

ЭКОЛОГИЯ

промышленного
производства



МЕЖОТРАСЛЕВОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

Выпуск 4
Москва 2021





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 науки и высшего образования 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: izdanie@ntckompas.ru

ЭКОЛОГИЯ

промышленного

производства

МЕЖОТРАСЛЕВОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

Выпуск 4 (116)

Издается с 1993 г.

Москва 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ, УТИЛИЗАЦИЯ И ПЕРЕРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Шубов Л. Я., Анисимова М. Р., Доронкина И. Г., Скобелев К. Д.
Аналитическая оценка и систематизация технологий извлечения
редкоземельных металлов из отходов производства..... 2

ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДООЧИСТКА

Сотникова Е. В., Метечко Л. Б. Ресурсосберегающая технология
очистки сточных вод окрасочных камер высокотехнологичных пред-
приятий..... 10

Волкова В. Н., Кунденко С. Б., Головин В. Л. Методы снижения
негативного воздействия возвратных вод на биологическую очистку.... 17

ОЧИСТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ

Володин А. М., Киселева О. А., Строков А. А. Очистка дымовых
газов от оксидов азота двухступенчатым методом восстановления
аммиачными соединениями..... 23

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

Овчинников Е. В., Овчаренко А. С. Проблемы и пути снижения
выбросов углекислого газа от транспорта, промышленного производ-
ства и коммунального хозяйства 28

Мещурова Т. А., Ходяшев М. Б. Информационно-технические
справочники НДТ, прогноз изменений качества воды поверхностных
водных источников и возможных последствий..... 33

Холстов В. И., Демидюк В. В. Принципы создания экологически
безопасных производств химической промышленности 37

Тетельмин В. В. Антропогенные выбросы парниковых газов и
формула глобального потепления 46

ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И ЛИКВИДАЦИЯ ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

Яковлев С. Ю., Шемякин А. С. Промышленно-экологическая и са-
нитарно-эпидемиологическая безопасность: введение в проблему 53

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Федоткин Р. С., Дегтярев Н. И., Дмитриев К. С., Овчаренко А. С.
Роботизированное транспортное средство с минимальным воздей-
ствием на окружающую среду 59

Крючков В. А., Дегтярев Н. И., Овчаренко А. С., Дмитриев К. С.,
Обзор современных роботизированных средств для обеспечения
экологической безопасности среды, представленных на форуме
АРМИЯ 2021..... 64

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 содей-
ствия 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»

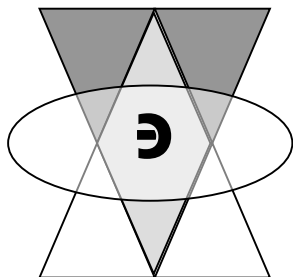
Редакционный совет:

М. Ч. Залиханов, акад. РАН, проф., советник РАН;
А. М. Амирханов, канд. биол. наук, зам. руководителя
Федеральной службы по надзору в сфере природо-
пользования; 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 тех-
нологического университета; Я. И. Вайсман, д-р
мед. наук, проф., Пермский национальный ис-
следовательский политехнический университет;
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 универ-
ситет 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., генераль-
ный директор ОАО «МосводоканалНИИпроект»;
И. Ш. Сайфуллин, д-р хим. наук, проф.,
зам. директора Научно-исследовательского ин-
ститута инновационного развития промышленно-
сти Российского экономического университета
им. Г. В. Плеханова; В. А. Тенев, д-р физ.-мат.
наук, проф., Ижевский государственный тех-
нический университет им. М. Т. Калашникова;
В. В. Тетельмин, д-р техн. наук, проф., член
Общественного совета при Минэнерго РФ, Рос-
сийский университет дружбы народов; Ю. В. Тро-
фименко, д-р техн. наук, проф., директор Науч-
но-исследовательского института энергоэкологи-
ческих проблем автотранспортного комплекса
при МАДИ

© Федеральное государственное унитарное пред-
приятие «Научно-технический центр оборонного ком-
плекса «Компас» (ФГУП «НТЦ оборонного комплекса
«Компас»), 2021



Обезвреживание, утилизация и переработка промышленных отходов

УДК 504.064.4

DOI: 10.52190/2073-2589_2021_4_2

Аналитическая оценка и систематизация технологий извлечения редкоземельных металлов из отходов производства

Л. Я. ШУБОВ, д-р техн. наук; *М. Р. АНИСИМОВА*

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

И. Г. ДОРОНКИНА, канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет туризма и сервиса»,
дп. Черкизово, Городской округ Пушкинский, Московская обл., Россия

К. Д. СКОБЕЛЕВ

ФГБОУ ВО «МИРЭА — Российский технологический университет», Москва, Россия

Приведена систематизированная информация о ресурсосберегающих технологиях как базовой основы вовлечения в хозяйственный оборот металлосодержащего вторичного сырья. Совокупность расположенных в определённой последовательности независимых технологий, решающих задачи ресурсосбережения, позволяет сравнить специфические особенности и эффективность применения каждой из них, детали и особенности процессов. Показано, что извлечение редкоземельных элементов (РЗЭ) из отходов химического производства осуществляют преимущественно с применением гидрометаллургических технологий: обработка отходов кислотой (серной, азотной, фосфорной, соляной) с переводом РЗЭ в раствор с последующим их извлечением из раствора с применением разных способов (обработка реагентом-осадителем, ионная флотация, ионообменная технология). Отмечены лучшие технологические показатели процессов переработки техногенного сырья. Для оценки качества техногенного сырья и его пригодности к комплексной переработке и утилизации использована методология аналитического исследования совокупности запатентованных технологических решений (технологические пробы отобраны на реальных техногенных месторождениях).

Ключевые слова: ресурсосбережение, технология, металлы, переработка, извлечение, исследование, методология, вторичные ресурсы, обогатимость.

К редкоземельным металлам (редкоземельным элементам, РЗЭ) относят иттрий, лантан и лантаноиды

Шубов Лазарь Яковлевич, профессор, старший научный сотрудник.

E-mail: l.shubov@eipc.center

Анисимова Мария Рубеновна, начальник отдела промышленной экологии.

E-mail: m.anisimova@eipc.center

Доронкина Ирина Геннадиевна, доцент.

E-mail: doronkinaig@mail.ru

Скобелев Кирилл Дмитриевич, доцент.

E-mail: info@eipc.center

Статья поступила в редакцию 24 августа 2021 г.

© Шубов Л. Я., Анисимова М. Р., Доронкина И. Г., Скобелев К. Д., 2021

(иногда скандий) — всего 16 химически сходных элементов (процессы их разделения весьма сложны, и 90 % добываемых РЗЭ используются в виде неразделенных природных смесей). Основные запасы РЗЭ сосредоточены в рудах Китая и США (минералы бастнезит и монацит). Мировое производство оксидов РЗЭ в 2010 г. составило около 125 тыс. т. Основной производитель — Китай (95 %). Основные потребители РЗЭ: Китай (до 50 %), Япония и Южная Корея (более 30 %), Германия и Франция (13 %), США (8 %) [1].

В России разведанные запасы РЗЭ приходятся на неосвоенные районы Севера. Редкоземельное производство в РФ находится на низком уровне. Основным источником РЗЭ в России — Ловозерское лопари-

товое месторождение в Мурманской области (его руды содержат РЗЭ преимущественно цериевой группы, среднее содержание 1,12 %). В 2010 г. Россия экспортировала ~1,5 тыс. т редкоземельной продукции. При этом на внутренний рынок поставлено всего 30 т продукции (в РФ уровень потребления РЗЭ перестал расти после 1990 г). В РФ спрос на РЗЭ полностью удовлетворяется за счет импорта из Китая (фактор риска для национальной безопасности и развития отечественной промышленности). На Кольском полуострове РЗЭ содержатся также в фосфоритовых и апатитовых рудах. За все время эксплуатации Хибинских недр получено 620 млн т апатитового концентрата без извлечения РЗЭ и с полной потерей стронция (20 млн т — трехкратный мировой баланс стратегически важного металла). При этом 85 % получаемого апатитового концентрата перерабатывают по сернокислотному способу, при котором основная масса РЗЭ переходит в состав твердой фазы — фосфогипс (отход производства). Накопленные запасы фосфогипса как техногенного сырья ~ 200 млн т (основной компонент $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Его отличительные особенности [2] состоят в том, что РЗЭ находятся в достаточно легко извлекаемой форме; фосфогипс не содержит радиоактивных элементов (выделенные из него РЗЭ также нерадиоактивны в отличие от многих источников редких земель); он содержит РЗЭ, пользующиеся наибольшим спросом в сфере высоких технологий (Sm, Eu, Yb, Y и т. д.); при использовании фосфогипса не требуется проведения горных работ.

Анализ показывает, что техногенное минеральное сырье представляет собой большой резерв минерально-сырьевой базы страны [3]. Основными источниками получения редких и редкоземельных металлов из промышленных отходов могут быть фосфогипс (РЗЭ, Sr), золошлаковые отходы ЗШО теплоэлектростанций (ТЭС) (РЗЭ, Ti, Sc), шлаки металлургические (Ge, Be, Se, Te, V), пыль сернокислотного производства (Se, Te), отход производства глинозема (Sc, РЗЭ), жидкие отходы сульфатного производства TiO_2 (Sc, Ti), пылевозгоны аффинажного производства (Se, Te), отходы производства постоянных магнитов (Sm).

Именно в такой ряд можно поместить отходы производства по степени приоритетности как источники извлечения РЗЭ (исходя из их количественных характеристик, возможности и значимости полезного использования). Содержание ряда полезных компонентов в отходах производства позволяет рассматривать их как заменители природного сырья (при этом зачастую отходы производства содержат как редкие металлы, так и РЗЭ) [4].

Целесообразность вовлечения образующихся отходов производства в переработку в качестве вторсырья для извлечения редких и редкоземельных металлов определяется не только дефицитом этих металлов, но и постоянно расширяющейся сферой применения РЗЭ в различных областях техники [5, 6]:

- нефтеперерабатывающая промышленность (в процессе крекинга нефтепродуктов используют цеолитовые катализаторы, насыщенные РЗЭ, — увеличивают выход легких фракций, наиболее ценных продуктов); для изготовления катализаторов крекинга

в мировой практике расходуется ~50 % всех производимых РЗЭ;

- автомобильная промышленность (каталитическое обезвреживание отработанных газов автотранспорта — каталитическая очистка газов от оксидов углерода и азота);

- металлургическая промышленность (модифицирование чугунов и сталей; мировое годовое потребление РЗЭ — несколько тысяч т); РЗЭ связывают остаточное количество кислорода, серы и фосфора, снижают содержание водорода, способствуют образованию мелкозернистой структуры, способствуют получению высокопрочного чугуна (предел прочности 500—600 МПа против 210—250 МПа у серого чугуна, заменяет дорогую сталь);

- стекольная промышленность (физическое обесцвечивание достигается небольшими добавками неодима и эрбия, химическое обесцвечивание бутылочного и хрустального стекла — заменой мышьяка на церий; качество изделий улучшается, снижается негативное влияние технологии производств на окружающую среду); цериевые стекла не теряют прозрачности при рентгеновском облучении, их используют в ядерной технике; диоксид церия в смеси с диоксидом титана окрашивает стекло в желтый цвет; для производства художественного стекла используют оксид неодима (розовый и фиолетовый цвета), празеодима (зеленый);

- оптическая промышленность (оксид лантана используется при изготовлении высококачественных линз для объективов и волоконно-оптических лазерных материалов; оксиды иттрия и гадолиния применяют в оптических стеклах; стекла, легированные неодимом, используют в мощных лазерах); оксид церия эффективен при использовании в качестве полирующего материала — полирита (используется в производстве очковых стекол);

- керамическая промышленность (в производстве тиглей для плавки металлов используют сульфид церия с температурой плавления 2900 °С; оксид иттрия применяют в ракетостроении и авиации; стабилизированный иттрием оксид циркония используется в качестве нагревателей);

- производство сверхмощных магнитов на основе сплава самария и кобальта (SmCo_5) и сплава неодим—железо—бор ($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$); новые магниты в 7 раз превышают энергию магнитов на основе керамических ферритных материалов (используются, в частности, в производстве нового поколения магнитных сепараторов — широко применяют при обогащении вторсырья);

- постоянно расширяющееся производство люминофоров различного свечения (применяются в телевидении, светотехнике, электронной технике, медицинской диагностике); для цветного телевидения в основном используют красный люминофор — оксисульфид иттрия, активированный европием; в люминесцентных лампах используют люминофоры красного, голубого и зеленого свечения; рентгенолюминофоры для медицины (оксисульфиды или оксидбромиды иттрия и лантана, в качестве активаторов используют тербий, европий и тулий) позволяют в два раза снизить рентгеновское облучение для пациента, улучшают качество снимков и увеличивают срок службы рентгеновского оборудования;

- производство сверхпроводящих керамических материалов (обладают высокотемпературной проводимостью; содержат иттрий, стронций (барий), висмут и медь, могут использоваться неодим и церий).

Необходимые условия вовлечения техногенного сырья в хозяйственный оборот — достоверная информация о его ресурсах и качестве, а также возможных направлениях его переработки и утилизации представлена в [7]. Для оценки качества техногенного сырья как источника извлечения металлов и его пригодности к комплексной переработке и утилизации в работе использована методология аналитического исследования совокупности запатентованных технологических решений, обладающих новизной и полезностью. Результаты многочисленных технологических испытаний в разных направлениях представительных проб отходов производства, проведенных разными исследователями, можно использовать в методе экспертных оценок при определении эколого-экономической эффективности и целесообразности вовлечения в переработку техногенного сырья, при выборе обоснованных подходов к решению его проблемы. По существу, речь идет об исследовании техногенного сырья на обогатимость, в результате чего сводятся к минимуму инвестиционные риски при вовлечении вторсырья в хозяйственный оборот.

Далее приведены детали и особенности запатентованных технологических решений (извлечения РЗЭ из отходов химического производства).

Цель запатентованной технологии — извлечение редкоземельных элементов (РЗЭ) из фосфогипса [8]. Основные операции гидрометаллургической технологии:

- обработка фосфогипса раствором серной кислоты ($T:Ж = 1:3$), температура 50 °С, продолжительность 3 ч;
- разделение твердой и жидкой фаз фильтрованием (раствор содержит 0,2—2 г/л РЗЭ);
- выделение из раствора суммы РЗЭ (в виде фторидов) путем обработки раствора фтористоводородной кислотой HF (концентрация 2—5 г/л) при 30—85 °С в течение 0,5—1,5 ч при непрерывном перемешивании; извлечение РЗЭ из раствора 76 % (в отдельных опытах — более 90 %);
- отделение осадка фторидов РЗЭ от маточного раствора фильтрованием (маточный раствор после отделения осадка фторидов РЗЭ можно использовать в качестве сернокислого раствора для обработки фосфогипса в "голове" процесса); содержание РЗЭ в концентрате ~42 %.

Эксперименты проведены с использованием фосфогипса, полученного в условиях АО "Святогор" (г. Красноуральск).

Цель запатентованной технологии — извлечение РЗЭ из фосфогипса [9]. Основные операции гидрометаллургической технологии:

- обработка фосфогипса раствором серной кислоты (0,1—0,5 г-экв./л) при $T:Ж = 1:5$ в течение 0,5 ч;
- разделение твердой и жидкой фаз фильтрованием;
- нейтрализация раствора оксидом или карбонатом магния (при перемешивании в течение 1 ч, $pH = 5,5$; в качестве карбоната магния можно использовать магнезит) с выделением РЗЭ в осадок;

- отделение осадка РЗЭ фильтрованием и его сушка; извлечение РЗЭ ~33 %.

Преимущества технологии:

- получение хорошо фильтрующихся осадков (скорость фильтрования повышается, влажность снижается);
- утилизация образующегося раствора сульфата магния — использование в качестве оборотного выщелачивающего раствора (после отделения осадка, содержащего РЗЭ); присутствие в выщелачивающем растворе сульфата магния практически не влияет на переход РЗЭ в раствор.

Цель запатентованной технологии — переработка и дезактивация концентрата РЗЭ, выделенного из фосфогипса и содержащего продукты распада уран-ториевого ряда (получение дезактивированных оксидов РЗЭ) [10].

Для практического использования концентрата РЗЭ требуется его дезактивация (Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности ОСПОРБ-99/2010. Санитарные правила и нормы — СП.2.6.1.2612-10).

Основные операции гидрометаллургической технологии:

- растворение редкоземельного концентрата (содержит 0,1—0,3 % тория), выделенного из фосфогипса или из апатитового концентрата, в азотной кислоте при нагревании до 80—95 °С и перемешивании пульпы в течение 2—2,5 ч;
- разбавление пульпы водой (до плотности 1,55 г/см³) и охлаждение до 40 °С;
- добавление перекиси водорода (восстановление тория четырехвалентного до трехвалентного);
- отделение фильтрованием азотнокислого раствора РЗЭ;
- выделение из раствора тория при соосаждении с сульфатом бария (добавление сульфатов и растворимых соединений бария);
- нейтрализация раствора до $pH = 2,5—3,9$ путем добавления раствора аммиака и перемешивания при температуре 35—45 °С в течение 1—1,5 ч;
- отделение фильтрованием барий-ториевого кека (содержание оксидов РЗЭ 20—28 %).

Технология обеспечивает очистку оксидов РЗЭ от примесей кальция, кремния, фосфора, тория и продуктов его распада, содержание в конечном продукте 99 % основного вещества (оксиды РЗЭ) и его дезактивацию до санитарных норм. Потери оксидов РЗЭ с барий-ториевым кеком не превышают 2,4 %.

