробы воды отбирали планктонной сетью Апштейна из капронового газа № 77 с диаметром входного отверстия 11,5 см. Сеть протягивали вертикально от дна водоема до поверхности. Для учета коловраток применяли трубчатый батометр, вырезающий столб воды от поверхности до глубины 1,2 м. Пробы зоопланктона в проточной экосистеме отбирали емкостью объемом 0,1 л в двух точках в каждой из имеющихся трех секций. Их объединяли и переливали в сосуд до объема 0,5 л. Анализ проб зоопланктона (видовой состав, численность, размер особей, количество яиц в выводковой камере) проводили в камере Богорова под бинокуляром (МБС-9, Россия). Для оценки структуры популяции *Daphnia magna* из пробы отбирали часть особей (45—120 штук) и определяли их размер с помощью окуляр-микрометра с ценой деления 0,05 мм. Биомассу ракообразных вычисляли на основе зависимости массы от длины тела [22]. Биомассу фитопланктона определяли методом приравнивания формы клеток водорослей к наиболее близкому геометрическому телу (метод геометрического подобия фигур) [23]. Фитопланктон по размерному составу был разделен на съедобный для растительноядного зоопланктона (< 50 мкм), условно съедобный (50—100 мкм) и несъедобный (> 100 мкм) [3].

Для экспериментов в пруду использовали две проточные плавающие экосистемы, которые были заякорены в середине водоема. Глубина водоема на этом месте составляла 2 м. Конструкция проточных экосистем подробно описана в работах [18, 21]. Для изоляции зоопланктона от ихтиофауны в качестве фильтра использовали капроновую сетку с ячейей размером 0,5 мм. Конструкцию поддерживали на плаву с помощью поплавков, находящихся между секциями установки. Рабочий объем проточной экосистемы составлял 1,5 м³, полная замена воды происходила в течение одного часа.

Исследовалось, насколько быстро фильтраторы могут снизить количество цианобактерий в экспериментальной установке (в водоеме). Так как в Чистом пруду крупных ракообразных немного из-за их выедания ихтиофауной, во все секции каждой экспериментальной установки были внесены особи *Daphnia magna* Straus 1820 (самки длиной до 6 мм, самцы — до 2 мм). Эти ракообразные относятся к теплолюбивым видам, обитают в водоемах, богатых водорослями и бактериями. Они являются активными фильтраторами. Суточное потребление пищи взрослой *D. magna* может достигать 600 % от массы ее тела [24]. Наряду с бактериями и мелкими водорослями они потребляют колонии цианобактерий длиной до 100 мкм, которые обнаружены в кишечниках [25].

Исходная культура *D. magna* была получена из прудов Московского зоопарка. В некоторых из них присутствовала практически монокультура этих дафний. Внесение *D. magna* в каждую секцию экспериментальной экосистемы осуществляли 26 июня и 5 сентября.

Результаты исследований

Водоем. В пруду за весь период исследования по численности доминировали цианобактерии. В их ди-

намике зафиксировано два максимума. Первый соответствовал второй половине июня, когда доля цианобактерий составляла 95 % численности фототрофов, остальное приходилось на долю зеленых водорослей. Доминировали *Oscillatoria subtilissima* и *Aphanotheca clathrata*, на их долю приходилось немногим более 90 % численности всех водорослей. Второй максимум численности фототрофов был зарегистрирован в августе (99 % численности). Доминировали три вида цианобактерий: *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena spiroides*, *A. clathrata*.

Во второй половине лета по биомассе доминировали *A. spiroides*, на долю которых приходилось до 90 % общей биомассы. Среди цианобактерий большое количество колоний входило в размерную группу съедобных для зоопланктона (размер менее 50 мкм). К примеру, число нитей *A. spiroides* этого размера составляло 85 %. С 7 по 21 августа биомасса цианобактерий *A. spiroides* составляла от 39 до 11 мг/л. В пруду в это время наблюдали наименьшую прозрачность (60—65 см).

Осенью, в конце периода изысканий доля зеленых составила 70 % биомассы фитопланктона. В это время прозрачность воды возросла до 185 см.

Таким образом, в пруду основная масса планктонных водорослей приходилась на долю цианобактерий. По численности и биомассе доминировали *A. spiroides* и *M. aeruginosa*. Зеленые преобладали только в отдельные периоды. Другие отделы водорослей на фоне цианобактерий можно отнести в группы "прочие". Их было совсем немного.

В сообществе зоопланктона пруда зарегистрированы 23 таксона коловраток, 13 видов кладоцер и 3 вида копепод. По численности доминировали коловратки.

Основу биомассы зоопланктона (B_z) составляли коловратки и мелкоразмерные кладоцеры. Среди последних преобладали особи *Ceriodaphnia quadrangula* и *Daphnia longispina*. Длина *C. quadrangula* не превышала 0,55 мм. Средний размер *D. longispina* был в пределах 1 мм. Наибольший размер *D. longispina*, зарегистрированный в конце сентября, не превышал 1,15 мм.

Наименьшее значение биомассы зоопланктона (0,5 мг/л) отмечено в начале августа (7 августа) в период интенсивного цветения цианобактерий. Максимальные значения B_z (2,9 мг/л) отмечены 18 сентября, причем масса коловраток *Polyarthra longiremis* и кладоцер *C. quadrangula* составляла 53 и 20 % B_z . Крупные виды ракообразных, такие как *D. magna*, в пруду отмечены не были из-за их малочисленности.

Как уже отмечалось, в пруду присутствовали рыбы-планктофаги и их мальки, которые питаются крупным зоопланктоном. За счет выедания в пруду в основном развиваются коловратки и небольшие по размеру особи зоопланктона, которые менее чувствительны к трофическому прессу рыб. Необходимо также отметить, что цианобактерии при цветении забивают фильтрационный аппарат ракообразных и отрицательно влияют на питание зоопланктона. Мелкие ракообразные в меньшей степени испытывают отрицательное воздействие цианобактерий. Кроме того, они обладают более высокой репродуктивной способностью. У коловраток из-за иного способа сбо-

ра пищи такого отрицательного воздействия не наблюдается [10]. Таким образом, рыбы и их мальки снижают численность крупного зоопланктона, а крупные колонии цианобактерий не позволяют в полной мере использовать пищу ракообразными. Поэтому зоопланктон при цветении цианобактерий и его выедании ихтиофауной представлен мелкоразмерными особями, которые не играют существенной роли в качестве природного фильтра в подавлении цветения водорослей.

Проточная экосистема. В экспериментальной установке на начальной стадии эксперимента (через 5 суток) начали развиваться цианобактерии, в основном *Oscillatoria subtilissima*, численность которой была в 4 раза больше, чем в водоеме. Затем ее численность стала постепенно понижаться. На 22-е сутки эксперимента (17 июля) численность фитопланктона была в 6 раз ниже таковой в водоеме. Снижение численности и биомассы происходило также за счет уменьшения численности *M. aeruginosa* и *A. spiroides*. В водоеме численность этих видов была в 3 и 8 раз больше, чем в экспериментальной установке. Кроме того, в установке также было зарегистрировано сокращение численности *O. subtilissima*. В пруду ее численность была в 3 раза выше, чем в экспериментальной установке.

В августе численность цианобактерий в пруду начала возрастать. На этом фоне в экспериментальной установке (7 августа) происходило уменьшение численности *A. spiroides* в 3 раза по сравнению с аналогичными показателями в пруду. В период наибольшего развития *A. spiroides* в водоеме число нитей (колоний) этих водорослей длиной менее 50 мкм, 50—100 мкм и более 100 мкм составляло, соответственно 3, 28 и 2 тыс. нитей/мл, что в 18, 3 и 1,5 раз меньше соответствующих значений в водоеме.

В экспериментальной установке на начальной стадии эксперимента (т. е. через 5 суток) биомасса фитопланктона (B_f) была в 2,8 раза выше таковой в водоеме и составляла 6,2 мг/л. Повышение B_f происходило за счет нарастания цианобактерий с 1,0 до 4,2 мг/л. При этом биомасса *A. spiroides* возрастала с 0,1 до 2,3 мг/л. В последующие сутки ее биомасса в проточной экосистеме была ниже таковой в водоеме. При максимальной биомассе *A. spiroides* (7 августа) в водоеме (39,3 мг/л) ее биомасса в проточной экосистеме снизилась в течение одного часа в 2,8 раза (до 14,1 мг/л).

21 августа в экспериментальной установке произошло резкое увеличение развития *M. aeruginosa*, биомасса которой приближалась к 100 % биомассы цианобактерий (744 мг/л). Через неделю значение B_f сократилось в 116 раз (до 6,4 мг/л). Далее биомасса *M. aeruginosa* сократилась до 5,2 мг/л. В сентябре значения B_f в экспериментальной установке не превышали 4,8 мг/л.

В экспериментальной установке доминировали по численности кладоцеры и коловратки, причем преобладали крупноразмерные виды. Численность *D. magna* составляла 85—100 % численности кладоцер и 99—100 % B_s . 17 июля B_f в экосистеме за один час снизилась в 6,5 раз — с 3,9 до 0,6 мг/л. Численность *D. magna* составила 234 экз./л, биомасса — 91 мг/л.

При максимальном цветении нитчатых цианобактерий *A. spiroides* (7 августа) численность *D. magna* составила 2304 экз./л, биомасса — 883 мг/л. В результате B_f в экосистеме снизилась в течение одного часа с 45 до 24 мг/л, биомасса *A. spiroides* — с 39 до 14 мг/л.

Наибольшие значения численности зоопланктона (8630 экз./л) и B_s (5187 мг/л) были зарегистрированы 12 сентября. Эти показатели в 2,8 тыс. раз выше, чем в водоеме.

В начале работы экосистемы численность особей *D. magna* составляла всего 90 экз./л, тогда как в начале сентября численность этого вида достигла 7830 экз./л., т. е. возросла в 87 раз. Биомасса дафний за этот период увеличилась с 45 до 5163 мг/л (в 115 раз). Популяция дафний менялась. Средний размер особей варьировал от 1,5 до 2,3 мм. Его наибольшие значения были зарегистрированы осенью, в конце эксперимента. Минимальный размер особей дафний составлял 0,6 мм, максимальный — 3,6 мм. Минимальный размер половозрелых самок *D. magna* с 30 июня по 31 июля был в пределах 2,4 мм. В августе (период цветения цианобактерий) он составлял 2,0—2,1 мм. В сентябре минимальный размер половозрелых самок составлял, как и в начале лета, 2,4 мм.

В период цветения цианобактерий эфиппийных самок не обнаружено, что указывает на благоприятные условия среды для *D. magna*. В начале лета и осенью до 16 % самок содержали покоящиеся яйца, что указывает на неблагоприятные условия среды. Это может быть как температурный, так и пищевой фактор.

Наибольшая плодовитость *D. magna* (отношение количества яиц в выводковой камере к числу половозрелых особей), зарегистрированная 24 июля, составила 2,3. В период цветения цианобактерий плодовитость дафний составила 1,3—0,8. После завершения цветения цианобактерий (в сентябре) плодовитость возросла до 2,1. В этот период было зарегистрировано наибольшее число яиц (8 штук) в выводковой камере *D. magna*.

Обсуждение результатов

Низкая биомасса зоопланктона в пруду летом (за счет выедания ихтиофауной) создает условия для интенсивного развития цианобактерий. Крупноразмерная *D. magna* в пруду не зарегистрирована из-за ее малочисленности. Зоопланктон в пруду состоит из мелкоразмерных особей, которые не способны подавлять развитие цианобактерий. Это приводит к цветению водоема. Доминируют в это время *A. spiroides* и *M. aeruginosa*.

В экспериментальной установке (экосистеме) изоляция рыб и их мальков привела к развитию крупноразмерных особей (видов) зоопланктона (*D. magna*), которые оказывали воздействие на развитие цианобактерий.

Известно, что метаболиты цианобактерий могут оказывать негативное воздействие на развитие дафний. Кроме того, значительная часть биомассы цианобактерий

нобактерий представлена крупными по размеру нитями (трихомами), которые не потребляются рачками [10]. Так, интенсивное цветение цианобактерий (7—21 августа) привело к снижению размера половозрелых особей и уменьшению их плодовитости.

Увеличение V_F в первые 5—6 суток эксперимента, по-видимому, связано с медленной адаптацией *D. magna* к условиям проточности. Этот вид в природных условиях предпочитает водоемы с небольшими течениями воды.