Эксперименты проведены при переработке концентрата РЗЭ, выделенного из отвалного фосфогипса ОАО "Воскресенские минеральные удобрения".

Цель запатентованной технологии — комплексная переработка фосфогипса для получения концентрата РЗЭ и гипса [11].

Основные операции гидрометаллургической переработки:

- приготовление пульпы фосфогипса;
- трехстадийное выщелачивание серной кислотой РЗЭ и фосфора при перемешивании пульпы в течение 5—30 мин при $T:Ж = 1:(2—3)$; pH пульпы на стадиях выщелачивания — не более начала осаждения фосфатов РЗЭ; в каждую стадию выщелачивания подается равное количество пульпы фосфогипса;

са, а серную кислоту подают только на первую стадию; концентрация кислоты в пульпе первой стадии 5—15 % (начальная концентрация), на последней — 1—3 % (остаточная концентрация, pH не более 2);

- разделение твердой и жидкой фаз пульпы фильтрованием (в растворе — РЗЭ, в осадке — гипс);
- водная промывка гипса на фильтре с получением промывного раствора (направляют на сорбцию РЗЭ катионитом);
- нейтрализация гипса основным соединением кальция (известняк, известь и их смеси) до pH = 5,7;
- сорбция РЗЭ при pH = 1—2 сильнокислотным сульфокатионитом марки КУ-2-8н с получением насыщенного РЗЭ катионита и маточного раствора сорбции РЗЭ (его делят на две части: одну используют для приготовления пульпы фосфогипса в голове процесса, из второй осаждают фосфор и фтор основным соединением кальция; полученный осадок отделяют от водной фазы и утилизируют, водную фазу используют в обороте); сорбцию РЗЭ из раствора выщелачивания ведут в аппарате колонного типа при восходящем потоке раствора РЗЭ и нисходящем движении уплотненной массы катионита;
- десорбция раствором сульфата аммония РЗЭ с получением регенерационного катионита (возвращают на стадии сорбцию РЗЭ) и десорбата; десорбцию проводят при противоточном движении насыщенного РЗЭ катионита и десорбирующего раствора (например, в многокамерном барабанно-шнековом аппарате);

- выделение концентрата РЗЭ из десорбата.

Извлечение РЗЭ из фосфогипса в раствор — на уровне 70—75 %, извлечение на стадии сорбции — около 97 %, на стадии десорбции ~94 %.

Получаемый для утилизации гипс не загрязнен фосфором и фтором. Содержание РЗЭ в гипсе ~0,12 %. Содержание РЗЭ в исходном фосфогипсе 0,44 % (сумма оксидов иттрия и лантаноидов).

Цель запатентованной технологии — извлечение РЗЭ из фосфогипса [12]. Основные операции гидрометаллургической технологии:

- выщелачивание фосфогипса (последовательная обработка нескольких порций фосфогипса одним раствором серной кислоты при Ж:Т = 2—3, концентрация кислоты 20—25 %) с переводом РЗЭ в раствор;
- кристаллизация РЗЭ, перешедших в раствор, добавкой серной кислоты до её концентрации не менее 30 % при температуре 20—80 °С; кристаллизацию концентрата РЗЭ проводят в присутствии затравки сульфатов РЗЭ при Ж:Т не более 100 в течение 0,5—3 ч;
- разделение кристаллизовавшегося осадка (концентрат РЗЭ) и жидкой фазы фильтрованием;
- обработка концентрата РЗЭ раствором $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ или CaCl_2 с получением концентрированного раствора нитратов или хлоридов РЗЭ (пригоден для разделения РЗЭ известными методами).

Содержание РЗЭ в концентрате 30—45 %. Извлечение РЗЭ из фосфогипса (от исходного) — на уровне 50—60 %. Раствор после отделения концентрата РЗЭ используют для выщелачивания фосфогипса; образующийся в ходе технологического процесса гипс направляют в отвал.

Цель запатентованной технологии — извлечение из фосфогипса лантаноидов и гипса [13]. Основные операции гидрометаллургической технологии:

- выщелачивание фосфогипса 22—30%-м раствором серной кислоты в течение 20—25 мин с переводом фосфора и лантаноидов в пересыщенный по лантаноидам раствор и получением осадка гипса;
- разделение твердой и жидкой фаз центрифугированием (остаточная влажность осадка гипса — не более 20 %);
- обработка гипса основным соединением кальция (известь, известняк) до pH более 5;
- выделение концентрата лантаноидов из раствора выщелачивания кристаллизацией и отделение концентрата от маточного раствора; маточный раствор либо направляют на стадию выщелачивания (при величине произведения содержания примеси фосфора в маточном растворе и остаточной влажности осадка гипса менее 180, причем фосфор пересчитывают на P_2O_5 , г/л), либо предварительно подвергают очистке (при величине этого показателя ≥ 180);
- очистка (при необходимости) маточного раствора от фосфора с помощью соединения титана с использованием титанисульфата моногидрата $\text{TiOSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (в сухом виде или в виде раствора в серной кислоте).

Извлечение лантаноидов в раствор выщелачивания — на уровне 65—75 % (до 82 %), извлечение в концентрат 64—68 %; содержание в концентрате 25—29 %.

Цель запатентованной технологии — комплексная переработка фосфогипса с извлечением ценных компонентов (очищенный фосфогипс для дорожного строительства и в производстве строительных материалов, РЗЭ, кормовой продукт — трикальцийфосфат) [14]. Основные операции гидрометаллургической технологии:

- выщелачивание фосфогипса серной кислотой, концентрация 0,3—0,6 моль/л (для удаления фтор-иона процесс проводят при перемешивании и аэрации); одним раствором серной кислоты обрабатывают последовательно 1—3 партии фосфогипса при нагревании до температуры 70—100 °С в течение 1—2 ч при соотношении Т:Ж=1:(1—3);
- разделение твердой и жидкой фаз фильтрованием;
- промывка осадка водой (промывной раствор в оборот), перемешивание с гидроксидом кальция до pH = 7,4 и получение готового продукта — очищенного фосфогипса (содержание примесей — сотые доли процента);
- добавление к фильтрату апатита в соотношении Т:Ж=1:(10—20) для нейтрализации серной кислоты при перемешивании и аэрации; при добавлении апатита образуется вторичный фосфогипс;
- нагревание полученной пульпы (температура 50—70 °С) и перемешивание в течение 1—2 ч с нейтрализацией серной кислоты до концентрации не менее 0,1 моль/л;
- отделение фильтрованием осадка вторичного фосфогипса и его направление в голову процесса;
- последовательное добавление к фильтрату оксида или гидроксида кальция, затем гидроксида или карбоната аммония до pH = 2—3,9 (осаждение в

виде готового продукта концентрата РЗЭ, содержание РЗЭ в осадке 15—20 %);

- отделение фильтрованием осадка РЗЭ (готовый продукт);
- введение в фильтрат известкового молока до $\text{pH} = 7\text{—}8$ (осаждение трикальцийфосфата);
- отделение фильтрованием осадка кормового трикальцийфосфата и его промывка водой (готовый продукт); маточные растворы после выделения трикальцийфосфата не содержат примесей.

Технологические преимущества:

- введение в процесс апатита (добавление к раствору выщелачивания фосфогипса) позволяет экономно расходовать серную кислоту (повышение рентабельности переработки фосфогипса);
- обеспечивается максимально возможная очистка продуктов от примесей (при умеренных значениях pH не происходит соосаждения фосфатных солей кальция).

Цель запатентованной технологии — извлечение лантаноидов из фосфогипса [15]. Основные операции гидрометаллургической технологии:

- измельчение фосфогипса до крупности 100 мкм;
- порционное выщелачивание фосфогипса раствором серной кислоты при $\text{Ж:Т} = 2\text{—}3$ с переводом лантаноидов в раствор; раствор выщелачивания используют не менее трех раз (предельная концентрация серной кислоты 24 %), причем выщелачивание проводят с использованием промывного раствора; выщелачивание первой порции фосфогипса осуществляют 2—6%-м раствором серной кислоты, а при выщелачивании последующих порций фосфогипса концентрацию серной кислоты увеличивают, исходя из соотношения процентного приращения концентрации серной кислоты к приращению (в г/л) концентрации P_2O_5 при выщелачивании предыдущей порции фосфогипса ≥ 4 ;
- разделение твердой и жидкой фаз;
- промывка фосфогипса водой; промывной раствор используют при выщелачивании фосфогипса.

Концентрация лантаноидов в растворе ~ 3 г/л, извлечение в раствор — на уровне 35 % (его ошибочно считают высоким).

Отличительные особенности технологии:

- увеличение концентрации серной кислоты от стадии к стадии;
- предполагаемое извлечение лантаноидов из раствора выщелачивания с помощью ионной флотации (собирает — алкилфосфорные кислоты).

Пути утилизации промытого водой фосфогипса не отмечаются. Понижение общего извлечения лантаноидов в раствор с увеличением числа стадий выщелачивания не объясняется.

Цель запатентованной технологии — переработка фосфогипса с извлечением РЗЭ, радиоактивных элементов (РАЭ), получением удобрений и фосфатного цементного вяжущего [16]. Основные технологические операции:

- обработка фосфогипса раствором серной (5—15 %) и фосфорной (15—30 %) кислот с получением жидкой (содержит РЗЭ и РАЭ) и твердой (в виде гипсосодержащего материала) фаз; $\text{T:Ж} = (0,5\text{—}1):1$, время перемешивания 1 ч; обработка смесью кислот повышает извлечение РЗЭ, урана и тория;

- разделение твердой и жидкой фаз выщелачивания фильтрованием;

- обработка твердой фазы водой (получение суспензии, отмытой от кислых растворов), $\text{T:Ж} = (0,5\text{—}1):1$;

- разделение отмытой суспензии на твердую фазу (промытый гипсосодержащий материал) и жидкую фазу фильтрованием;

- объединение полученных в процессе двух фильтратов (содержат РЗЭ, уран и торий) с получением кислого раствора;

- для извлечения РЗЭ и РАЭ из объединенного раствора применяют ионообменную технологию: последовательно пропускают объединенный раствор через ионообменный фильтр с катионитом (извлечение РЗЭ) и через ионообменный фильтр с анионитом (доизвлечение РЗЭ и извлечение урана и тория); остаточный кислотный фильтрат (полученный на выходе анионита) утилизируют в ходе процесса (на стадии получения готовой продукции);

- смешивание промытого гипсосодержащего материала с силикатом магния природного происхождения (например, с серпентинитом, тальком) или техногенного (например, с отходом производства асбеста) с последующей утилизацией в ходе процесса (на стадии получения готовой продукции);

- утилизация путем смешивания остаточного кислотного фильтрата с промытым гипсосодержащим материалом с добавленным к нему серпентинитом; при смешивании получается готовая продукция — пастообразная масса, обладающая свойствами магnezального и фосфатного вяжущего, которая может быть использована в качестве строительного материала; эта же масса может быть использована в качестве экологически безопасного минерального удобрения (содержит агрохимически важные компоненты — фосфор, серу, кальций и магний);

- десорбция (осуществляют периодически) РЗЭ из ионообменного фильтра с катионитом сульфатом аммония с получением жидкого концентрата РЗЭ (при его обработке карбонатом аммония получают твердый концентрат РЗЭ в виде осадка);

- десорбция (осуществляют периодически) урана, тория и остатков РЗЭ из ионообменного фильтра с анионитом нитратом аммония с получением жидкого концентрата урана, тория и остатков РЗЭ (при его обработке карбонатом аммония получают твердый концентрат).

Избыток нитрата аммония утилизируют (используют в качестве жидкого азотного удобрения).

Технология испытана в опытно-промышленном масштабе. Получен готовый продукт (пастообразная масса) состава, %: P_2O_5 — 5,5; SO_3 — 21; SiO_2 — 12,9; MgO — 14,5; CaO — 14,5; содержание РЗЭ не превышает 0,05 %, уран и торий не обнаружены. При использовании метода распылительной сушки получают мелкогранулированный материал, характеризующийся высокой агрохимической ценностью. При высушивании на воздухе получают плотный материал в виде строительного камня.

Цель запатентованной технологии — переработка фосфогипса с извлечением РЗЭ и получением высококачественного сульфата кальция [17]. Основные операции технологического процесса:

- нейтрализация фосфогипса путем его обработки гидроксидом натрия или известью (в частности, известковым молоком) до $\text{pH} = 6,5\text{--}11,5$;
- выдержка фосфогипса в целях медленного созревания (кристаллизации) сульфата кальция (до образования $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$);
- измельчение агломератов, образовавшихся во время созревания (использование быстроходной мешалки);
- выщелачивание фосфогипса серной кислотой (концентрация 2—20 %) при перемешивании в течение 1—2 ч при температуре 20—30 °С; отношение серная кислота: созревший сульфат кальция во время выщелачивания составляет предпочтительно от 0,15 до 0,35; РЗЭ переходят в раствор (жидкая фаза);
- разделение фильтрованием твердой и жидкой фаз; предпочтительна рециркуляция раствора на стадии выщелачивания (2—8 раз);
- промывка твердой фазы водой (предпочтительно обработанной известью).

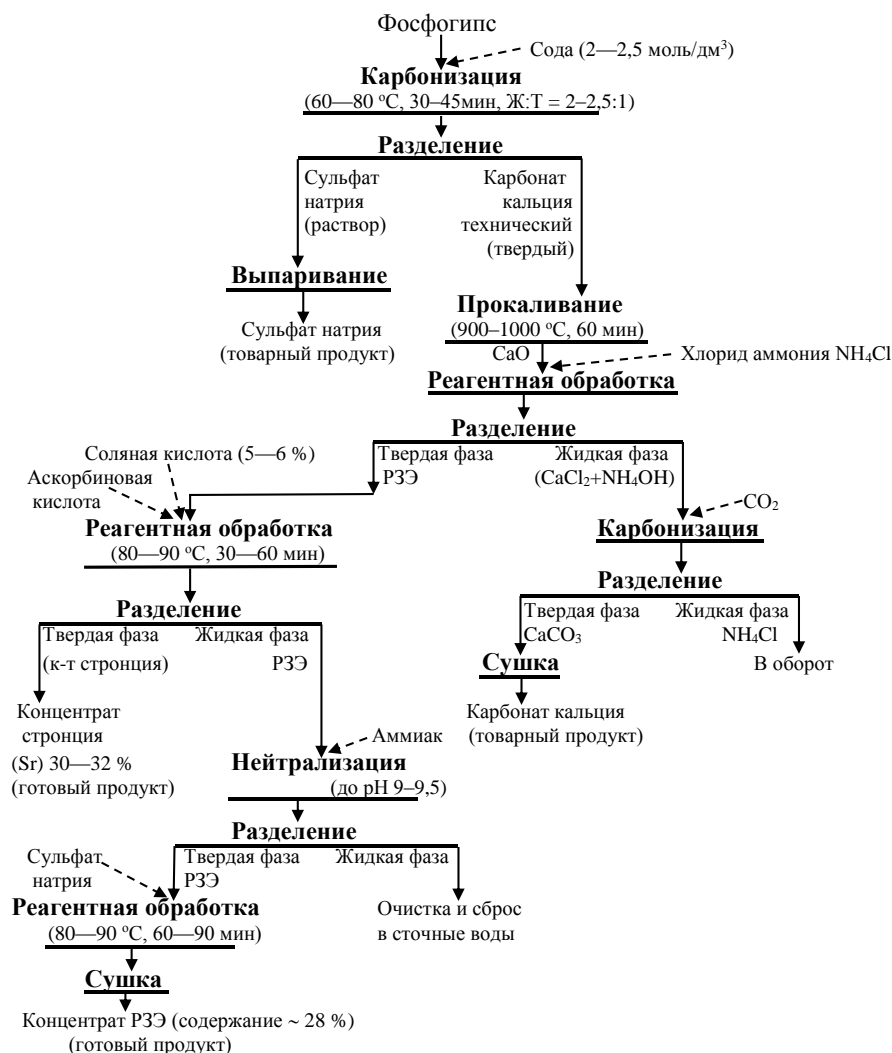
Технология способствует повышению извлечения РЗЭ и получению сульфата кальция $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ высокой чистоты (остаточное содержание P_2O_5 — менее 0,05 %, обычно 0,4—1 %; отличается также низким

содержанием Na_2O). Высококачественный фосфогипс обеспечивает быстрое схватывание цемента; соответствует требованиям, предъявляемым к сульфату кальция при его применении для изготовления гипсового картона; можно получать гипсокартон с большим содержанием фосфогипса.

Цель запатентованной технологии — комплексная переработка фосфогипса с выделением ценных компонентов и продуктов (получение сульфата натрия (Na_2SO_4), карбоната кальция (CaCO_3), концентрата стронция и РЗЭ) [18].

Отличительные особенности технологии (см. рисунок):

- обработка исходного фосфогипса содой обеспечивает переход сульфата фосфогипса в сульфат натрия (на 96—98 %) и получение концентрированного раствора сульфата натрия;
- извлечение РЗЭ в раствор из твердой фазы производят с помощью соляной кислоты (в присутствии аскорбиновой кислоты); извлечение РЗЭ в раствор 96—98 %, в конечный продукт ~96 %;
- получение концентрата Sr в виде осадка после выщелачивания РЗЭ соляной кислотой (с добавлением аскорбиновой кислоты в примерном соотношении аскорбиновая кислота:РЗЭ = 0,5:1).



Технологическая схема комплексной переработки фосфогипса с извлечением целевых продуктов (получение сульфата натрия, карбоната кальция, концентрата стронция и РЗЭ)

Основные критерии ресурсной эффективности переработки вторсырья с извлечением РЗЭ — технологические показатели применяемых процессов (рассмотрены далее)*.

Анализ показывает, что *извлечение РЗЭ из фосфогипса* осуществляют с применением гидрометаллургических технологий. Их суть: обработка фосфогипса кислотой (серной, азотной, фосфорной, иногда соляной применительно к продуктам переработки фосфогипса; возможно добавление аскорбиновой кислоты) с переводом РЗЭ в раствор с последующим их извлечением из раствора с применением разных способов: обработкой реагентом-осадителем (аммиаком, щелочами, фтористоводородной кислотой, оксидом или карбонатом магния); ионной флотацией; ионообменной технологией (в качестве сорбентов применяют катиониты).

Разделение твердой и жидкой фаз осуществляют фильтрованием или центрифугированием.

По расчетам извлечение РЗЭ из фосфогипса позволит полностью обеспечить РФ дефицитными металлами (в промышленном масштабе извлечение из фосфогипса РЗЭ до настоящего времени не реализовано, но в опытно-промышленном масштабе такая технология испытана, причем апробирована комплексная технология: извлечение РЗЭ, получение удобрений и фосфатного цементного вяжущего, что позволяет решать проблему не только РЗЭ, но и фосфогипса как многотоннажного отхода производства; потери РЗЭ с продуктами переработки небольшие: содержание РЗЭ в них не превышает 0,05 %, уран и торий не обнаружены).

Лучшие технологические показатели:

- извлечение РЗЭ из фосфогипса в раствор — 90—98 %;
- извлечение РЗЭ на стадии сорбции — до 97 %;
- извлечение РЗЭ на стадии десорбции ~94 %;
- содержание РЗЭ в исходном ~0,5 %;
- содержание РЗЭ в растворе 0,2—2 г/л;
- содержание РЗЭ в концентрате — до 45 %;
- извлечение РЗЭ в концентрат (от исходного) — до 70 %; в некоторых экспериментах извлечение РЗЭ в конечный продукт достигает 96 %.

* Технологические критерии представляют собой комбинацию основных параметров процесса: α — содержание в исходном материале, %; ε — извлечение компонента в полезный продукт, % (отношение массы компонента в полезном продукте к массе компонента в исходном); β — содержание в полезном продукте, % (отношение массы компонента в полезном продукте к массе полезного продукта); γ — выход, % (отношение массы полезного продукта к массе исходного материала). Технологические критерии связаны зависимостью $\gamma\beta = \alpha\varepsilon$, целевой функцией является извлечение $\varepsilon = \frac{\gamma\beta}{\alpha}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kennedy J. Rare earth production, regulatory USA/International constraints and Chinese dominance: the economic viability is bounded by geochemistry and value chain integration // Rare Earths Industry: Technological, Economic, and Environmental Implications. 2015. P. 37—55. DOI:10.1016/B978-0-12-802328-0.00003-6.
2. Шубов Л. Я., Иванков С. И., Доронкина И. Г. и др. Многотоннажные отходы химической промышленности: аналитическая оценка и систематизация технологических решений // Экологические системы и приборы. 2019. № 3. С. 8—30.
3. Balaram V. Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact // Geoscience Frontiers. 2019. V. 10. №. 4. P. 1285—1303.
4. Suli L. M., Ibrahim W. H. W., Aziz B. A. et al. A review of rare earth mineral processing technology // Chemical Engineering Research Bulletin. 2017. V. 19. P. 20—35.
5. Kiggings R. D. The political economy of rare earth elements. — New York: Palgrave MacMillan, 2015.
6. Скобелев Д. О., Марьев В. А., Шубов Л. Я. и др. Систематизация и методы переработки отходов производства // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. 2019. № 3. С. 2—106.
7. Шубов Л. Я., Борисова О. Н., Доронкина И. Г. Стратегия оптимизации комплексного управления твердыми бытовыми отходами в Российской Федерации // Экология промышленного производства. 2017. № 4. С. 16—25.
8. Дмитриев А. О., Яковлева Е. Ю., Шемякин В. С., Мартынов А. И. Способ извлечения редкоземельных элементов из фосфогипса. Патент России № 2109686 C01F17, 1996.
9. Лебедев В. Н., Локшин Э. П. Способ извлечения редкоземельных элементов из фосфогипса. Патент России № 2158317 C22B3, 1999. Патент РФ № 2158317 C22B3, 27.10.2000.
10. Абрамов А. М., Галиева Ж. Н., Галиев Р. С., Соболев Ю. Б., Солодовников А. В. Способ переработки редкоземельного концентрата. Патент России № 2573905 C22B59, 2014.
11. Фокин К. С., Нестерова Е. О. Способ переработки фосфогипса для производства концентрата редкоземельных металлов и гипса. Патент России № 2520877 C22B59, 2013.
12. Локшин Э. П., Вершкова Ю. А., Калинин В. Т., Тареева О. А., Ивлев К. Г., Фёдоров С. Г., Погребняк О. С. Способ извлечения редкоземельных элементов из фосфогипса. Патент России № 2225892 C22B3, C22B59, 2002.
13. Локшин Э. П., Гришин Н. Н., Сергиенко В. С., Тареева О. А., Калинин В. Т. Способ переработки фосфогипса, содержащего соединения фосфора и лантаноиды. Патент России № 2337879 C01F11, 2007.
14. Вальков А. В. Способ переработки фосфогипса. Патент России № 2525877 C22B59, 2012.
15. Локшин Э. П., Вершков А. В., Вершкова Ю. А., Маслобоев В. А. Способ извлечения лантаноидов из фосфогипса. Патент России № 2167105 C01F17, 2000.
16. Конов М. А., Хамизов Р. Х. Способ обеспечения экологической безопасности производственных отходов в виде фосфогипса с получением двухкомпонентного целевого продукта. Патент России № 2630072 C22B59, 2016.
17. Жермо Алэн, Гиди Томизьо, Фати Дорина. Способ обработки фосфатной породы. Патент России № 2599299 C22B59, 2012.
18. Колокольников В. А., Титов В. М., Шатов А. А. Способ комплексной переработки фосфогипса. Патент России № 2258036 C01F17, 2004.

Analytic assessment and systematization of technologies for rare earth metals extraction from industrial waste

L. Ya. SHUBOV, M. R. ANISIMOVA

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

I. G. DORONKINA

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

K. D. SCOBEEV

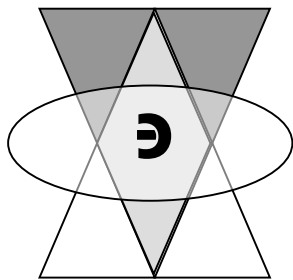
MIREA — Russian Technological University, Moscow, Russia

The article contains systematized information on resource saving technologies as the basis of drawing metal-containing secondary resources into economic circulation. The complex of specific sequence technologies which can to solve resource saving tasks allows to compare the characteristic features and the efficiency of using for each of these technologies, process details and features. It is shown that extracting rare earth metals (REM) from chemical industry waste is performed using hydrometallurgy technologies: treatment of waste with acid (sulfuric, nitric, phosphoric, hydrochloric), as a result of which REM are transferred into a solution, from which they are subsequently extracted using various methods (precipitant treatment, ionic flotation, ion exchange technology). The best technological indicators of technogenic waste utilization processes are outlined. In order to assess the quality of technogenic raw material and its feasibility for complex processing and utilization, a methodology of analytic research of an array of patented technologic solutions is used in the article (technologic samples are collected at actual technogenic deposits).

Keywords: resource saving, technologies, metals, processing, extraction, research, methodology, secondary resources, enrichability.

Bibliography — 18 references.

Received August 24, 2021



Водоподготовка и водоочистка

УДК 628.34

DOI: 10.52190/2073-2589_2021_4_10

Ресурсосберегающая технология очистки сточных вод окрасочных камер высокотехнологичных предприятий

Е. В. СОТНИКОВА, канд. хим. наук; **Л. Б. МЕТЕЧКО**, канд. эконом. наук
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Москва, Россия

Проведен анализ разработанной авторами технологической схемы очистки сточных вод гидрофильтров окрасочных камер до требований, предъявляемых к оборотному водоснабжению, регенерации шламов и снижению затрат на утилизацию отходов. Цель разработки ресурсосберегающей технологии — стремление к бизнес-модели циклической экономики в отечественном промышленном производстве. Внедрение предложенной технологии позволит не только сократить затраты на водопотребление, водоотведение и утилизацию шламов, но и получать добавочную прибыль от возврата регенерированного шлама в производственный цикл.

Ключевые слова: окрасочная камера, гидрофильтр, циклическая экономика, ресурсосбережение, оборотная система водоснабжения, тонкослойный отстойник, электрокоагулятор-флотатор, регенерация шламов.

Авиационное производство аккумулирует множество технологических процессов, одним из которых является нанесение лакокрасочных покрытий. Используемые в авиастроении лакокрасочные покрытия представляют собой сложные многокомпонентные смеси, выполняющие разнообразные функции, от защитных до декоративных [1].

Негативные производственные факторы, характерные для процесса окраски изделий, обусловлены применением токсичных компонентов лакокрасочных материалов (ЛКМ), образованием в воздухе рабочей зоны окрасочных аэрозолей и выделением паров растворителей при подготовке красок, нанесении и сушке покрытий.

В технологии окрашивания применяют окрасочные камеры, защищающие работников от вредного воздействия паров растворителей и окрасочного аэрозоля, в которых осуществляются местная вентиляция и водяная завеса.

Для очистки воздуха от окрасочного тумана преимущественно используют окрасочные камеры с гидрофильтрами, которые оснащены ваннами, расположенными в приемках под решетками пола камеры. Окрасочный аэрозоль осаждается на поверхность воды, очищенный воздух выбрасывается в атмосферу и при необходимости проходит доочистку от паров растворителей. Загрязненная вода проходит очистку и возвращается в ванну. Ванна периодически пополняется свежей водой для поддержания необходимого уровня [2, 3].

Рециркуляционная вода окрасочного оборудования периодически (1—2 раза в неделю) сбрасывается на очистные сооружения. Осадок из камеры окраски извлекают путем откачки.

Сброс воды в городскую канализационную сеть лимитируется санитарными органами ввиду высокой токсичности сточной воды для биоты [3, 4].

Запрещение сброса сточных вод от систем гидрофильтров в городской коллектор заставляет принимать меры по организации и проектированию бессточных систем оборотного водоснабжения.

Целью научных изысканий, представленных в статье, является разработка инновационных технологий обращения с отходами окрасочных камер, что позволит:

- избежать штрафов за сброс загрязненных сточных вод в городской коллектор;

Сотникова Елена Васильевна, доцент.

E-mail: ev.sotnikova@yandex.ru

Метечко Людмила Борисовна, доцент.

E-mail: lmetechko@mail.ru

Статья поступила в редакцию 11 октября 2021 г.

© Сотникова Е. В., Метечко Л. Б., 2021

- сократить затраты на водопотребление и водоотведение;
- избежать затрат на утилизацию трудноперерабатываемых шламов, образующихся при отстаивании воды;
- получить прибыль от регенерации эмалей и красок при возвращении их в различные производственные циклы.

Лакокрасочные материалы, используемые при производстве авиационной техники

В авиационной промышленности на ЛКМ возлагается множество непростых задач: защитить детали самолета от больших перепадов атмосферного давления, интенсивного воздействия ультрафиолетового излучения, агрессивного воздействия авиационно-ракетных топлив и резкого перепада температур, сохранив при этом эстетичный внешний вид.

При производстве авиационной продукции лакокрасочные покрытия наносят на детали из углеро-

дистых, низколегированных, высокопрочных, алюминиевых и магнитных сплавов, находящихся на внешних и внутренних поверхностях летательных аппаратов. Они также предназначены для защиты авиационных приборов.

Основными компонентами ЛКМ являются пленкообразователи, растворители и пигменты. Кроме того, в состав ЛКМ могут входить пластификаторы, придающие пленке эластичность, сиккативы, ускоряющие процесс высыхания пленки, наполнители, порошкообразные вещества, добавляемые для увеличения прочности пленки и удешевления ЛКМ.

Примерами широко применяемых в авиационной технике ЛКМ являются:

- эмали (КО-814, КО-084, ХВ-16, АС-1115);
- лаки (АС-16, ХВ-784);
- грунтовки (ГФ-031, ВЛ-07, ФЛ-086, АК-070, ЭП-076) и другие.

Состав веществ, загрязняющих окружающую среду, зависит от компонентов окрасочного покрытия, способов нанесения (рис. 1) и технологии нанесения лакокрасочных покрытий (рис. 2) [2—4].



Рис. 1. Классификация способов нанесения ЛКМ, применяемых в промышленности



Рис. 2. Технологический процесс нанесения ЛКМ и выделяющиеся вредные вещества

Несмотря на многочисленность способов окрашивания и непрерывную разработку новых, наиболее распространенным остается пневматическое распыление. Благодаря универсальности и простоте способа пневматическими краскораспылителями наносится около 70 % покрытий. Прогнозы показывают, что такое соотношение в среднем сохранится и на ближайшие годы [3, 4].

По способу очистки воздуха от лакокрасочного материала (окрасочного тумана) различают окрасочные камеры с сухими воздушными фильтрами и гидрофильтрами. Окрасочные камеры с сухими фильтрами менее эффективны, чем оснащенные гидрофильтрами. Мокрая очистка воздуха от окрасочного тумана облегчает очистку от ЛКМ внутренних поверхностей фильтра, воздухопроводов, вентиляторов и трубопроводов. Кроме того, гидрофильтры обеспечивают максимальную взрыво- и пожаробезопасность окрасочных установок и окрасочных участков и цехов.

Основными загрязнителями сточных вод являются ЛКМ, в состав которых входят пленкообразующие полимерные смолы, лаки, эмали, краски, пигменты, наполнители, пластификаторы, растворители, сиккативы, добавки, вспомогательные материалы (составы и пасты для подготовки поверхности и ухода за покрытием, а также мастики, применяемые для уменьшения шума, возникающего от вибрации во время работы двигателя или движения и для защиты от коррозии) [5, 6].

Характеристики сточных вод окрасочных камер

Воду при окраске используют при подготовке поверхности и в качестве воздушной завесы в окрасочных камерах с гидрофильтрами.

Количество загрязняющих веществ (ЗВ) в сточных водах (СВ) при химической подготовке поверхности можно определить в соответствии с [7]:

$$M_{ЗВ}^{СВ} = q C_0 (1 - K_{ул}) \Phi_{ВР} \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

где q — удельный вынос технологического раствора, л/м²;

C_0 — концентрация загрязняющего компонента в составе обрабатываемого средства, г/л;

$K_{ул}$ — коэффициент улавливания в ванне улавливания (при наличии);

$\Phi_{ВР}$ — годовой фонд времени работы оборудования, ч.

Количество загрязняющих веществ (шлам) в сточных водах, поступающих из гидрофильтров ($M_{ЗВ}^{ШЛ}$, кг/ч), определяют по формуле [8, 9]

$$M_{ЗВ}^{ШЛ} = m_k \delta_{аэр} (1 - f_p) \frac{k}{1 - B}, \quad (2)$$

где k — коэффициент очистки воздуха в гидрофилт্রে, %/100 (берётся по паспорту на гидрофилт্রে, варьируется у разных производителей от 0,86 до 0,99);

B — влажность шлама, извлекаемого из ванны гидрофильтра, %/100 (принимают $B = 0,6—0,7$);

m_k — масса краски, используемой для покрытия, кг;

$\delta_{аэр}$ — доля краски, потерянной в виде аэрозоля, %;

f_p — доля летучей части (растворителя) в ЛКМ, %.

Концентрация загрязняющих веществ в сточных водах зависит от объёма воды Q , л/ч, используемой для промывки детали на этапе ее подготовки к нанесению покрытия [10]:

$$Q = n q F \sqrt[3]{\alpha K}, \quad (3)$$

где n — количество ванн промывки;

q — удельный вынос раствора, л/м²;

F — площадь обрабатываемой поверхности в единицу времени (производительность линии или технологической ванны), м²/ч;

α — коэффициент, учитывающий наличие ванн улавливания (0,4 при одной ванне улавливания; 0,15 — при двух; 0,06 — при трёх);

N — количество ступеней промывки;

K — кратность разбавления (4):

$$K = \frac{C_0}{C_n}, \quad (4)$$

где C_0 — концентрация отмываемого компонента в технологической ванне, мг/л;

C_n — допустимая концентрация основного компонента в воде после операции промывки, мг/л (определяют в соответствии с ГОСТ Р 58431–2019).

Таким образом, концентрация загрязняющего вещества в сточных водах

$$C_{ЗВ}^{СВ} = \frac{M_{ЗВ}^{СВ}}{Q} (1 - \eta_{СВ}), \quad (5)$$

где $\eta_{СВ}$ — степень очистки сточных вод.

Количество загрязняющих веществ в сточных водах после удаления отработанной воды (ОВ) из гидрофильтров

$$C_{ЗВ}^{ВСК} = \frac{M_{ЗВ}^{ВСК}}{Q_1} (1 - \eta_{СВ}), \quad (6)$$

где Q_1 — количество рециркулируемой воды в окрасочных камерах с гидрофильтрами, м³/ч.