Проведенные эксперименты показывают, что изоляция рыб приводит к перестройке зоопланктонного сообщества. В экспериментальной экосистеме развиваются крупные виды зоопланктона, которые являются активными потребителями цианобактерий. На благоприятные условия жизни дафний в экосистеме указывают их размер, относительно высокая плодовитость и отсутствие в выводковых камерах самок покоящихся яиц.

Сама экосистема за счет проточности также приводит к сдерживанию роста цианобактерий и тем самым в какой-то мере способствует снижению их цветения. Критерием эффективности работы проточной экосистемы является разность между значениями V_F в водоеме и на выходе из экосистемы в течение определенного периода времени. Время пребывания воды в установке не превышало 1 ч. Логично предположить, что если $V_F > 0$, то происходит очищение водоема за счет потребления водорослей зоопланктоном.

Для предотвращения интенсивного цветения цианобактерий и удержания V_F на оптимальном уровне (около 4 мг/л) оптимальной была бы работа не менее 7 установок (экосистем). Объем пруда 15000 м³, рабочий объем воды в экосистеме 1,5 м³. Это предполагает полную замену воды в ней в течение 1 ч, а за сутки — 36 м³ воды. При этом V_F снижается в 6,5 раз (3,9 до 0,6 мг/л). Для снижения за сутки V_F в 6,5 раз (15000 м³ : 36 м³) необходимо 417 установок. Чтобы удержать биомассу цианобактерий на уровне около 4 мг/л, нужна работа в течение суток 64 экосистем (417: 6,5) или не менее 7 экосистем в течение 10 суток.

Эти расчеты очень приближительны и требуют детализации, но они показывают, с какой скоростью можно добиться приемлемого результата.

Выводы

Трофический пресс ихтиофауны в пруду подавляет развитие крупных видов зоопланктона, развивающиеся мелкие виды неспособны сдерживать развитие цианобактерий в водоеме.

В экспериментальной экосистеме при изоляции рыб развиваются крупные виды зоопланктона, которые снижают биомассу цианобактерий до приемлемых значений.

В экспериментальной экосистеме развиваются крупные особи *D. magna*. Этот вид в природном пруду не был обнаружен из-за низкой численности.

Применение экспериментальных экосистем в реализации потенциальных возможностей крупноразмерного зоопланктона в качестве природного

фильтра позволяет бороться с развитием (цветением) цианобактерий. Для этого необходимо семь проточных установок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гиляров А. М. Динамика численности пресноводных планктонных ракообразных. — М.: Наука, 1987. — 191 с.
2. Герасимова Т. Н., Садчиков А. П. Продукция фитопланктона и ее выедание зоопланктоном // Доклады МОИП. 2016. Т. 62. С. 143—146.
3. Садчиков А. П. Гидробиология: планктон (Трофические и метаболические взаимоотношения). — М.: Изд-во ООО "ПКЦ Альтекс", 2013. — 240 с.
4. Заика В. Е. Удельная продукция водных беспозвоночных. — Киев: Наукова Думка, 1972. — 143 с.
5. Гутельмахер Б. Л. Метаболизм планктона как единого целого. — М.: Наука, 1986. — 155 с.
6. Винберг Г. Г. Особенности водных экологических систем // Журнал общей биологии. 1967. Т. 28. № 5. С. 538—545.
7. Lampert W., Fleckner W., Rai H. B. Phytoplankton control by grazing zooplankton: A study on the spring clear-water phase // Limnol. And Oceanogr. 1986. V. 31. № 3. P. 478—490.
8. Hrbáčes J., Dvorakova M., Korinek V., Prochazkova L. Demonstration of the effect of fish stock on the species composition and the intensity of metabolism of the whole plankton association // Verh. Internat. Verein. Limnol. 1961. Bd. 14. P. 192—195.
9. Brooks J. L., Dodson V. S. I. Predation, body size, and composition of plankton // Science. 1965. V. 150. P. 28—35.
10. Гутельмахер Б. Л., Садчиков А. П., Филиппова Т. Г. Питание зоопланктона // Итоги науки и техники. ВИНТИ. Сер. Общая экология. Биология. Гидробиология. 1988. Т. 6. 155 с.
11. Andersson G., Berggren H., Gronberg G., Gelin C. Effects of planktivorous and benthivorous fish on organisms and water chemistry in eutrophic lakes // Hydrobiologia. 1978. V. 59. № 1. P. 9—15.
12. Lynch M., Shapiro J. Predation, enrichment, and phytoplankton community structure // Limnol. and Oceanogr. 1981. V. 26. № 13. P. 86—102.
13. Schapiro J., Wright D. I. Lake restoration by biomanipulation: Round Lake, Minnesota the first two years // Freshwater Biology. 1984. V. 14. P. 371—383.
14. Bendorf J., Uhlmann D., Putz K. Strategies for water quality management in reservoirs in the German Democratic Republic // Water Quality Bull. 1981. V. 6. № 3. P. 68—73.
15. Vaderploeg H. A., Paffenhöfer G. A. Models of algal capture by the freshwater copepod *Diaptomus sicilis* and their relation to food-size selection // Limnol. And Oceanogr. 1985. V. 30. № 4. P. 871—885.
16. Riemann B. Potential importance of fish predation and zooplankton grazing on natural population of freshwater bacteria // Appl. and Environ. Microbiol. 1985. V. 50. № 2. P. 187—193.
17. Герасимова Т. Н., Погожев П. И. Снижение трофического статуса водоемов с помощью крупноразмерного зоопланктона // Вод. ресурсы. 2002. Т. 29. № 4. С. 450—459.
18. Герасимова Т. Н., Погожев П. И., Садчиков А. П. Развитие зоопланктона в экспериментальной экосистеме // Экология промышленного производства. 2019. № 3 (107). С. 55—58.
19. Gerasimova T. N., Pogozhev P. I., Sadchikov A. P. Suppression of Alga Blooming by zooplankton Filter Feeders in Small Water Bodies // Water Resources. 2018. V. 45. № 2. P. 199—204.
20. Герасимова Т. Н., Погожев П. И. Изучение потенциала фильтраторов пищевых цепей в процессах деэвтрофирования водоемов // Вод. ресурсы. 2008. Т. 35. № 3. С. 370—379.
21. Герасимова Т. Н., Погожев П. И., Садчиков А. П. Подавление цветения цианобактерий зоопланктоном: эксперименты в природных водоемах с использованием проточных экосистем // Экологическая химия. 2019. Т. 28. № 5. С. 258—263.
22. Балущкина Е. В., Винберг Г. Г. Зависимость между массой и длиной тела у планктонных животных // Общие основы изучения водных экосистем. — Л.: Наука, 1979. С. 169—172.
23. Садчиков А. П. Методы изучения пресноводного фитопланктона: методическое руководство. — М.: Университет и Школа, 2003. — 157 с.
24. Ивлева И. В. Биологические основы и методы массового культивирования кормовых беспозвоночных. — М.: Наука, 1969. — 170 с.
25. Богатова И. Б. Питание дафний и диаптомусов в прудах // Тр. Всес. научно-исслед. ин-та прудового рыбного х-ва. 1965. Т. 13. С. 165—178.