Технология очистки сточных вод окрасочных камер для оборотного водоснабжения

В сточных водах окрасочных камер образуется дисперсная система, в которой одна часть подвержена седиментации (диоксид титана, соединения железа), другая сохраняет равномерное распределение по объёму дисперсной фазы (сажа, алюминиевая пудра). Также загрязнители присутствуют в виде ионов: анионов — шестивалентный хром — $Cr_2O_7^{2-}$; цианида-ион CN^- ; катионов Zn^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} . ПДК этих веществ могут быть превышены в сотни раз.

Наибольшую опасность представляют шестивалентный хром, имеющий 3-й класс опасности, но являющийся канцерогеном 1-й группы, а также цианид-ион и ион алюминия, которые относятся ко 2-му классу [11, 12].

В связи с этим для сброса воды в городской коллектор нужна высокоэффективная очистка. Однако после сброса произойдет безвозвратная потеря воды. Для сбережения ресурса воды после ее очистки в гидрофилтрах необходимо вернуть воду в цикл, т. е. создать оборотное водоснабжение окрасочных камер. Ввиду разнообразного фазового состава загрязнений необходима комбинация методов, включающая механическую (отстаивание) и физико-химическую (электрофлотацию в сочетании с коагуляцией) очистку (рис. 3).



Рис. 3. Технологическая схема оборотного водоснабжения

Концентрации загрязняющих веществ на выходе из системы очистки определяли по формуле (6) с учетом коэффициентов эффективности установок обезвреживания. Сравнение полученных данных с нормативами качества воды для оборотного водоснабжения гальванических цехов [13], взятыми в качестве критерия очистки, показало эффективность применения предложенной технологической схемы.

По окончании работы гидрофилтров осевшие ЛКМ удаляют насосом в шламосборник. Далее вода направляется в тонкослойный отстойник, в котором удаляется часть взвешенных веществ. Процесс осаждения происходит в малом по толщине слое воды внутри тонкослойного модуля с наклонными элементами. Такая конструкция позволяет быстрее осажать взвесь. Собранные примеси самотеком сползают по уклону в зону уплотнения осадка. Оптимальная величина уклона 45—60°. Размеры тонкослойного модуля 1×1 м, что оптимально с точки зрения монтажа и эксплуатации.

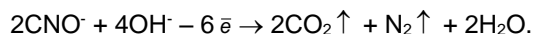
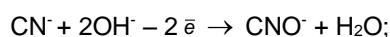
Поскольку вода для очистки после отстаивания относится к слабозагрязненным, предпочтительно использовать трубчатые тонкослойные отстойники с суточным расходом потока от 100 м³/сут. Период отстаивания чередуется с периодом очистки трубок от осадка. Трубчатый периодический отстойник характеризуется эффективностью очистки 80—85 %. В связи с этим концентрации веществ, находящихся во взвешенном состоянии, снижаются. При их оседании частично попадут в осадок ионы, сорбирующиеся на взвеси, и молекулы растворителей.

Что касается ионов, то для их удаления отстаивание недостаточно эффективно. Необходимо использовать физико-химические методы.

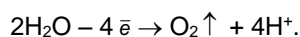
В связи с этим вода после тонкослойного отстойника направляется в электрокоагулятор-флотатор. В этой установке разрушение токсичных веществ происходит путем их окисления на аноде (ион цианида) либо восстановления на катоде (ионы металла, в том числе шестивалентный хром) [14, 15].

При пропускании через сточную воду постоянного тока происходит электролиз. На аноде разряжаются анионы и молекулы воды с выделением кислорода.

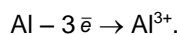
Ион цианида окисляется с образованием нетоксичных газообразных продуктов по реакциям



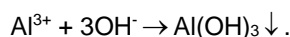
Молекулы воды разряжаются по реакции



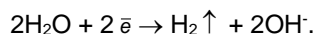
Если материалом анода является металл (например, алюминий), то в процессе электролиза происходит его анодное растворение:



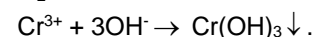
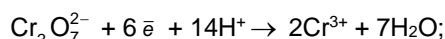
При реакции с водой образуется гидроксид с развитой хлопьевидной поверхностью:



При оседании он захватывает взвешенные частицы и ионы металлов. Происходит коагуляция. На катоде при электролизе воды выделяется водород:



Шестивалентный хром восстанавливается до трехвалентного и оседает в виде гидроксида:



Таким образом, при электрокоагуляции происходит оседание загрязнений за счет образования гидроксида алюминия при растворении анода, а при электрофлотации образуется шлам на поверхности воды за счет пузырьков кислорода и водорода, которые прикрепляются к загрязнениям и выносят их на поверхность воды.

Основными преимуществами электрофлотации являются: простота изготовления установки и несложность ее обслуживания; возможность регулировать степень очистки стоков в зависимости от фазово-дисперсного состояния путем изменения только одного параметра — плотности тока; дополнительная минерализация растворимых органических соединений с одновременным обеззараживанием воды за счет образующегося на аноде продукта электролиза — атомарного кислорода.

Флотошлам, представляющий собой пастообразную массу, состоит из частиц ЛКМ (в том числе пигментов) и компонентов пленкообразователя, которые могут использоваться в качестве модифицирующих добавок в шпатлевках, мастиках и грунтовках для окрашивания менее ответственных деталей, а также при ремонте и окрасочных работах в строительстве.

Электрофлотация осуществляется при следующих параметрах: плотность тока 100—150 А/м²; pH = 6—8. Эффект очистки составляет по ХПК 95—98 %, по взвешенным веществам — 98—99 %.

Очищенную таким методом воду можно использовать в оборотном водоснабжении. Основной недостаток метода — затраты электроэнергии.

Однако за счет снижения водопотребления (например, 24000 м³/г) и водоотведения экономия составит около 6 млн руб./г. Кроме того, предприятие не будет платить штрафы за сброс загрязненных вод в городской коллектор.

Технология регенерации шламов окрасочных камер

По данным [16], экономически целесообразным является переработка отходов ЛКМ в том случае, если их количество составляет более 20 кг/день.

Необходимо отметить, что при многообразии используемых в окрасочном производстве ЛКМ следует учитывать несовместимые сочетания различных лакокрасочных покрытий друг с другом. Пренебрежение данными правилами чревато тем, что вместо ожидаемого декоративного и защитного эффекта можно получить совершенно неудовлетворительно окрашенное покрытие, а иногда и вовсе безвозвратно испортить изделие.

Совместимость некоторых эмалей приведена в таблице [17].

Совместимость лакокрасочных материалов

ЛКМ	Обозначение	Грунтовки				
		АК	АС	ВЛ	ПФ	МЛ
Сополимерныевинилхлоридные	ХС	х		х	х	
Перхлорвиниловые	ХВ	х	х	х	х	х
Кремнийорганические	КО	х				
Меламинные	МЛ	х		х	х	х
Нитроцеллюлозные	НЦ	х		х		
Пенфталевые	ПФ	х		х	х	
Эпоксидные	ЭП	х		х	х	
Алкидно-акриловые	АС	х	х	х	х	

Необходимо не только учитывать совместимость ЛКМ при окраске изделий, но и недопустимо смешивать их при регенерации ЛКМ для исключения возможности получения неудовлетворительного качества регенерируемого конечного продукта.

Как видно из таблицы, не все ЛКМ совместимы. Поэтому для эффективного процесса переработки и регенерации отходов окрасочных камер целесообразно разделить окрасочные камеры на категории в соответствии с типами применяемых ЛКМ. Так можно избежать проблем смешивания несовместимых компонентов и проводить процессы обогащения и регенерации ЛКМ, не смешивая сточные воды гидрофильтров различных категорий.

Переработка отходов окрасочных камер может при этом осуществляться по периодической технологии с предварительной промывкой оборудования перед переходом к несовместимым отходам. Возможно, целесообразно иметь две технологические линии по

переработке и регенерации отходов в соответствии с категорией ЛКМ.

Процесс переработки включает сбор, нагревание в целях удаления влаги, смешивание с растворителем, диспергирование, очистку, разбавление до заданной вязкости и расфасовку. Понадобится приобретение дополнительного оборудования: смесителя с Z-образными лопастями или вертикальной планетарной мешалкой, бисерных мельниц, центрифуги и фильтров (рис. 4).

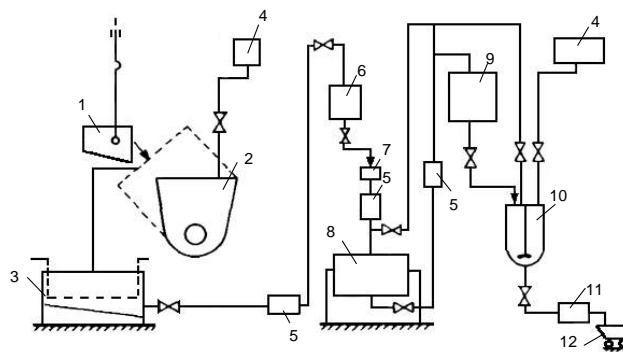


Рис. 4. Схема технологического процесса переработки отходов лакокрасочных материалов:

1 — контейнер; 2 — смеситель; 3 — фильтр грубой очистки; 4 — дозатор; 5 — насосы; 6 — диссоolver; 7 — сетчатый фильтр; 8 — шаровая мельница; 9 — бисерная мельница; 10 — мешалка лопастная; 11 — фильтр тонкой очистки; 12 — емкость

Все перечисленное оборудование потребует дополнительных материальных затрат, которые первоначально снизят рентабельность производства. Однако рассматривая предстоящую перспективу перехода к циклической экономике замкнутого цикла (многократного использования), приобретать его, сортировать окрасочные камеры по применяемым ЛКМ, несомненно, целесообразно. Это принесет прибыль и в экологическом, и в экономическом смысле [18].

Циклические бизнес-модели меняют направление движения продуктов и материалов по всей экономике, чем помогают сократить отрицательное воздействие добычи, использования и утилизации этих материалов на природную среду. Речь идет не только о совершенствовании конкретного производственного цикла, но и в целом об изменении процесса производства и потребления на основе природоподобных круговоротов веществ. Становится актуальной инициатива обращаться с природными ресурсами более эффективно, а не просто использовать их [19, 20].

Важно отметить, что модель циклической экономики не только соответствует гуманистической направленности отдельных компаний или стран, но и служит глобальным целям ООН в области устойчивого развития, принятым 25 сентября 2015 г. [21, 22], а именно:

- ответственное потребление и производство;
- недорогостоящая и чистая энергия;
- устойчивые города и населенные пункты;
- борьба с изменением климата;
- сохранение морских экосистем и экосистем суши.

В декабре 2015 г. Европейская комиссия приняла план действий по переходу к циклической экономике до 2019 г. Указанный план декларирует, что такая модель становится основой стратегии устойчивого развития ЕС и предполагает активное развитие соответствующего государственного регулирования.

Заключение

Процесс нанесения лакокрасочных покрытий на предприятиях авиационной отрасли осуществляют в окрасочных камерах, оснащенных гидрофилтрами для защиты производственного персонала от токсичного воздействия окрасочного аэрозоля.

Анализ химического состава используемых красок показал, что они высокотоксичны, в связи с чем сброс сточных вод от систем гидрофилтров в городской коллектор чреват постоянными штрафами, во избежание которых необходимо проектировать бессточные системы оборотного водоснабжения. Поскольку сточные воды окрасочных камер отличаются сложным составом загрязнителей и представляют собой дисперсные системы, в которых одна часть веществ подвержена седиментации, а другая равномерно распределена по объему дисперсионной среды, для их очистки необходима комбинация механических и физико-химических методов.

Наиболее эффективными для этого являются тонкослойное отстаивание и электрокоагуляция-флотация. Что касается регенерации шлама, образующегося при отстаивании сточных вод, то этот технологический процесс в условиях постоянно растущего промышленного производства неизбежен и должен учитывать совместимость компонентов ЛКМ для получения качественного конечного продукта.

Необходимо отметить, что для модернизации системы очистки сточных вод гидрофилтров и приобретения нового оборудования понадобятся дополнительные расходы, которые могут снизить рентабельность производства. Однако эти мероприятия неизбежны в рамках концепции устойчивого развития и перехода к экономике многократного использования ресурсов, которая стала основой концепции устойчивого развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Метечко Л. Б., Сорокин А. Е., Новиков С. В. Введение в экологию аэрокосмической отрасли: учебник. — Калуга: Эйдас, 2016. — 320 с.
2. Камеры Altmaler с гидрофилтром и оmyваемым полом [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.niikp.ru/equipment/okrasochnye-kamery-kabiny-altmaler/okrasochnye-kamery-altmaler-s-gidrofiltrom-vodyanoy-zavesoy/>
3. Дайнов М. И., Метечко Л. Б., Толоконникова В. В. Расчет величины выбросов загрязняющих веществ в окружающую природную среду при нанесении лакокрасочных материалов: учеб. пособие. — М.: Изд-во МАИ, 2012. — 44 с.
4. Методика расчета выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу при нанесении лакокрасочных материалов. — М.: НИИ Атмосфера, 1997.
5. ГОСТ 9.402-2004 Межгосударственный стандарт. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Подготовка металлических поверхностей к окрашиванию [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200040460>
6. Метечко Л. Б. Экология для инженерно-экономических и технических вузов: учеб. пособие. — Саарбрюкен (Германия): Lap Lambert Academic Publishing, 2013. — 520 с.
7. Виноградов С. С. Экологически безопасное гальваническое производство. Изд. 3. — М.: Глобус, 2002. — 351 с.
8. Методика расчета объемов образования отходов МРО-3-99 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://all4eco.ru/Сборник%20методик%20по%20расчету%20отходов.pdf>
9. Метечко Л. Б., Вострикова С. М., Сорокин А. Е. Прикладные экологические расчеты. Анализ и расчет выбросов загрязняющих веществ производствами аэрокосмической отрасли: учеб. пособие с грифом редсовета МАИ. — М.: Изд-во МАИ, 2018. — 96 с.
10. Сотникова Е. В., Лавринович А. А. Выбор технологии обезвреживания сточных вод окрасочных камер на предприятиях авиационной отрасли по критериям наилучших доступных технологий // Сб. тезисов докладов "Гагаринские чтения-2021". 2021. С. 690—691.
11. Сотникова Е. В., Дмитренко В. П. Техносферная токсикология. — СПб.: Лань, 2015. — 400 с.
12. Метечко Л. Б., Вострикова С. М., Сорокин А. Е. Прикладные экологические расчеты. Методики оценки экологических ущербов и определения эффективности природоохранных проектов: учеб. пособие с грифом редсовета МАИ. — М.: Изд-во МАИ, 2018. — 100 с.
13. ГОСТ 9.314-90 Единая система защиты от коррозии и старения. Вода для гальванического производства и схемы промывок. Общие требования [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data/105/10585.pdf>
14. Сотникова Е. В., Дмитренко В. П., Сотников В. С. Теоретические основы процессов защиты среды обитания. — СПб.: Лань, 2014. — 576 с.
15. Larionov A., Metechko L., Davydov A., Davydov D. Prospects for the development of green and energy efficient technologies in construction: MATEC Web of Conferences — EDP Sciences — August 20, 2018. P. 04027.
16. Бобович Б. Б. Обращение с отходами производства и потребления. — М.: ИНФРА-М, 2019. — 496 с.
17. Елизаветский А. М. Справочник по лакокрасочным покрытиям. Технология и оборудование. Режим доступа: https://www.hpyar.ru/files/project_5081/Elisavetskii_A.M._Spravochnik_po_lakokrasochnim_pokritiyam._Tehnologiya_i_oborudovanie.pdf
18. Метечко Л. Б., Сорокин А. Е. Гармонизация эколого-экономических показателей на рынках продукции высоких технологий // Экономика и управление в машиностроении. 2016. № 5. С. 79—85.
19. Голов Р. С., Метечко Л. Б., Мыльник А. Е., Сорокин А. Е. Экологическая инноватика — современный подход к решению глобальной проблемы человечества // Экономика и управление в машиностроении. 2016. № 6. С. 22—29.
20. Metechko L. B., Sorokin A. E. Cluster Strategy for Eco-Innovation at Manufacturing Enterprises // Russian Engineering Research. 2018. V. 38. № 4. P. 316—319.
21. Метечко Л. Б., Сорокин А. Е., Кабанов А. С. Экология и энергосбережение — стиль жизни современного человека // Научные труды Вольного экономического общества России. 2018. Т. 213. № 5. С. 365—383.
22. Долгушин А. Б., Цуканов А. А. Циклическая экономика: понятия, принципы, модели реализации: мат. VI Междунар. науч.-практ. конф. "Развитие инновационной экономики: достижения и перспективы". 21 ноября 2019. — М.: Московский университет им. С. Ю. Витте, 2019.

Resource-saving technology of wastewater treatment of paint chambers of high-tech enterprises

E. V. SOTNIKOVA, L. B. METECHKO

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

The article analyzes the technological scheme of wastewater treatment developed by the authors of hydrofilters of paint chambers to meet the requirements for recycled water supply, sludge regeneration and reduction of waste disposal costs. The purpose of developing a resource-saving technology is to strive for a business model of a cyclical economy in domestic industrial production. The implementation of the proposed technology will not only reduce the cost of water consumption, wastewater disposal and sludge disposal, but also allow you to get an additional profit from the return reclaimed sludge in the production cycle.

Keywords: painting chamber, hydrofilter, cyclic economy, resource saving, recycled water supply system, thin-layer settling tank, electrocoagulator-flotator, sludge regeneration.

Bibliography — 22 references.

Received October 11, 2021

УДК 628.31, 628.32, 628.316.13, 628.336.3

DOI: 10.52190/2073-2589_2021_4_17

Методы снижения негативного воздействия возвратных вод на биологическую очистку

В. Н. ВОЛКОВА; С. Б. КУНДЕНОК; В. Л. ГОЛОВИН, канд. техн. наук
ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Политехнический институт,
г. Владивосток, Приморский край, Россия

Рассмотрены методы очистки возвратной воды канализационных очистных сооружений (КОС). Разработан новый композитный состав для реагентного осаждения аммония и фосфатов из воды, которая образуется в результате сгущения и обезвоживания осадка. На основе полученных экспериментальных данных разработана технологическая схема обработки воды, образующейся после механического обезвоживания избыточного активного ила и осадка от эксплуатации очистных сооружений на станциях биологической очистки сточных вод. Разработанное технологическое решение позволяет исключить воздействие алюминия на активный ил и минимизировать негативное влияние аммония и фосфатов при минимальных строительных и эксплуатационных затратах. Предложенный способ очистки применим как для действующих очистных сооружений, так и для вновь проектируемых.

Ключевые слова: канализационные очистные сооружения, механическое обезвоживание осадков, возвратные воды, коагуляция, фосфаты, аммоний.

Возвратные сточные воды на КОС имеют насыщение аммонием и фосфатами [1]. Большое количество аммония в сточной воде отрицательно влияет на флору и фауну водных объектов. При возврате сточных вод в голову очистных сооружений с предельным количеством биогенных элементов увеличивается нагрузка на работу биореакторов [2]. Одним из требований к технологиям очистки городских сточных вод является необходимость удаления соединений азота, фосфора и органических веществ в целях снижения нагрузки на КОС.

Наиболее интенсивное поступление биогенных элементов в сточные воды происходит при депонировании, когда иловая вода от обезвоживания осадков возвращается в "голову" сооружений [3].

На построенных в XX в. городских КОС преобладают следующие схемы очистки: решетки-дробилки, песколовки, первичные отстойники, аэротенки, вторичные отстойники, контактные резервуары для обеззараживания хлор-агентом. Современные системы биологической очистки представлены сооружениями периодического действия и проточного типа со свободно плавающей биомассой и прикрепленной микрофлорой. Схемы очистки имеют аэробные,

анаэробные, аноксидные и комбинированные зоны. Независимо от выбранного метода изъятия биогенных веществ в системе образуется избыточная биомасса, которая обычно сначала уплотняется, а затем обезвоживается перед сжиганием или депонированием. При этом образуется иловая вода (фугат) с высоким содержанием аммония и фосфатов [4], которые возвращаются в распределительную камеру перед первичными отстойниками (голову сооружений).

В отличие от азота, который в системах биологической очистки сточных вод выводится в газообразной форме в процессе денитрификации, фосфор выводится в составе избыточного ила. При этом максимальное количество фосфора биомасса накапливает в конце аэробной зоны аэротенка в виде полифосфатов [5]. При обработке избыточного активного ила в анаэробных условиях происходят деградация полифосфатов и вывод их в воду [6]. Поэтому перед механическим обезвоживанием осадков предпочтительно применять схему для гравитационного уплотнения осадков без сооружений анаэробного сбрасывания.

Фосфаты и аммоний из сточных вод удаляют биологическими, физико-химическими и комбинированными методами [1]. Обработка возвратной воды биологическими методами продолжительна по времени [7] и требует специально адаптированной биомассы [8], так как не соблюдается количественная пропорция питательных веществ 100БПК₂₀:5Р:1N, при которой формируется сбалансированный состав микроорганизмов.

Классически для реагентного осаждения фосфатов применяют соли алюминия и железа. В послед-

Волкова Владислава Николаевна, аспирант, инженер-исследователь.

E-mail: vladavibi@bk.ru

Кунденко Светлана Борисовна, старший преподаватель.

E-mail: 14sveta65@mail.ru

Головин Виктор Леонтьевич, профессор.

E-mail: golovin.vl@dvfu.ru

Статья поступила в редакцию 24 сентября 2021 г.

© Волкова В. Н., Кунденко С. Б., Головин В. Л., 2021

нее время стали применять нетрадиционные коагулянты, например хлорид полититана [9] и композитные составы. В [10] рассматривается эффективность разработанной щелочной композиции для сточных вод с низким pH среды (менее 6,5). Композитные реагенты включают смеси коагулянтов в различных пропорциях и применяются достаточно давно, а применение коагулирующе-флокулирующих композиций приобретает все большую актуальность для сточных вод со специфическим составом.

Повышенная концентрация биогенных элементов в сточной воде, поступающей на канализационные очистные сооружения, приводит к увеличению нагрузки на сооружения так, что действующие сооружения перестают справляться с очисткой от органических соединений [11].

Применение технологии биологического удаления аммония и фосфатов имеет еще одну особенность. Она заключается в том, что микроорганизмы, аккумулирующие фосфор, в анаэробных условиях выделяют накопленный фосфор в растворенном виде в воду. Избыточный ил перед обезвоживанием подлежит гравитационному уплотнению в течение нескольких часов. Этого времени достаточно для того, чтобы весь фосфор, накопленный в нем в виде полифосфатов, перешел в растворенное состояние в иловую воду. При проектировании необходимо учитывать эту особенность и включать в технологическую цепочку сооружения по химическому осаждению аммония и фосфора в виде нерастворимых осадков. Для очистки сточных вод существует способ реагентной обработки [12]. Способ очистки сточных вод от ионов аммония имеет корректировку pH сточных вод реагентом с последующей обработкой сточных вод окислителем в эквивалентном количестве или с избытком 5 % к количеству ионов аммония. В данном

методе сточную воду подвергают обработке технической окисью магния [13]. Процесс ведут в две ступени таким образом, что окись магния подают с избытком на вторую ступень обработки сточной воды, а отработанный шлам окиси магния от второй ступени делят на два потока. Анализ рассмотренных методов удаления аммонийного азота показал, что наиболее оптимальным методом является реагентный. Исследована обработка с использованием растворов хлорида магния и тринатрийфосфата, где не требуется предварительной очистки сточных вод [14]. Исследован способ реагентной обработки с алюмосиликатными реагентами [15]. Такие реагенты, как хлорид алюминия, полиоксихлорид алюминия, сульфаты полиалюминия, хлорсульфаты, широко применяют во всем мире и давно доказали свою эффективность [16, 17].

Цель работы — выявить наиболее эффективные методы снижения негативного воздействия аммония и фосфатов возвратной воды от канализационных осадков и вторичных отстойников в системах биологической очистки; в рамках реконструкции канализационных очистных сооружений разработать комплексную схему изъятия аммония и фосфатов в осадок из оборотных вод при минимальных капиталовложениях и эксплуатационных затратах.

Экспериментальная часть

Исследования проводили в рамках разработки технологической схемы реконструкции очистных сооружений г. Артем (пос. Кневичи) на фугатной воде образующихся в ходе механического сгущения и обезвоживания осадков на центробежных декантерах UCF 466-00-34 (г. Владивосток, КОС "Центральные") (рис. 1).

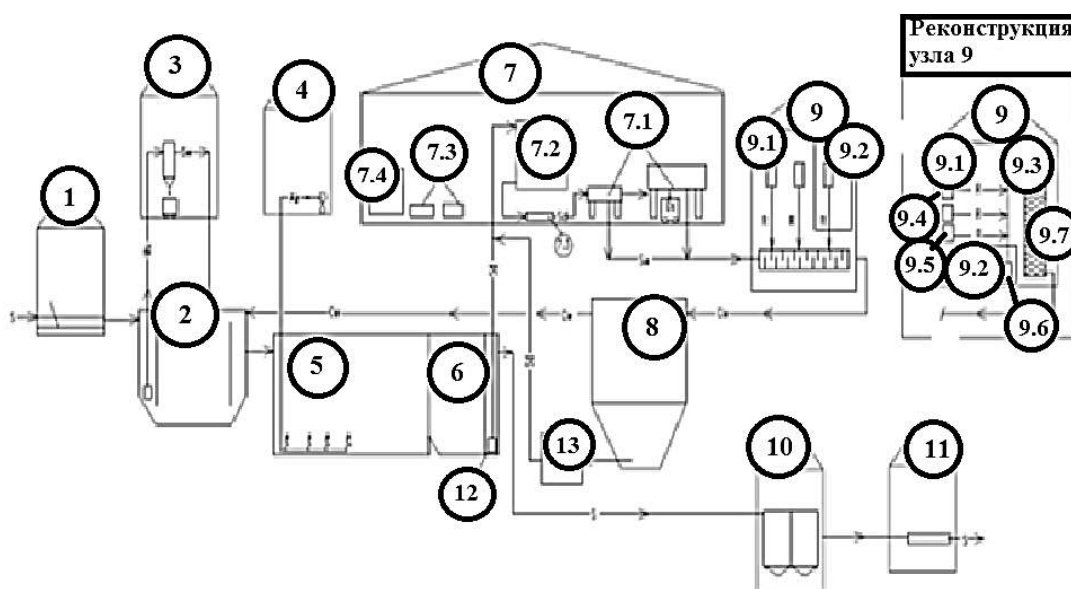


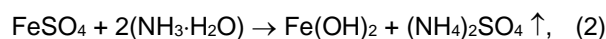
Рис. 1. Схема биологических канализационных очистных сооружений "Центральные", г. Владивосток:

1 — здание решеток; 2 — аэрируемая песколовка; 3 — пескоуловитель; 4 — воздуходувная станция; 5 — аэротенк нитрификатор-денитрификатор карусельного типа; 6 — горизонтальный вторичный отстойник; 7 — здание обезвоживания осадка; 7.1 — центробежные декантеры сгущения и обезвоживания осадка; 7.2 — промежуточная емкость; 7.3 — шнековые насосы; 7.4 — станция приготовления флокулянта; 8 — осветлитель; 9 — здание реагентного хозяйства; 9.1 — насосы-дозаторы; 9.2 — промежуточная емкость уплотненного осадка; 9.3 — шнековые насосы; 9.4 — датчик влажности осадка; 9.5 — горизонтальные центрифуги; 9.6 — емкость фугатной воды; 9.7 — коагулирующая колонна; 10 — песчаные фильтры; 11 — узел ультрафиолетового обеззараживания; 12 — насосная станция избыточного ила; 13 — насосная станция реагентного осадка

В целях выявления оптимальных параметров реагентного изъятия аммония и фосфатов из системы биологической очистки проведен ряд экспериментов с коагулянтами солями железа и алюминия по классической методике пробного коагулирования. После седиментации растворов проводили оценку их цветности и отбирали пробу из середины осветленного слоя. Концентрацию ионов аммония и фосфатов определяли по методикам, рекомендуемым в специальной литературе: аммоний — с реактивом Несслера; фосфаты — со смешанным реактивом; остаточный алюминий — с алюминоном. Результаты исследований представлены на рис. 2, 3 и в табл. 1.

Результаты эксперимента

Эффективность очистки коагулянтном FeSO_4 составила по фосфатам 98 %, а по аммонiu наблюдалось увеличение концентрации в очищенной воде. Сернокислородное железо — достаточно эффективный коагулянт для использования при доочистке сточных вод от фосфатов, так как плата за негативное воздействие на окружающую среду при остаточном железе на 2021 г. составляет 5 950,8 руб./т. Однако есть и негативные стороны этого реагента. Любая сточная вода содержит аммонийные соединения. При взаимодействии аммонийных соединений с сернокислым железом выделяется гидрат аммиака:



что подтверждает увеличение концентрации аммония в эксперименте.

При доочистке сточных вод сернокислым железом после подщелачивания происходит такая же химическая реакция с выделением гидрата аммиака, так как pH в данном случае на ход реакции не воздействует.

Из табл. 1 видно, что эффективность при использовании Аква-аурат³⁰ составляет 86 % по аммонiu и 99 % по фосфатам при высокой степени доочистки от биогенных элементов. Однако есть и противоположные стороны: низкое значение pH (5,5); остаток в воде после доочистки ионов алюминия. Исходя из Федерального закона № 7 [18] (статья 16) взимается плата за негативное воздействие на окружающую среду за сбросы загрязняющих веществ в водные объекты. По ставкам платы на 2021 г. за сброс алюминия плата составляет 18 388,3 руб./т.

Сульфат алюминия при совместном использовании с гидроксидом натрия для подщелачивания очищает воду на 68 % по аммонiu и на 98 % по фосфатам. Остаточный алюминий присутствует в пробе (см. рис. 2).



Рис. 2. Реагентная обработка фугатной воды: 1 — обработка сульфатом железа; 2 — обработка сульфатом железа и гидроксидом натрия; 3 — обработка Аква-аурат³⁰



Рис. 3. Обработка фугатной воды сульфатом алюминия и гидроксидом натрия

Таблица 1

Экспериментальные данные. Определение оптимального коагулянта

Вещество	Исходная проба, фугатная вода, мг/л	После обработки, фугатная вода, мг/л	pH раствора после обработки	Время, мин	Цвет	Эффект очистки, %
Проба № 1: FeSO ₄ 5 %						
NH ₄	62,82	192,74	4	7	Желтый	0
PO ₄	29,81	0,03				98
Проба № 2: FeSO ₄ 5 % (13 мл) + NaOH 5 % (1,5 мл)						
NH ₄	62,82	69,00	5	7	Желто-зелёный	0
PO ₄	29,81	0,21				98
Проба № 3: Al(OH) ₃ 5 % (13 мл) (аквааурат 30)						
NH ₄	62,82	8,55	5,5	7	Прозрачный	86
PO ₄	29,81	0,33				99
Проба № 4: Al ₂ (SO ₄) ₃ 5 % (13 мл) + NaOH 5 % (1,5 мл)						
NH ₄	62,82	20	6	7	Серый	68
PO ₄	29,81	0,71				98

Остаточные соединения в виде металлов, возвращённые в голову сооружений, негативно влияют на нагрузку очистных сооружений, имея токсическое воздействие на микроорганизмы. Полная коагуляция солей алюминия с образованием нерастворимых осадков протекает при избыточной щелочности 1—2 моль/л. На рис. 4 и в табл. 2 представлены результаты реагентной обработки фугатной воды при избыточной щелочности коагулянтом Аква-Аурат³⁰.

Эффективность очистки коагулянтом Аква-Аурат³⁰ составила по фосфатам 99 %, а по аммонии 90 %. Остаточный алюминий в норме предельно допустимых концентраций водоемов рыбохозяйственного значения.

Для сокращения эксплуатационных расходов на минеральные коагулянты разработан новый состав для реагентного осаждения фосфатов из фугатной воды, обладающий высокой коагулирующей способностью за счет ионов металлов морской воды. Результаты исследования приведены в табл. 3. Количество вводимой морской воды в качестве реагента рассчитано с учетом общего солесодержания (не более 1 г/м³).

По результатам, представленным в табл. 3, видно, что достигнута максимальная эффективность очистки сточных вод, составляющая 98—99 % по отношению к аммонии и фосфатам; pH соответствует норме; данного реагента требуется меньше для доочистки сточных вод (рис. 5).

Для протекания процесса коагуляции необходимо обеспечить оптимальные условия смешения сточных вод с реагентами и созревания флокулов (процесс хлопьеобразования). Для обработки фугатной воды разработана конструкция коагулирующей колонны (см. рис. 1, позиция 9.3). Установка обработки иловой воды включает промежуточную насосную станцию 9.2, три узла ввода и дозирования реагентов с противодавлением, насосы-дозаторы 9.1, коагулирующую колонну 9.3. Время пребывания сточных вод в колонне — семь минут.

Проектом реконструкции узла 9 предусмотрены раздельное обезвоживание осадков, содержащих реагенты, и вывоз на полигон ТБО для заполнения пространства между брикетами спрессованного мусора. Осадок, не содержащий соли алюминия, может быть использован для удобрения почв.



Рис. 4. Реагентная обработка коагулянтом Аква-Аурат³⁰ при избыточной щелочности



Рис. 5. Реагентная обработка сульфатом алюминия, гидроксидом натрия и морской водой

Результаты обработки фугатной воды коагулянтом Аква-Аурат³⁰ при избыточной щелочности

Таблица 2

Вещество	Исходная проба, фугатная вода, мг/л	После обработки, фугатная вода, мг/л	pH раствора после обработки	Время, мин	Цвет	Остаточный алюминий, мг/л	Эффект очистки, %
Проба № 5: Al(OH)₃ + NaOH (Аква-Аурат ³⁰) 5 % (13 мл) + NaOH 5 % (1 мл)							
NH₄	62,82	7,12	6,5	7	Прозрачный	0,03	90
PO₄	29,81	0,28					99

Результаты обработки фугатной воды сульфатом алюминия с морской водой

Таблица 3

Вещество	Исходная проба, фугатная вода, мг/л	После обработки, фугатная вода, мг/л	pH раствора после обработки	Время, мин	Цвет	Остаточный алюминий, мг/л	Эффект очистки, %
Проба № 6: Al₂(SO₄)₃ 5 % (10 мл) + NaOH 5 % (1 мл) + морская вода (20 мл)							
NH₄	62,82	3,21	6,8	7	Прозрачный	0,00	98
PO₄	29,81	0,17					99

При анализе опыта эксплуатации очистных сооружений г. Владивостока разработано комплексное технологическое решение по изъятию фосфора и азота в рамках разработки проекта реконструкции очистных сооружений г. Артема (рис. 6). КОС введены в эксплуатацию в 1978 г. В состав сооружений входят здание решеток, горизонтальные песколовки с круговым движением воды, первичные отстойники, аэротенки-вытеснители, вторичные отстойники, контактный резервуар, хлораторная, воздуходувная станция. Сооружения обработки осадка представлены иловыми площадками на искусственном основании и насосной станцией перекачки осадка. Дренажная вода с иловых площадок возвращается в голову сооружений в распределительную камеру первичных отстойников. Емкостные железобетонные конструкции (отстойники, аэротенки) сохранились в достаточно хорошем состоянии, но технология очистки и обработки осадка не соответствует экологическим требованиям.