Effect of zooplankton on the development of algae and cyanobacteria in an experimental ecosystem

T. N. GERASIMOVA, P. I. POGOZHEV

Water Problems Institute of the RAS, Moscow, Russia

A. P. SADCHIKOV

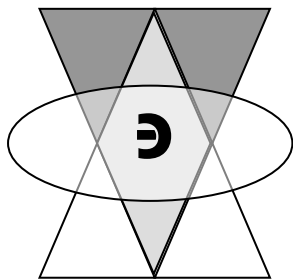
International Research Centre for Biochemical Technology Moscow State University,
Moscow, Russia

This method can be used to clean a water body from cyanobacteria and to improve water quality. This will require at least seven flow-through installations.

Keywords: zooplankton, daphnia, phytoplankton, cyanobacteria, water body blooming, trophic relationships, fish-planktophages.

Bibliography — 25 references.

Received December 8, 2019



Общие вопросы

УДК 622.85:622.33

Об экологическом рейтинге угольных компаний (Обзор)

А. А. ХАРИОНОВСКИЙ, д-р техн. наук

ООО «Межотраслевой научно-исследовательский и проектно-технологический институт экологии топливно-энергетического комплекса», г. Пермь, Россия

М. Ю. ДАНИЛОВА

ФГБУ "Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН", Москва, Россия

Проведен обзор литературных данных о состоянии и развитии системы экологических рейтингов в России. Кратко изложены существующие методики проведения экологических рейтингов, предложенные различными организациями, и результаты осуществленных рейтингов. Отмечено, что разработанные методики несовершенны, не учитывают специфику угольной промышленности, в связи с чем их применение для определения экологических рейтингов угольных компаний и предприятий не позволяет получить объективные результаты. Предложена методика проведения экологических рейтингов угольных компаний и предприятий, основанная на использовании в качестве критериев экологичности среднегодовых удельных показателей негативного воздействия на окружающую среду и среднегодовых удельных показателей эффективности природоохранной деятельности. Представлен алгоритм проведения экологических рейтингов угольных компаний.

Ключевые слова: экологический рейтинг, состояние, методика, оценка, угольные компании, критерии экологичности, алгоритм проведения, результаты.

Система экологических рейтингов в России начала формироваться как дополнение к правовому регулированию в сфере охраны окружающей среды и как один из действенных инструментов повышения эффективности природоохранной деятельности регионов, отдельных территорий, городов, отраслей экономики, производственных компаний и промышленных предприятий. Роль экологических рейтингов заключается в том, что они позволяют [1, 2]:

- отразить в простой и доступной для понимания общественности форме результаты природоохран-

ной деятельности регионов и промышленных предприятий;

- обеспечить доступ к достоверной экологической информации со стороны рыночных институтов и общества;

- оказать влияние на выполнение принципов и совершенствование целевых показателей экологической политики со стороны промышленных предприятий и администрации регионов под воздействием общественного мнения и средств массовой информации;

- поддерживать и развивать конструктивный диалог между контрольно-надзорными органами, администрацией региона, предприятиями и гражданским обществом для эффективного решения экологических проблем территорий.

В качестве основы при установлении экологических рейтингов рекомендуется использовать следующие источники информации [1, 2]:

- статистическая отчетность промышленных предприятий;

Харионовский Анатолий Алексеевич, заместитель генерального директора.

E-mail: mniiekotek2009@yandex.ru

Данилова Марина Юрьевна, аспирант.

E-mail: danilovamarina15@mail.ru

Статья поступила в редакцию 10 декабря 2019 г.

© Харионовский А. А., Данилова М. Ю., 2020

- отчетность государственных надзорных органов, в том числе акты проверок и протоколы нарушений, а также данные о наложенных мерах и взысканиях;
- жалобы со стороны общественности;
- исследования (обзоры) и другие аналитические документы, в которых рассматриваются характеристики предприятий и их природоохранная деятельность.

Цель экологических рейтингов — выявление как экологически благополучных, так и экологически неблагополучных регионов, городов или промышленных предприятий. Результаты экологических рейтингов могут служить основой для разработки прогнозов социально-экономического развития, планирования и реализации хозяйственной деятельности, разработки и осуществления экологических программ и организационно-технических мероприятий по охране окружающей среды. Объективность экологических рейтингов обеспечивается при условии использования при их установлении достоверных, преимущественно количественных критериев и индикаторов.

Единой общепринятой методики определения экологических рейтингов не существует. На основе изложенных общих положений различными организациями предложено несколько методик определения экологических рейтингов.

В 2000 г. Международным социально-экологическим союзом (МСоЭС) и Независимым экологическим рейтинговым агентством BioDat была разработана методика оценки социально-экологических издержек производства, предназначенная для расчета рейтингов экологических издержек для различных отраслей экономики, регионов и крупных корпораций [3]. Методика основана на использовании следующих параметров воздействия на окружающую среду: объемы поглощаемой из природных источников воды, сброса загрязненных сточных вод в поверхностные водоемы, выбросов вредных веществ в атмосферу от стационарных источников и транспортных средств, образования токсичных отходов, а также площадь нарушенных земель, которые отражаются в официальной статистической отчетности. Эти параметры соотносят с численностью работников, занятых в производстве, и сопоставляют со средними значениями для экономики России в целом.

Проведенный МСоЭС в 2002 г. рейтинг отраслей топливно-экономического комплекса (ТЭК) с использованием данной методики показал, что по величине экологических издержек они располагаются следующим образом: электроэнергетика — 16,27; газовая отрасль — 13,52; угольная отрасль — 8,59; нефтедобыча — 5,37; нефтепереработка — 4,51 [3].

В 2007 г. автономной некоммерческой организацией "Независимое экологическое рейтинговое агентство" (АНО "НЭРА") разработана методика определения экологического рейтинга регионов. Методика базируется на использовании количественных критериев (показателей), объединенных в два основных блока и один вспомогательный блок, каждый из которых содержит 5 показателей [4].

В первом блоке — "Воздействие человека на окружающую среду" — учтены выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных и пере-

движных источников, загрязнение водоемов сточными водами, образование отходов I–IV классов опасности, нарушение природной растительности, обеднение фауны.

Во втором блоке — "Активность окружающей среды" — учтены показатели сокращения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, объемов использования воды и сброса загрязненных сточных вод, экологическая прозрачность бизнеса, территориальная охрана экосистемы особо охраняемых природных территорий (ООПТ), рейтинг региональных СМИ по уровню внимания к вопросам экологии.

Вспомогательный третий блок — "Устойчивость — уязвимость природной среды" — включает показатели, характеризующие экологическую устойчивость природной среды регионов при антропогенных воздействиях. Эти показатели не зависят от уровня природоохранной деятельности и поэтому не учитывались при экологической оценке.

Ранжирование регионов в каждом блоке проводили по сумме мест, занятых по используемым показателям, а результирующий экологический рейтинг определяли по сумме мест в обоих блоках. В рейтинге участвовало 89 регионов. По результатам рейтинга на первых 5 местах расположены Камчатская область, Адыгея, Тыва, Бурятия, Иркутская область.

Общественным советом при Росприроднадзоре разрабатывается методика расчета экологических рейтингов регионов и промышленных предприятий на основе статистических показателей по использованию природных ресурсов и охране окружающей среды. Для рейтинговой оценки предусматривается использование 2 категорий показателей [1, 2]:

- оценка экологической эффективности, отражающая информацию об усилиях, предпринимаемых руководством регионов или предприятий, направленных на повышение экологической эффективности, и информацию об экологической эффективности региона или предприятия;
- состояние окружающей среды, характеризующее фактическое или потенциальное воздействие на окружающую среду экологических аспектов деятельности.

Рейтинговым агентством Ernst & Yong по заказу Минприроды России разработана методика экологического рейтинга регионов, отдельных территорий и городов [5]. В основу методики положены следующие принципы:

- ориентация на повышение эффективности регулирования экологических проблем администрациями территорий и городов;
- компенсация различий в масштабах и особенностях экономики и структуры городов за счет максимального использования удельных показателей;
- ориентация на количественные статистические показатели, доступные для большинства городов, участвующих в рейтинге;
- проверка и контроль качества данных;
- стимулирование наиболее полного предоставления информации.

Экологический рейтинг определяют по семи категориям: воздушная среда, водопотребление, обращение с отходами, использование территорий,

транспорт, энергопотребление, управление воздействием на окружающую среду. По каждой категории рейтинга определяют значения целого ряда показателей.

В проведенном в 2014 г. по данной методике экологическом рейтинге приняли участие 94 города, включая столицы субъектов РФ, города федерального значения и 9 других городов. По результатам рейтинга первые места заняли Москва, Горно-Алтайск, Краснодар, Воронеж, Пермь [5].

В работе [3] приведены результаты определения рейтинга экологических издержек производства по ТЭК в сравнении со средними показателями по промышленности на основе официально опубликованных данных по удельным выбросам загрязняющих веществ в атмосферу, удельным сбросам загрязненных сточных вод в поверхностные водоемы, удельному забору свежей воды, удельной площади нарушенных земель, удельному образованию токсичных отходов в расчете на 1 человека, занятого в производстве. Расчеты показали, что интегральный показатель экологических издержек производства в ТЭК превышает средний показатель по промышленности в 3,9 раза. Удельные выбросы загрязняющих веществ в ТЭК превышают средний показатель по промышленности в 4,34 раза, удельный сброс загрязненных сточных вод — в 1,86 раза, удельный забор свежей воды — в 6,5 раза, удельная площадь нарушенных земель — в 5,4 раза, удельное образование отходов — в 1,5 раза.

Аналогичные расчеты выполнены по отраслям ТЭК в сравнении со средними показателями по ТЭК в целом [3]. В результате установлено, что интегральный показатель экологических издержек производства составил в угольной отрасли 1,284, в электроэнергетике 1,067, в газовой отрасли 0,96, в нефтепереработке 0,78, в нефтедобыче 0,602. Полученные данные позволили выделить виды максимального воздействия на окружающую среду. В угольной промышленности такими видами воздействия являются образование токсичных отходов, нарушение земель и сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водоемы, в электроэнергетике — забор свежей воды, сброс загрязненных сточных вод, нарушение земель, в газовой отрасли — выбросы в атмосферу, нарушение земель, в нефтедобывающей и нефтеперерабатывающих отраслях — выбросы в атмосферу, сброс загрязненных сточных вод.

По инициативе Всемирного фонда дикой природы (WWF) России и проекта ПРООН/ГЭФ/ Минприроды России "Задачи сохранения биоразнообразия в политике и программах развития энергетического сектора России" в течение 2015—2017 гг. реализован "Проект экологического рейтинга горнодобывающих и металлургических компаний России" [6]. В рамках проекта разработана и опробована методика экологического рейтинга и выполнен расчет рейтинга. Рейтинг определяли по трем разделам: экономический менеджмент, воздействие на окружающую среду, раскрытие информации (прозрачность).

В разделе "Экологический менеджмент" использовали критерии:

- наличие системы экологического менеджмента, сертифицированной на соответствие российским и международным стандартам ISO 14001/ГОСТ Р ИСО 14001;

- наличие экологической политики компании (или иных утвержденных компанией документов);

- политика (или иной утвержденный компанией документ) по взаимодействию с местным населением, ведущим традиционный образ жизни;

- программа по энергоэффективности;

- наличие программы/плана по сохранению биоразнообразия в регионах присутствия компании;

- наличие дражной отработки месторождения в бизнес-практике компании;

- производственный и экологический контроль деятельности подрядчиков, физически осуществляющих работы на производственных площадках компании;

- добровольное страхование экологических рисков.