Мероприятия по реконструкции включают в себя:

- замену технологического оборудования здания решеток;
- установку современного оборудования для удаления и обезвоживания песка;

- замену системы аэрации аэротенка (установку дисковых аэраторов в распределительные каналы и замену перфорированных труб на трубчатую мелкопузырчатую систему аэрации);
- строительство узла приготовления и дозирования реагентов для доочистки сточных вод и переоборудование контактного резервуара в отстойник для реагентной доочистки сточных вод;
- строительство узла ультрафиолетового обеззараживания;
- строительство узла обезвоживания осадка.

Поэтапное изъятие фосфатов и аммония в технологической схеме предусмотрено в трех точках:

- в виде полифосфатов с избыточным илом в конце аэрационной зоны аэротенка;
- в виде нерастворимого осадка при реагентной доочистке;
- при обработке фугатной воды коагулянтами.

Удаление аммония и фосфатов из системы сооружений биологической очистки осуществляется с обезвоженным осадком.

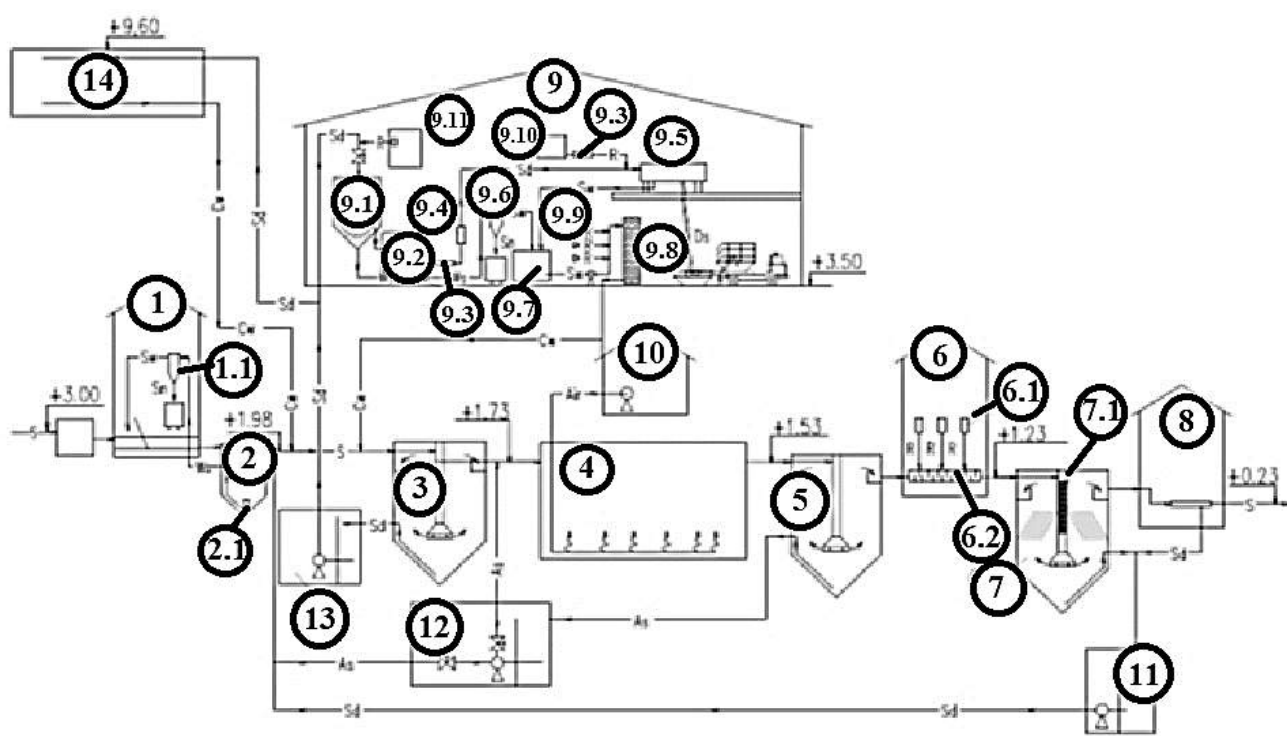


Рис. 6. Схема реконструкции канализационных очистных сооружений г. Артем:

- 1 — здание решеток; 1.1 — пескоуловитель; 2 — песколовка; 3 — первичный отстойник; 4 — аэротенк-вытеснитель; 5 — вторичный отстойник; 6 — здание реагентного хозяйства; 6.1 — насосы-дозаторы; 6.2 — смеситель сточных вод с реагентами; 7.1 — контактный резервуар реконструированный в отстойник с тонкослойными модулями, камера хлопьеобразования; 8 — узел ультрафиолетового обеззараживания; 9 — узел сгущения и механического обезвоживания осадка; 9.1 — гравитационные илоуплотнители периодического действия; 9.2 — промежуточная емкость уплотненного осадка; 9.3 — шнековые насосы; 9.4 — датчик влажности осадка; 9.5 — горизонтальные центрифуги; 9.6 — гидроциклон; 9.7 — емкость фугатной воды; 9.8 — коагулирующая колонна; 9.9 — насосы-дозаторы; 9.10 — станция приготовления флокулянта; 9.11 — узел дозирования обеззараживающего осадка реагента; 10 — воздуходувная станция; 11 — насосная станция реагентного осадка; 12 — насосная станция смеси избыточного ила; 13 — насосная станция смеси избыточного ила и первичного осадка; 14 — резервные иловые площадки

Заключение

На основе полученных экспериментальных данных разработана технологическая схема обработки фугатной воды, образующейся после механического обезвоживания осадков на станции биологической очистки сточных вод. Разработанное технологическое решение позволяет минимизировать негативное влияние на активный ил возвратных сточных вод с высоким содержанием аммония и фосфатов при минимальных строительных и эксплуатационных затратах. Предложенный способ очистки применим как для действующих очистных сооружений, так и для вновь проектируемых.

Наиболее эффективными реагентами для обработки фугатной воды являются Аква-аурат³⁰, но для сброса сточных вод в водные объекты необходимо учитывать нейтральность pH среды воды и составной реагент — сульфат алюминия и морская вода.

Исследования показали, что при обработке сточных вод не рекомендуется использовать сульфат железа, так как при взаимодействии аммонийных соединений с сернокислым железом выделяется гидрат аммиака, чем обусловлено появление неприятного запаха во время реакции.

Выявлено, что после коагуляции хорошо себя показали реагенты Аква-аурат³⁰ с гидроксидом натрия и сульфат алюминия с гидроксидом натрия и морской водой. Данную воду можно возвращать в голову сооружений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90004.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амбросова Г. Т., Матюшенко Е. Н., Функ А. А., Синеева Н. В. Исходники повышения концентрации фосфора в сточной жидкости, поступающей на очистные сооружения канализации, и способы их устранения // Строительство и техногенная безопасность. 2016. № 5(57). С. 24—31.
2. Мухрыгина А. М., Смирнова Н. Н. Удаление из сточных вод ионов аммония методом осаждения // Международный студенческий научный вестник. 2015. № 3—2. С. 231.

3. Иваненко И. И. Оценка выноса азота и фосфора из узла обработки осадка на очистных сооружениях г. Пушкина с глубоким биологическим удалением биогенов // Вода и экология: проблемы и решения. 2014. № 3(59). С. 52—62.
4. Амбросова Г. Т., Функ А. А., Иванова С. Д., Ганзориг Ш. Сравнительная оценка применяемых методов удаления фосфора из сточной жидкости // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 2. С. 25—36.
5. Волков Г. А., Сторожук Н. Ю. Удаление азота и фосфора на очистных сооружениях городской канализации // Вестник Брестского государственного технического университета. 2017. № 2. С. 106—109.
6. Матюшенко Е. Н., Гундырева Т. М. Повышение эффективности работы очистных сооружений канализации при реагентной очистке возвратных потоков от фосфора // Водоснабжение и санитарная техника. 2019. № 4. С. 60—67.
7. Волкова В. Н., Головин В. Л. Доочистка сточных вод на беспленочном медленном фильтре // Экология и промышленность России. 2021. № 25(6). С. 15—19.
8. Маркарова М. Ю., Щемелинина Т. Н., Тарабукин Д. В., Анчугова Е. М. Оптимизация очистки сточных вод с применением биопрепарата "Универсал" // Вестник биотехнол. физ.-хим. биол. им. Ю. А. Овчинникова. 2013. Т. 9. № 4. С. 28—30.
9. Zhao Y. X., Phuntsho S., Gao B. Y., Yang Y. Z., Kim J. H., Shon H. K. Comparison of a Novel Polytitanium Chloride Coagulant with Polyaluminum Chloride: Coagulation Performance and Flocculation Characteristics // Journal of Environmental Management. 2015. V. 147. P. 194—202.
10. Кунденко С. Б., Коваленко Ю. А. Реагентная очистка различных видов сточных вод трехкомпонентной композицией // Вестник инженерной школы ДВФУ. 2021. № 1(46). С. 96—104.
11. Галанцева Л. Ф., Фридланд С. В. Исследования очистки сточных вод г. Чистополя от фосфатов // Вестник Казанского технологического университета. 2010. № 2. С. 311—314.
12. Пойлов В. З., Коноплев Е. В., Тимаков М. В. и др. Способ очистки сточных вод от ионов аммония. Патент № 2253626 С1 Рос. Федерация. № 2003137269/15. Заявл. 24.12.2003. Опубл. 10.06.2005. Заявитель ОАО "Уралкалий". Бюл. № 16. — 4 с.
13. Папков Г. И., Ключева Р. И., Татарко В. И. Способ очистки сточных вод от солей аммония. Авторское свидетельство № 1370088 А1 СССР № 4071330. Заявл. 09.04.1986. Опубл. 30.01.1988. Заявитель Украинский научно-исследовательский углехимический институт. Бюл. № 4. — 5 с.
14. Кирьянова Т. И. Очистка производственных сточных вод от аммонийного азота в условиях колебания концентраций // Master's J. 2018. № 2. Р. 53—58.
15. Kurchatov I. M., Lagunov N. I., Neschimenko Y. P., Feklistov D. Y. Reagent-sorption Technology of Water Treatment // Physics Procedia. 2015. № 72. P. 89—92.
16. Tzoupanos N. D., Zouboulis A. I. Coagulation-flocculation processes in wastewater treatment: the application of new generation of chemical reagents: Conference materials 6th International Conference on Heat transfer, thermal engineering and environment. 2008. P. 309—317.
17. Li R., Gao B., Wang W., Yue Q., Wang Y. Flocculation properties and membrane fouling in coagulation/ultrafiltration process for the treatment of Xiaqing River // The role of polymeric aluminum-polymer dual-coagulants. Chemosphere. 2020. V. 243. Art. 125391.
18. Об охране окружающей среды: Федер. закон. Принят Гос. Думой 20.12.2001. Собрание законодательства РФ. Ст. 16. Ред. от 09.03.2021. С. 19—24.

Methods to reduce the negative effect of water from sludge dewatering on biological treatment

V. N. VOLKOVA, S. B. KUNDENOK, V. L. GOLOVIN

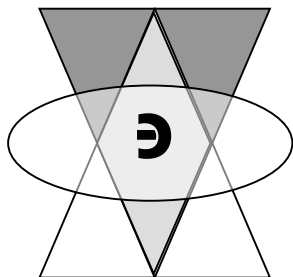
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education "Far Eastern Federal University" (FEFU), Polytechnic Institute, Vladivostok, Russia

Methods of purification of the sewage treatment plants (WWTP) return water are considered. A new composite composition has been developed for the reagent precipitation of ammonium and phosphates from water, which is formed as a result of thickening and dewatering of sludge. On the basis of the obtained experimental data, a technological scheme for the treatment of water formed after mechanical dewatering of excess activated sludge and sludge from the operation of treatment plants at biological wastewater treatment plants has been developed. The developed technological solution allows to exclude the effect of aluminum on activated sludge and to minimize the negative effect of ammonium and phosphates, with minimal construction and operating costs. The proposed cleaning method is applicable to both existing treatment facilities and newly designed ones.

Keywords: sewage treatment facilities, mechanical dewatering of sludge, return water, coagulation, phosphates, ammonium.

Bibliography — 18 references.

Received September 24, 2021



Очистка промышленных газовых выбросов

УДК 665.7.033.22; 66.081.3; 661.183.3
DOI: 10.52190/2073-2589_2021_4_23

Очистка дымовых газов от оксидов азота двухступенчатым методом восстановления аммиачными соединениями

А. М. ВОЛОДИН, канд. техн. наук; О. А. КИСЕЛЕВА;
А. А. СТРОКОВ, канд. техн. наук
ОАО «Всероссийский теплотехнический институт», Москва, Россия

Описаны режимно-технологические параметры ведения процессов азотоочистки, включающие подготовку водяного пара, раствора карбамида и активатора, основные конструктивные особенности и принцип работы контактного тепло-массообменного и реакционного оборудования для выполнения поставленной задачи.

Ключевые слова: сжигание, дымовой газ, очистка, оксиды азота, аммиак, карбамид, катализатор, установка.

Очистка дымовых газов от оксидов азота, образующихся в результате сжигания газа, угля, нефтепродуктов и другого органического топлива, является важной задачей ввиду того, что выброшенный в атмосферу оксид азота при реакции с атмосферной водой образует азотную кислоту, которая впоследствии выпадает на землю вместе с атмосферными осадками, отрицательно воздействуя на всех представителей флоры и фауны [1].

В мировой практике существует достаточное количество методов очистки дымовых газов от оксидов азота, многие из которых получили реальное воплощение в действующих установках. Среди них известны и широко используются в первую очередь высокотемпературные некаталитические методы восстановления оксидов азота аммиаком или аммиачными соединениями с процессами, протекающими в газоходах котлов (СНКВ), и низкотемпературные методы с использованием тех же восстановителей на поверхности катализаторов (СКВ). Первый из указанных методов восстановления оксидов азота аммиачными соединениями относительно прост и недорог, позволяет во многих случаях добиться эффективности очистки, необходимой для соблюдения норма-

тивных выбросов, второй метод позволяет достичь высокой эффективности азотоочистки, но относительно дорог, поскольку более энергоемок из-за повторного нагрева дымовых газов и использования дорогостоящих катализаторов восстановления.

Известны и комбинированные двухступенчатые методы очистки от оксидов азота, имеющие как высокотемпературную, так и низкотемпературную зоны обработки, например способ очистки от оксидов азота продуктов сгорания топлива в газоходе теплового агрегата, воплощенный в отдельную установку. В качестве восстановительного реагента используют водный раствор карбамида, который смешивают с перегретым паром и затем подают полученную смесь в высокотемпературную и низкотемпературную зоны газохода последовательно. При этом в качестве активатора восстановительного реагента, который добавляют в смесь перегретого пара и водного раствора карбамида, подаваемую в низкотемпературную часть газохода, используют озон в виде озонородушной смеси [2].

Недостатками способа использования озонородушной смеси в качестве активатора окисления оксидов азота и установки на его основе являются:

- сильные окислительные свойства среды, требующие специальной защиты; озон в высоких концентрациях чрезвычайно опасен для людей из-за возможности отравления;
- трудность поддержания стабильных концентраций активатора из-за быстрого разложения озона в воздушной и водной средах, что вызывает значительные технологические сбои в работе оборудования с подобными средами;

Володин Анатолий Михайлович, ведущий научный сотрудник.
E-mail: AMVolodin@vti.ru
Киселева Ольга Александровна, заведующая отделом.
E-mail: OAKiseleva@vti.ru
Строков Андрей Александрович, заместитель заведующего отделом.
E-mail: AASTrokov@vti.ru

Статья поступила в редакцию 28 сентября 2021 г.

© Володин А. М., Киселева О. А., Строков А. А., 2021

- сильная коррозия оборудования, что приводит к необходимости использовать специальные дорогостоящие антикоррозионные материалы;
- высокая энергоемкость процесса получения используемого активатора;
- необходимость поддержания определенного температурного режима, не допускающего быстрого разложения озона, и соблюдения особых правил техники безопасности при его производстве.

В связи с этим, поставленной общей задачей явились улучшение технологических и эксплуатационных характеристик процесса очистки от оксидов азота продуктов сгорания топлива в газоходе теплового агрегата, снижение энергоемкости процесса очистки дымовых газов от оксидов азота, снижение скорости коррозии оборудования установки и обеспечение безопасных условий при работе персонала с установкой. Также ставилась задача обеспечения более высокой и стабильной степени очистки дымовых газов от оксидов азота на уровне 95—99 % при различных испытательных режимах.

Решение данной задачи [3] с достижением указанного технического результата применительно к способу очистки от оксидов азота продуктов сгорания топлива в газоходе теплового агрегата обеспечивалось тем, что в качестве восстановительного реагента использовали водный раствор карбамида, который смешивали с перегретым паром. Затем первая полученная смесь подавалась в высокотемпературную и низкотемпературную зоны газохода. При этом активатор каталитического окисления оксидов азота смешивался с перегретым паром. Вторая полученная смесь подавалась в низкотемпературную зону газохода. Затем активатор каталитического окисления оксидов азота выводили из газохода до начала области его низкотемпературной зоны, в которую подавалась первая полученная смесь водного раствора карбамида с перегретым паром. В качестве активатора каталитического окисления оксидов азота могут быть использованы природные руды, содержащие (в масс. %): Fe_2O_3 — 3—29; MnO_2 — 7—43; остальное содержание — оксидные минералы в сумме до 100 %. После вывода активатора каталитического окисления оксидов азота из газохода его повторно смешивают с перегретым паром и подают полученную смесь в газоход до начала области его низкотемпературной зоны, куда также подают первую полученную смесь водного раствора карбамида с перегретым паром.

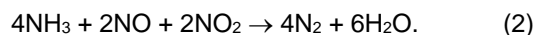
Применительно к технологической цепи решение поставленной задачи [3] с достижением указанного технического результата обеспечивалось тем, что установка для очистки от оксидов азота продуктов сгорания топлива в газоходе теплового агрегата содержала следующие узлы и элементы: источник восстановительного реагента — водного раствора карбамида; источник перегретого пара; первый смеситель, первый вход которого соединен с помощью паропровода с источником перегретого пара, а второй с помощью трубопровода, на линии которого установлен насос, — с источником восстановительного реагента; первое раздающее устройство, установленное в высокотемпературной зоне газохода, вход которого соединен с помощью трубопровода с

выходом первого смесителя; второй смеситель, первый вход которого соединен с помощью паропровода с источником перегретого пара, а второй с помощью трубопровода, на линии которого установлен насос, — с источником восстановительного реагента; второе раздающее устройство, установленное в низкотемпературной зоне газохода, вход которого соединен с помощью трубопровода с выходом второго смесителя. В состав установки включен источник активатора каталитического окисления оксидов азота, выход которого соединен с помощью трубопровода с первым входом устройства для подготовки активатора каталитического окисления оксидов азота, второй вход которого соединен с помощью паропровода с источником перегретого пара, а выход — с помощью трубопровода с низкотемпературной зоной газохода перед установленным на ее линии до второго раздающего устройства инерционным улавливателем твердых частиц, линия вывода твердых частиц которого соединена с помощью трубопровода с третьим входом устройства для подготовки активатора каталитического окисления оксидов азота. При этом в качестве активатора каталитического окисления оксидов азота использовали те же природные руды, содержащие в своем составе Fe_2O_3 и MnO_2 ; остальное содержание — оксидные минералы в сумме до 100 %.

Взвешенные калиброванные твердые частицы являются катализатором для процесса восстановления оксидов азота аммиаком в выбранном диапазоне температур и циркулируют в замкнутой системе, состоящей из участка газохода кипящего слоя в режиме псевдооживления или пневмотранспорта и сепаратора твердых частиц в виде инерционного пылеуловителя [4], установленного в нём. Оседая на дне сепаратора, они вновь транспортируются в систему, либо могут частично уноситься и улавливаться в фильтрующих устройствах. При этом унос твердых частиц, которые улавливаются фильтром из дымовых газов перед выбросом в трубу, компенсируется подачей из сборника их эквивалентного количества, либо осуществляется их возврат в цикл пневмотранспорта.

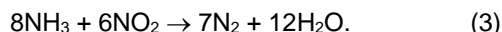
Установка также содержит трубопровод, предназначенный для подачи нагретого воздуха, который присоединен к устройству для подготовки активатора каталитического окисления оксидов азота, и нагреватель, установленный на линии трубопровода, соединяющего выход второго смесителя и вход второго раздающего устройства, установленного в низкотемпературной зоне газохода. Установка может содержать как минимум один дополнительный инерционный улавливатель твердых частиц, установленный на линии низкотемпературной зоны газохода до второго раздающего устройства. При этом все инерционные улавливатели твердых частиц на линии низкотемпературной зоны газохода до раздающего устройства устанавливаются последовательно.

Восстановление оксидов азота с помощью восстановителя (аммиака) протекает по следующим реакциям:



Установка может содержать как минимум один дополнительный инерционный улавливатель твер-

дых частиц, установленный на линии низкотемпературной зоны газохода до второго раздающего устройства. При этом все инерционные улавливатели твердых частиц на линии низкотемпературной зоны газохода до раздающего устройства устанавливают последовательно. Происходит реакция

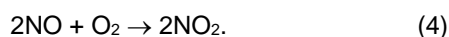


Вследствие токсичности и сложности регулирования подачи аммиака в заявляемой группе изобретений используют нетоксичный и достаточно широко распространенный карбамид (мочевина). Мочевина в виде 32,5 % (по массе) водного раствора смешивается с перегретым паром и затем подается в высокотемпературную и низкотемпературную зоны газохода.

Эффективность конверсии NO_x существенно зависит от отношения NO_2/NO и достигает максимума, когда это отношение равняется 1. При этом условии может обеспечиваться снижение выбросов NO_x на 76—88 %. Такой показатель эффективности высокотемпературного восстановительного процесса очистки явно недостаточен для современных требований в энергетике. Более высокая конечная эффективность может быть обеспечена дополнительной стадией низкотемпературного каталитического восстановления.

На первой стадии очистки осуществляется подача восстановительной смеси в высокотемпературную зону газохода к установленному внутри нее раздающему устройству.

На второй стадии очистки подача восстановительной смеси в низкотемпературную зону газохода к установленному внутри нее раздающему устройству осуществляется через нагреватель после проведения каталитического окисления монооксида азота до диоксида согласно реакции



Функцию катализатора в реакции окисления (4) выполняют оксиды железа (Fe_2O_3) и марганца (MnO_2) в составе оксидной минеральной композиции.

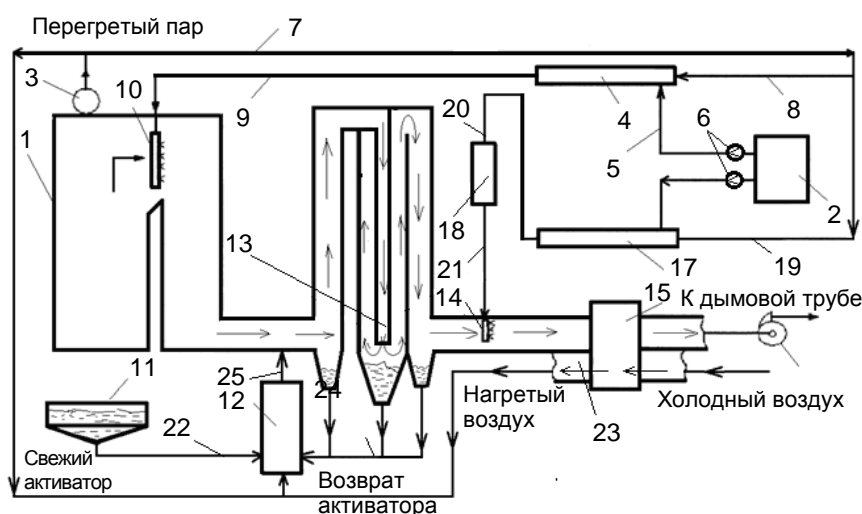
Диоксид марганца в виде пиролюзита как основной окислительный компонент твердой смеси может взаимодействовать с восстановителем (аммиаком) при совместном их введении в очищаемый газовый поток, например по следующей реакции:



Поэтому для наиболее эффективного использования восстановительного реагента его вводят в освобожденный от твердых частиц газовый поток. Введение в газовый поток реагентов окисления в виде твердофазного компонента железомарганцевой руды с соединениями марганца в виде пиролюзита, выполняющего также и роль катализатора, ускоряющего взаимодействие реагирующих газовых сред посредством дополнительного оборудования ввода, сепарации и рецикла, позволяет повысить эффективность очистки от оксидов азота дымовых газов в целом. Вместе с тем, введение каталитической ступени окисления с дополнительным оборудованием не увеличивает нагрузку на штатный дымосос, так как необходимый напор газовой смеси в газоходе создается давлением воздуха и пара, проходящего через устройство для подготовки активатора каталитического окисления оксидов азота.

Использование в установке инерционного улавливателя твердых частиц, выполняющего функции их сепарации из газового потока и рецикла обратно в поток, обеспечивает снижение расхода твердого активатора каталитического окисления оксидов азота, стабильность и безопасность работы установки.

Принципиальная схема установки для очистки от оксидов азота продуктов сгорания топлива в газоходе теплового агрегата в виде отдельных блоков представлена на рисунке.



Принципиальная схема установки для очистки от оксидов азота продуктов сгорания топлива в газоходе теплового агрегата:

1 — энергетический котел; 2 — источник восстановительного реагента; 3 — источник перегретого пара; 4 — первый смеситель восстановительного реагента; 5 — трубопровод; 6 — насосы-дозаторы; 7, 8 — паропроводы; 9 — трубопровод; 10 — первое форсуночное раздающее устройство; 11 — источник активатора окисления оксидов азота; 12 — устройство для подготовки активированной окислительно-восстановительной смеси; 13 — инерционный улавливатель твердых частиц; 14 — второе форсуночное раздающее устройство; 15 — регенеративный воздухоподогреватель; 16 — дымосос; 17 — второй смеситель восстановительного реагента; 18 — нагреватель; 19 — трубопровод; 20 — паропровод; 21—24 — трубопроводы; 25 — трубопровод шнековой подачи

Установка для очистки от оксидов азота продуктов сгорания топлива в газоходе теплового агрегата (в данном примере — энергетического котла 1), содержит источник восстановительного реагента 2 — карбамид в виде 32,5 % (по массе) водного раствора, источник 3 перегретого пара, первый смеситель восстановительного реагента 4, соединенный с помощью трубопровода 5, оборудованного насосом-дозатором 6, с источником 2 восстановительного реагента и с помощью паропроводов 7, 8 — с источником перегретого пара 3, и второй смеситель восстановительного реагента 17, соединенный с помощью трубопровода 19, оборудованного насосом-дозатором 6, с источником восстановительного реагента 2 и с помощью паропроводов 7, 20 — с источником перегретого пара 3. С помощью трубопровода 9 первый смеситель 4 соединен с первым раздающим устройством 10, установленным в высокотемпературной зоне газохода энергетического котла 1. С помощью трубопровода 21, на линии которого установлен нагреватель 18, второй смеситель 17 соединен со вторым раздающим устройством 14, установленным в высокотемпературной зоне газохода энергетического котла 1. Установка также содержит источник активатора каталитического окисления оксидов азота 11, оборудованный шнековым питателем (на рис. не показан), выход которого соединен с помощью трубопровода 22 с первым входом устройства для приготовления активированной окислительно-восстановительной смеси 12, выполненного в виде смесителя, второй вход соединен с паропроводом 7 и трубопроводом нагретого воздуха 23, а выход с помощью трубопровода 25 — с низкотемпературной зоной газохода перед установленным на ее линии до второго раздающего устройства 14 инерционным улавливателем твердых частиц 13, линия вывода твердых частиц которого соединена с помощью трубопровода 24 с третьим входом устройства для подготовки активированной окислительно-восстановительной смеси 12. На линии низкотемпературной зоны газохода после второго раздающего устройства 14 установлен регенеративный воздухоподогреватель 15, который нагревает воздух, поступающий через трубопровод для подачи нагретого воздуха 23, и дымосос 16 после него. В качестве активатора каталитического окисления оксидов азота использовали порошок природной руды Порожинского месторождения, содержащей Fe_2O_3 — 21,3, MnO_2 — 26,2, SiO_2 — 17,2, Al_2O_3 — 8,8, MgO — 1,26, K_2O — 0,7, CaO — 0,54, TiO_2 — 0,48, P_2O_5 — 0,36, Na_2O — 0,02, BaO — 0,05, SO_3 — 0,01.

Установка для очистки от оксидов азота продуктов сгорания топлива в газоходе теплового агрегата работает следующим образом.

В энергетическом котле 1 при сжигании топлива в продуктах его сгорания образуются оксиды азота. Для уменьшения содержания оксидов азота в выбрасываемых через дымовую трубу (на чертеже не показано) дымовых газах в высокотемпературной (900—1000 °С) и низкотемпературной (250—350 °С) зонах газохода энергетического котла 1 проводят очистку газообразных продуктов сгорания путем их обработки в каждой зоне реакционной смесью — восстановительным водным раствором карбамида, который

разлагается при указанных температурах с образованием восстановителя (аммиака), и перегретым паром.

Для приготовления реакционной смеси, поступающей в низкотемпературную зону газохода, сначала водный раствор карбамида (32,5 % по массе) направляют из источника восстановительного реагента 2 с помощью насоса-дозатора 6 по трубопроводу 19 во второй смеситель 17, в который также поступает перегретый пар из источника 3 по паропроводам 7, 20. При этом смешение водного раствора карбамида и перегретого пара также производят при температуре в диапазоне 150—400 °С, давлении 0,3—1,0 МПа в течение 0,5—5,0 с. Затем полученная во втором смесителе 17 реакционная смесь поступает в низкотемпературную зону газохода через трубопровод 21 с установленным на его линии нагревателем 18, в котором она нагревается до температуры 250—350 °С для повышения химической активности, и второе раздающее устройство 14.

Для более глубокого восстановления оксида азота аммиаком в указанных диапазонах температур необходимо его предварительное окисление до диоксида. В процессе окисления участвует газо-твердая каталитическая смесь, состоящая из воздуха, водяного пара и активатора каталитического окисления оксидов азота, в качестве которого используется природная руда, содержащая Fe_2O_3 и MnO_2 , остальное — оксидные минералы до 100 %.

Для приготовления газо-твердой каталитической смеси сначала твердый активатор каталитического окисления оксидов азота поступает из источника активатора окисления оксидов азота 11 с помощью шнекового питателя (на рис. не показан) через трубопровод 22 в устройство для подготовки активированной окислительно-восстановительной смеси 12, в которое также поступают перегретый пар из источника 3 по паропроводу 7 и воздух, нагретый до температуры 250—350 °С с помощью регенеративного воздухоподогревателя 15, по трубопроводу 23. Затем полученная в устройстве 12 активированная окислительно-восстановительная смесь поступает в низкотемпературную зону газохода перед установленным на ее линии инерционным улавливателем твердых частиц 13. Оседая на дне инерционного улавливателя 13, твердые частицы вновь поступают через трубопровод линии вывода твердых частиц 24 в устройство 12, либо частично уносятся и улавливаются в фильтрующих устройствах до дымососа (на схеме не показаны). При этом унос твердых частиц компенсируется подачей их из источника активатора окисления оксидов азота 11.

Подача водного раствора карбамида, смешанного с перегретым паром, и активатора каталитического окисления оксидов азота, смешанного с перегретым паром и нагретым воздухом, может осуществляться одновременно в высокотемпературную и низкотемпературную зоны газохода или последовательно по ходу выброса дымовых газов из газохода энергетического котла.

Использование смеси оксидов металлов (пиролита в чистом виде или в других композициях, например его смеси с диоксидом титана) в качестве катализатора восстановления оксидов азота аммиачными соединениями во второй зоне за котлом позволяет

получать активатор в виде смеси дымового газа и твердых каталитических частиц непосредственно в месте его технологического применения, что исключает необходимость отдельного приготовления дорогостоящего, опасного и нетехнологичного (разлагающегося) озонового активатора разложения аммиачного соединения (карбамида). Кроме того, химическая активность каталитической паровоздушной смеси значительно выше по сравнению с паровой озоновой смесью, и эту активность можно регулировать составом катализатора.

Достижимым техническим результатом предлагаемого способа являются повышение эффективности газоочистки без существенного увеличения гидравлического сопротивления газового тракта и увеличения нагрузки на штатный дымосос, обеспечение безопасности процесса, отсутствие необходимости применения дорогостоящих высокотемпературных антикоррозионных материалов, а также обеспечение возможности работы аппарата в широком диапазоне нагрузок по очищаемому газу за счет увеличения времени пребывания трудноразлагаемых компонентов реакции.

Заключение

Предложены способ и основанная на нем комбинированная установка для двухстадийной очистки от оксидов азота дымовых газов, образуемых от сжигания органического топлива в тепловых агрегатах.

Установка включает две стадии восстановления аммиаком оксидов азота реакционными смесями: высокотемпературную некаталитическую и низкотемпературную каталитическую. Первая из них включает раздающее устройство, через которое производится диспергирование водного раствора аммиачного соединения (карбамида) через форсунки под давлением перегретого пара, получаемого от котла. Вторая стадия включает аналогичное раздаточное устройство с подачей подогреваемой восстановительной смеси плюс дополнительный подвод через устройство подготовки активированной окислительно-восстановительной смеси газо-твердых веществ, находящихся в газоходе во взвешенном состоянии.

Сепарация каталитического активатора и его возврат в цикл осуществляются в инерционном условии твердых частиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Котлер В. Р. Оксиды азота в дымовых газах котлов. — М.: Энергоатомиздат, 1987.
2. Кулиш О. А., Кужеватов С. А., Орлова М. Н., Курбатов Ю. Ф., Фарина Е. В., Иванова Е. В. Способ очистки дымовых газов от оксидов азота. Патент РФ № 2411065. Оpubл. 10.02.2011.
3. Володин А. М., Епихин А. Н., Киселева О. А. Способ очистки от оксидов азота продуктов сгорания топлива в газоходе теплового агрегата и установка для его осуществления. Патент РФ № 2742174. Оpubл. 02.02.2021.
4. Страус В. Промышленная очистка газов / пер. с англ. — М.: Химия, 1981. С. 231—239.