В разделе "Воздействие на окружающую среду" использованы критерии:

- удельные выбросы в атмосферу SO_2 , NO_x , твердых взвешенных частиц, парниковых газов;

- удельное водоотведение загрязненных вод, не проходящих очистку, на рельеф и в поверхностные водоемы, доля нормативно очищенных сточных вод в % от общего объема водоотведения, удельное водопотребление на собственные нужды компании, оборотное водопользование;

- отношение суммы утилизированных и обезвреженных отходов (1—4-й классы), отношение суммы утилизированных и обезвреженных отходов горных пород к количеству отходов горных пород, находящихся в обращении;

- отношение площадей нарушенных земель на конец и на начало года;

- удельная частота инцидентов с негативными последствиями для окружающей среды, зафиксированных государственными органами;

- доля сверхнормативных платежей в общем объеме платы за негативное воздействие на окружающую среду;

- энергопроизводство из возобновляемых источников энергии, в том числе для собственных нужд;

- наличие работ (изучение запасов, добыча, первичная обработка и сопутствующая инфраструктура) на экологически чувствительных территориях.

В разделе "Раскрытие информации (прозрачность)" использованы критерии:

- наличие нефинансовой отчетности в соответствии с требованиями Руководства GRI (Global Reporting Initiative);

- внешнее подтверждение (заверение) нефинансовой отчетности (проверка достоверности);

- доступность документации по оценке воздействия на окружающую среду (например, ОВОС) для общественности с обязательным размещением в сети;

- доступность планов ликвидации аварий (в части воздействия на окружающую среду) и/или аналогичных документов по готовности к ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) для общественности с обязательным размещением в сети Интернет;

- информирование общественности о наличии спорных экологических ситуаций на территориях присутствия компании, включая деятельность компаний-подрядчиков;

- наличие установленного порядка работы с обращениями граждан;
- доступность за отчетный период на сайте или в открытых источниках информации, соответствующей разделу 1;
- доступность за отчетный период на сайте или в открытых источниках информации, соответствующей разделу 2.

При проведении рейтинга для каждой компании каждому критерию присваивают цветовой уровень: зеленый, желтый, красный. Красному уровню присваивают значение 0, желтому — 1, зеленому — 2 и выводят среднеарифметическое значение по каждому разделу для каждой компании. Затем проводят определение рейтинга компаний по каждому из трех разделов. Расчет итогового рейтинга компаний проводят путем осреднения трех значений для каждой компании. В проведении экологического рейтинга участвовали 33 горнодобывающие и металлургические компании, которые распределили в соответствии с полученными результатами.

Выполненный анализ состояния и развития системы экологических рейтингов в России с учетом работы [7] позволил сделать следующие выводы.

1. Интерес к экологическим рейтингам непостоянен, периоды повышенного интереса сменяются периодами спада.

2. В России действует ряд различных организаций, предоставляющих услуги в сфере экологического рейтинга (АНО "НЭРА", Международный социально-экологический союз (МСоЭС), BioDat group, Российское представительство Всемирного фонда дикой природы (WWF) и другие), причем их количество растет. Эти организации используют различные методики и по-разному определяют цели и задачи проводимых ими экологических рейтингов.

3. Ключевой проблемой экологических рейтингов является объективность результатов, которая зависит от обоснованности методики расчета, структуры, достоверности и репрезентативности исходной информации.

4. Слабыми (негативными) сторонами проводимых экологических рейтингов являются следующие:

- экологические рейтинги ориентированы преимущественно на бизнес, зачастую проводятся в интересах определенных территорий, отраслей экономики и компаний, рекламы товаров и услуг;
- при проведении экологических рейтингов, как правило, в недостаточной степени учитывают специфические особенности территорий, отраслей, природопользователей, в том числе форм природопользования, видов и объемов негативного воздействия на окружающую среду.

5. Большое количество используемых показателей (критериев) экологичности, в том числе качественных (уровень экологического менеджмента и экологической ответственности, наличие природоохранных планов, программ и мероприятий, степень прозрачности деятельности и спонсорская деятельность в сфере экологии, публикации в СМИ и многие другие), вызывает большие затруднения при сборе исходной информации и не дает гарантий достоверности и высокого качества результатов проводимых экологических рейтингов.

Для угольных компаний и предприятий специальная методика проведения экологического рейтинга не разработана. Существующие методики не учитывают специфики отрасли и не адаптированы к ее условиям. Использование существующих методик для этой цели, во-первых, потребует сбора большого объема исходных данных и значительных затрат времени на их сбор и обработку, во-вторых, что более важно, не гарантирует получения объективных результатов.

Степень негативного воздействия на окружающую среду отдельного угольного предприятия и компании в целом зависит от большого количества факторов, которые могут быть объединены в три группы:

- природные факторы (гидрогеологические и горно-геологические условия разрабатываемых месторождений, природно-климатические условия района размещения предприятий);
- производственно-технические факторы (подземный и открытый способы разработки, технология горных работ, объем добычи угля, применяемое горно-транспортное оборудование);
- природоохранные факторы (перечень применяемых природоохранных мероприятий, масштабы их применения, достигаемая эффективность).

Первые две группы факторов определяют степень экологической опасности угольных предприятий и компаний для окружающей среды. Третья группа факторов определяет уровень осуществляемой на угольных предприятиях и в угольных компаниях природоохранной деятельности.

Угольные месторождения России характеризуются большим разнообразием гидрогеологических, горно-геологических и горнотехнических условий разработки. Они расположены в различных природно-климатических зонах. Масштабы производства, номенклатура выпускаемой продукции, используемые технологии и оборудование также весьма разнообразны. Комплекс применяемых природоохранных мероприятий формируется с учетом условий конкретного предприятия. Их состав и эффективность также различаются весьма существенно. В связи с этим каждое угольное предприятие и каждая угольная компания с экологической точки зрения являются уникальными.

Экологическая оценка угольных предприятий и компаний обычно осуществляется исходя из абсолютных объемов сбросов и выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду, нарушения земель и образования отходов производства. Такая оценка не учитывает особенности и объемы производства, масштабы применения и эффективность применяемых природоохранных мероприятий. Для более объективного определения степени опасности для окружающей среды и экологического рейтинга угольных предприятий и компаний целесообразно использовать в качестве критериев удельные показатели, которые могут быть разделены на две группы.

Первая группа критериев — это средние за год удельные показатели, характеризующие степень негативного воздействия угольных предприятий и компаний на окружающую среду, а именно:

- сброс загрязненных сточных вод в водные объекты;
- выброс загрязняющих веществ в атмосферу;

- площадь нарушенных земель;
- объем размещения отходов во внешних породных отвалах.

Вторая группа критериев представлена средними за год удельными показателями угольных предприятий и компаний, характеризующими эффективность природоохранной деятельности:

- сброс нормативно-очищенных сточных вод;
- количество уловленных загрязняющих веществ в выбросах в атмосферу;
- площадь рекультивированных земель;
- количество использованных отходов производства.

Удельные показатели негативного воздействия угольных предприятий и компаний на окружающую среду и удельные показатели эффективности природоохранной деятельности определяют расчетом на основании данных годовых форм федерального статистического наблюдения: 70-ТП (сведения об извлечении полезных ископаемых при добыче), 2-ТП (водхоз), 2-ТП (воздух), 2-ТП (рекультивация), 2-ТП (отходы), 71-ТП (сведения о комплексном использовании полезных ископаемых при обогащении и металлургическом переделе вскрышных пород и отходов производства).

По каждому среднегодовому удельному показателю негативного воздействия на окружающую среду

первой группы (сброс загрязненных сточных вод в водные объекты, выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, нарушение земель и размещение отходов производства во внешних породных отвалах) определяют в порядке возрастания показателей порядковый номер угольного предприятия или угольной компании и сумму мест по этим показателям.

По каждому среднегодовому удельному показателю эффективности природоохранной деятельности второй группы (очистка сточных вод, очистка выбросов в атмосферу, рекультивация нарушенных земель, использование отходов производства) определяют в порядке снижения показателей: порядковый номер угольного предприятия или угольной компании и сумму мест по этим показателям. Затем путем сложения по каждому угольному предприятию или угольной компании занимаемых ими мест по показателям негативного воздействия на окружающую среду и по показателям эффективности природоохранной деятельности определяют итоговую сумму мест и занимаемое место в экологическом рейтинге угольных предприятий или угольных компаний.

В табл. 1—5 в соответствии с изложенной методикой представлен алгоритм определения экологического рейтинга по итогам работы в 2018 г. двадцати наиболее крупных угольных компаний с объемами добычи угля свыше 3,5 млн т в год.

Таблица 1

Годовые показатели, служащие исходными данными для определения экологического рейтинга угольных компаний

Угольная компания (УК), №	Объем добычи угля, тыс. т	Объем сброса загрязненных сточных вод, тыс. м ³	Объем сброса нормативно-очищенных сточных вод, тыс. м ³	Количество выброшенных в атмосферу загрязняющих веществ, т	Количество уловленных загрязняющих веществ в выбросах в атмосферу, т	Площадь нарушенных земель, га	Площадь рекультивированных земель, га	Объем отходов, размещенных во внешних породных отвалах, тыс. т	Объем использованных отходов, тыс. т
1	110 326	98 730	27 060	288 773	9 507	2 412,8	225,8	62 261	358 562
2	44 982	37 200	73	58 114	4 740	1077,4	0	531 142	291 910
3	25 878	7 218	5 158	11 144	4 426	417,8	0	87 619	355 764
4	18 813	63	20 411	35 950	15 100	454,8	14,3	36 470	139 573
5	15 663	0	1 832	2 735	366,0	207,0	0	33 437	149 998
6	14 046	33 939	481	2 782	145	310,8	36,4	10 401	70 228
7	13 046	5 735	1 770	7 973	465	877,6	29,3	378 394	165 743
8	12 854	5 400	0	4 568	2 010	1 074,3	0	2 047	114 290
9	12 740	12 440	0	78 680	3 101	239,3	0	64 228	33 628
10	12 420	1 628	5 223	37 887	1 011	667,3	173,5	50 777	75 906
11	10 360	18 017	6510	194 356	421 668	267,6	0	2 074	19
12	9 620,6	18 334	0	139 350	7 582	98,7	0	4 251	133
13	9 299,4	110	0	2 097	0	236,1	3,8	81 917	8 077
14	7 230,9	2 146	0	4 011	0	102,3	0	120 080	9 994
15	6 905	0	20 410	29 550	6 168	72,5	14,3	17 241	54 348
16	5 242,9	14 995	0	23 720	2 016	11,9	0	0	888
17	4 926,7	9 438	0	42 757	746	97,0	1,1	2 621	0
18	4 511,5	2 782	1 742	72 217	451	0	0	0	12
19	4 497,7	1 488	2 173	1 767	438	104	0	0	0
20	3 589,3	1 816	0	2 058	439	0	0	0	1,8

Таблица 2

Среднегодовые удельные показатели (критерии) при определении экологического рейтинга угольных компаний

Угольная компания (УК), №	Сброс загрязненных сточных вод, м³/т	Нормативно-очищенные сточные воды, м³/т	Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, кг/т	Уловленные загрязняющие вещества в выбросах в атмосферу, кг/т	Нарушенные земли, га/млн т	Рекультивированные земли, га/млн т	Размещение отходов во внешних породных отвалах, т/т	Использование отходов, т/т
1	0,89	0,25	2,62	0,086	21,9	2,05	0,56	3,25
2	0,83	0,002	1,29	0,105	24,0	0	11,81	6,49
3	0,28	0,20	0,43	0,171	16,1	0	3,39	13,75
4	0,003	1,08	1,91	0,803	24,2	0,76	1,94	7,42
5	0	0,12	0,17	0,023	13,2	0	2,13	9,58
6	2,42	0,03	0,20	0,010	22,1	2,59	0,74	5,00
7	0,44	0,14	0,61	0,036	67,3	2,25	29,0	12,70
8	0,42	0	0,36	0,156	83,6	0	0,16	8,89
9	0,98	0	6,18	0,243	18,8	0	5,04	2,64
10	0,13	0,42	3,05	0,081	53,7	13,97	4,09	6,11
11	1,74	0,63	18,76	40,70	25,8	0	0,20	0,002
12	1,91	0	14,48	0,788	10,3	0	0,44	0,014
13	0,01	0	0,23	0	25,4	0,41	8,81	0,87
14	0,30	0	0,55	0	14,1	0	16,6	1,38
15	0	2,96	4,28	0,893	10,5	2,07	2,50	7,87
16	2,86	0	4,52	0,385	2,3	0	0	0,17
17	1,92	0	8,68	0,151	19,7	0,22	0,53	0
18	0,62	0,39	16,00	0,100	0	0	0	0,003
19	0,33	0,48	0,39	0,097	223,1	0	0	0
20	0,51	0	0,57	0,122	0	0	0	0,0005

Таблица 3

Рейтинг угольных компаний по удельным показателям (критериям) негативного воздействия на окружающую среду

Угольная компания (УК)	Сброс загрязненных сточных вод	Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу	Нарушенные земли	Размещение отходов во внешних породных отвалах	Сумма мест
1	13	12	10	6	41
2	12	10	13	15	50
3	5	6	7	11	29
4	2	11	14	8	35
5	1	1	5	9	16
6	18	2	11	7	38
7	9	9	18	17	53
8	8	4	19	2	33
9	14	16	8	13	51
10	4	13	17	12	46
11	15	20	16	3	54
12	16	18	3	4	41
13	3	3	15	14	35
14	6	7	6	16	35
15	1	14	4	10	29
16	19	15	2	1	37
17	17	17	9	5	48
18	11	19	1	1	32
19	7	5	12	1	25
20	10	8	1	1	20

Таблица 4

Рейтинг угольных компаний по удельным показателям (критериям) эффективности природоохранной деятельности

Угольная компания (УК), №	Сброс нормативно-очищенных сточных вод	Уловленные загрязняющие вещества в выбросах в атмосферу	Рекультивированные земли	Использованные отходы	Сумма мест
1	7	14	5	10	36
2	12	11	9	7	39
3	8	7	9	1	25
4	2	3	6	6	17
5	10	17	9	3	39
6	11	18	2	9	40
7	9	16	3	2	30
8	13	8	9	4	34
9	13	6	9	11	39
10	5	15	1	8	29
11	3	1	9	17	30
12	13	4	9	15	41
13	13	19	7	13	52
14	13	19	9	12	53
15	1	2	4	5	12
16	13	5	9	14	41
17	13	9	8	19	49
18	6	12	9	16	43
19	4	13	9	19	45
20	13	10	9	18	50

Таблица 5

Итоговый экологический рейтинг угольных компаний

Угольная компания (УК), №	Сумма мест по показателям негативного воздействия на окружающую среду	Сумма мест по показателям эффективности природоохранной деятельности	Итоговая сумма мест	Занимаемое место в экологическом рейтинге
1	41	36	77	10
2	50	39	89	18
3	29	25	54	3
4	35	17	52	2
5	16	39	55	4
6	38	40	78	11
7	53	30	83	14
8	33	34	67	5
9	51	39	90	19
10	46	29	75	8
11	54	30	84	15
12	41	41	82	13
13	35	52	87	16
14	35	53	88	17
15	29	12	41	1
16	37	41	78	12
17	48	49	97	20
18	32	43	75	9
19	25	45	70	6
20	20	50	70	7

ЛИТЕРАТУРА

1. Малышевский А. Ф., Степанов К. А. Система экологических рейтингов как инструмент повышения эффективности природоохранной деятельности: доклад на Межд. конф. "Экологический аудит в России. Перспективы развития". — М., 1 июня 2012 г.
2. Малышевский А. Ф. Создание системы экологических рейтингов // Экология производства. 2012. № 9. С. 10—15.
3. Глухова М. В. Методические подходы к оценке экологической эффективности деятельности предприятий [Электронный ресурс]. Код доступа: cjin.ru/press/practicob/2005-09/06.shtml
4. Методика и результаты составления экологического рейтинга регионов за 2007 год [Электронный ресурс]. Код доступа: npera.biodat.ru
5. Арустамов Э. А. Рейтинги и критерии оценки экологического состояния городов и регионов России // Интернет-журнал "Науковедение". 2017. Т. 9. № 4. http://naukovedenie.ru/PDF/41_EVN_417.pdf
6. Рейтинг экологической ответственности горнодобывающих и металлургических компаний России 2017. Проект ПРООН /ГЭФ/ Минприроды России "Задачи сохранения биоразнообразия в политике и программах развития энергетического сектора России". Национальное рейтинговое агентство.
7. Милько Д. М. экологические рейтинги в России // Проблемы региональной экологии. 2006. № 2.

On the environmental rating of coal companies (Review)

A. A. HARIONOVSKIY

LLC "Interbranch Scientific-Research and Design Institute of Ecology of the Fuel and Energy Complex", Perm, Russia

M. Yu. DANILOVA

V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Literary data on the state and development of the environmental rating system in Russia are presented. The existing methods of environmental ratings proposed by different organizations and the results of the ratings are summarized. It is noted that the developed methods are imperfect, do not take into account the specifics of the coal industry, so their use to determine environmental ratings of coal companies and enterprises will not allow to get objective results. Proposed method of conducting environmental ratings of coal companies and enterprises, based on the use as criteria of ecology of the average annual data of negative impact on the environment and the average annual indicators of environmental performance. The algorithm for conducting environmental ratings of coal companies is presented.

Keywords: environmental, condition, methodology, evaluation, coal companies, environmental criteria, conduct algorithm, results.

Bibliography — 7 references.

Received 12 December, 2019

Экология промышленного производства: Межотр. науч.-практ. журнал / ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас», 2020. Вып. 1. С. 1—56.

Редактор *О. А. Константинова*

Компьютерная верстка: *Н. В. Ильина, К. В. Трыкина*

Подписано в печать 19.02.2020.

Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 6,5. Уч.-изд. л. 6,8.

Тираж 250 экз. Заказ 1945.

Свободная цена.

Адрес редакции: 125424, Москва,

Волоколамское ш., 77. ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас».

<http://ntckompas.ru>

Отпечатано в ООО "РАПИТОГРАФ".

117342, Москва, ул. Бутлерова, д. 17Б.

Индекс 80090.