Purification of flue gases from nitrogen oxides by a two-stage reduction method with ammonia compounds

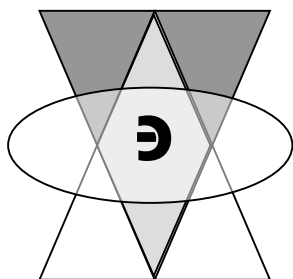
A. M. VOLODIN, O. A. KISELYOVA, A. A. STROKOV
JSC All-Russian Thermal Engineering Institute, Moscow, Russia

The operating and technological parameters of nitrogen purification processes are described, including the preparation of water vapor, a solution of urea and an activator, the main design features and the principle of operation of contact heat-mass transfer and reaction equipment to accomplish the task.

Keywords: combustion, flue gas, purification, nitrogen oxides, ammonia, urea, catalyst, installation.

Bibliography — 4 references.

Received September 28, 2021



Экологический контроль. Прогнозирование

УДК 62-523.8; 62-529
DOI: 10.52190/2073-2589_2021_4_28

Проблемы и пути снижения выбросов углекислого газа от транспорта, промышленного производства и коммунального хозяйства

Е. В. ОВЧИННИКОВ; А. С. ОВЧАРЕНКО

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

Рассмотрены основные источники вредных выбросов, с которыми сталкивается население, и пути снижения их воздействия на окружающую среду посредством технологий, технических средств и альтернативных источников энергии.

Ключевые слова: вредные выбросы, углекислый газ, альтернативные источники энергии, углеродный след.

Все более актуальной становится проблема вредных выбросов от промышленного производства, транспортных средств, а также от энергетических предприятий, оказывающих услуги населению (коммунальное хозяйство). Основными выбросами являются углекислый газ и оксиды азота. Во всем мире ставку делают на снижение выбросов углекислого газа — "углеродного следа". Разработан ряд программ и дорожных карт по снижению этих выбросов. В РФ также набирают популярность такие меры, а именно переход на более чистую энергетику [1]. Это в первую очередь связано с введением налога на "углеродный след", который будет введен с 2024 г. в Европейском Союзе (ЕС), и экспортируемая из РФ продукция будет облагаться дополнительными налогами. Также в крупных городах РФ для улучшения экологических показателей ужесточают меры по уровню вредных выбросов для транспорта и предприятий. Снизить вредные выбросы от транспортных средств помогают комбинированные установки и технические средства по нейтрализации вредных веществ в отработавших газах, такие, как каталитические нейтрализаторы [2, 3]. В дизельных двигателях для дожигания вредных выбросов также используют систему впрыска мочевины. Для снижения вредных выбросов в коммунальном хозяйстве и на производстве

планируется переход от угольных и мазутных котельных к современным газовым котлам, работающим на метане и других альтернативных видах топлива, а также к ядерной энергетике.

Транспортная энергетика

Автопроизводители столкнулись с ужесточением требований, предъявляемых к серийным автомобилям по снижению вредных выбросов. Ряд производителей автотранспорта, таких, как Volvo, Toyota, BMW и т. д., планируют отказаться от двигателей внутреннего сгорания (ДВС) к 2030 г. и организовать серийный выпуск электромобилей. Однако переход на электромобили связан с использованием аккумуляторных батарей и топливных элементов. Это, в свою очередь, ведет к увеличению добычи лития и водорода для топливных элементов. Существует большая вероятность дефицита лития для производства аккумуляторных батарей, так как запасы его ограничены, а утилизация батарей — очень дорогостоящий процесс. Поэтому будет нарастать производство водородных топливных элементов. К тому же "углеродный след" от электромобиля, по оценкам ведущих экспертов, превышает классические автомобили с ДВС до 20 % [4]. Это часть проблемы. Необходимо наладить производство экологически чистой электроэнергии. По данным Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050. International Renewable Energy Agency (IRENA), использование традиционных видов топлива сильно изменится [5]. На рис. 1 наглядно показан прогноз до 2050 г., направленный на снижение в транспортном секторе "углеродного следа" из-за того, что в транспортном секторе преобладает ископаемое топливо, а ему необходима глубокая трансформация.

Овчинников Евгений Валентинович, научный сотрудник.
E-mail: evo-xpro-info@yandex.ru
Овчаренко Александр Сергеевич, научный сотрудник.
E-mail: peterbilt@list.ru

Статья поступила в редакцию 11 октября 2021 г.

© Овчинников Е. В., Овчаренко А. С., 2021

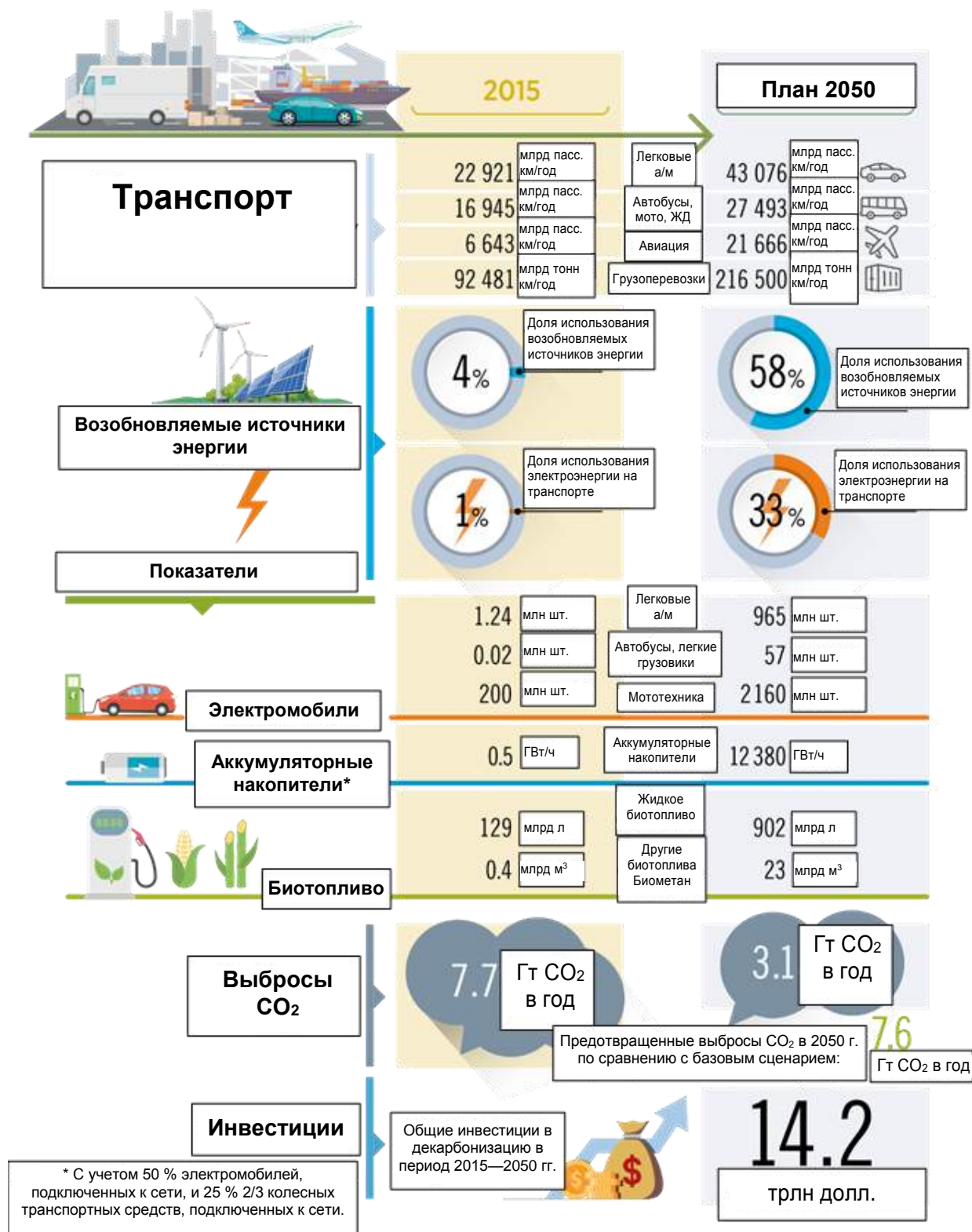


Рис. 1. Прогноз на снижение "углеродного следа" в транспортном секторе до 2050 г.

Промышленное производство

В промышленном производстве, так же как и в транспортном секторе, планируется до 2050 г. значительно снизить "углеродный след" за счет большей

интеграции альтернативных источников энергии и перехода на более экологически чистые виды топлива. Как показано на рис. 2, основное внимание уделяется использованию солнечной энергии и энергии ветра.



Рис. 2. План по снижению углеродных выбросов в промышленном производстве до 2050 г.

Как показал 2021 г., в Евросоюзе ставка делалась на ветровую энергетику, но летний сезон выдался безветренным и, как следствие, ЕС столкнулся с дефицитом электроэнергии, который начали восполнять за счет угольных электростанций. Их в срочном порядке пришлось расконсервировать. Российская Федерация активно продвигает использование природного газа и "мирного атома", стабильно выдающего электроэнергию в необходимом объеме. С учетом

недавних аварий на атомных станциях (Фукусима, 11.03.2011) корпорацией "Росатом" проделана колоссальная работа по недопущению подобных ситуаций и повышению уровня защиты в нештатных ситуациях. Однако не все страны рассматривают АЭС как безопасный источник энергии. К примеру, Германия отказалась от атомной энергетики. Франция, напротив, использует добычу электроэнергии от АЭС, которая составляет 70 % от необходимого количества.

Коммунальное хозяйство

В коммунальном хозяйстве поставщиками энергии, как тепловой, так и электрической, занимаются предприятия, использующие различные виды топлива и методы добычи энергии. Как уже было показано, многие западные предприятия добывают электроэнергию за счет ветровых электростанций, а также за счет сжигания углеродосодержащих видов топлива. Как и в промышленном производстве, они выделяют значительные вредные выбросы.

На рис. 3 представлены прогнозы до 2050 г. по предполагаемым сокращениям выбросов углекислого

газа в сфере жилищно-коммунального хозяйства. Урбанизация — ключевой фактор прогнозов в области энергетики. В 2020 г. около 56 % населения мира жили в городах и поселках. На их долю приходилось две трети потребления мировой энергетики и более 70 % выбросов CO₂, несмотря на то что примерно один из трех городских жителей жил в неформальных поселениях, домохозяйствах и трущобах без адекватного доступа к основным услугам. Ожидается, что население, проживающее в городах, увеличится почти до 70 % к 2050 г. и будет расти, особенно быстро в странах Африки к югу от Сахары и Южной Азии [6].

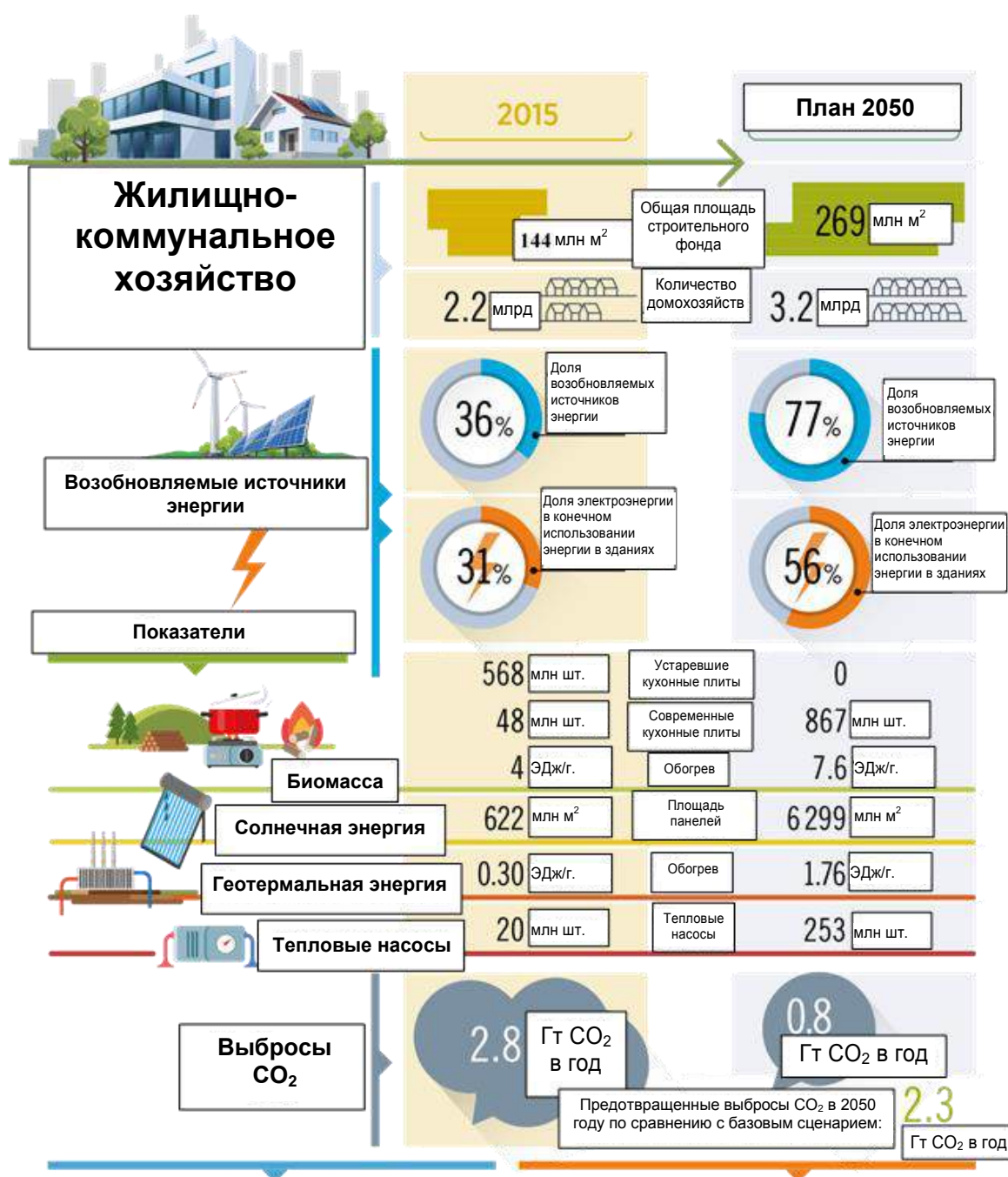


Рис. 3. Прогноз по сокращению выбросов углекислого газа до 2050 г.

Предполагается, что население мира увеличится с чуть менее 8 млрд до 8,5 млрд в 2030 г. и до 9,7 млрд в 2050 г., т. е. возрастет чуть более чем на 25 % за 30 лет (это соответствует среднему варианту прогнозов ООН; Департамент ООН по правам человека по экономическим и социальным вопросам, 2019 г.).

Заключение

Человечество столкнулось с глобальным потеплением. Трудно спрогнозировать на большой период времени, как быстро будет меняться климат на нашей планете, однако уже стоит уделять большое внимание рациональному использованию энергии в разных сферах деятельности. Как показано на рисунках, планируется потратить триллионы долларов, чтобы в три раза снизить выбросы углекислого газа. Эффективность этих мер покажет только время, но уже сейчас необходимо позаботиться об улучшении экологии для будущего поколения.

ЛИТЕРАТУРА

1. https://expert.ru/2021/10/19/podvedeny-itogi-mezhdunarodnogo-foruma-rossiyskaya-energeticheskaya-nedelya-2021/?ny=&utm_source=yxnews&utm_medium=desktop&utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2Fnews%2Fsearch%3Ftext%3D
2. Овчинников Е. В., Федоткин Р. С., Уютов С. Ю., Крючков В. А. Комбинированная силовая установка с улучшенными экологическими показателями // Экология промышленного производства. 2021. № 2(114). С. 44—47. DOI: 10.52190/2073-2589_2021_2_44.
3. Овчинников Е. В., Измайлов А. Ю., Уютов С. Ю., Федоткин Р. С. Система адаптации дизельного двигателя для работы в помещениях с ограниченным воздухообменом // Экология промышленного производства. 2021. № 1(113). С. 46—50. DOI: 10.52190/2073-2589_2021_1_46.
4. <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/when-do-electric-vehicles-become-cleaner-than-gasoline-cars-2021-06-29/>
5. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_Report_GET_2018.pdf
6. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/88dec0c7-3a11-4d3b-99dc-8323ebfb388b/WorldEnergyOutlook2021.pdf>

Problems and ways to reduce carbon dioxide emissions from transport, industrial production and utilities

E. V. OVCHINNIKOV, A. S. OVCHARENKO

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

This article discusses the main sources of harmful emissions faced by the population and ways to reduce them through technology, technical means and alternative energy sources.

Keywords: harmful emissions, carbon dioxide, alternative energy sources, carbon footprint.

Bibliography — 6 references.

Received October 11, 2021

УДК 504.4.054; 504.4.06

DOI: 10.52190/2073-2589_2021_4_33

Информационно-технические справочники НДТ, прогноз изменений качества воды поверхностных водных источников и возможных последствий

Т. А. МЕЩУРОВА, канд. биол. наук; М. Б. ХОДЯШЕВ, канд. хим. наук
ФГБУ «Уральский государственный научно-исследовательский институт региональных экологических проблем», г. Пермь, Россия

По результатам анализа информационно-технических справочников (ИТС) наилучших доступных технологий (НДТ) установлено, что не во всех ИТС НДТ представлены маркерные вещества и их технологические показатели. Для отраслей не раскрывается загрязненность сточных вод общими распространенными веществами, по которым не рассчитываются нормативы допустимых сбросов. Отмечено, что неуправляемый процесс сброса загрязняющих веществ может привести к существенному ухудшению качества воды поверхностных водных объектов, отразиться на состоянии биоты, донных отложений водных экосистем, прибрежной зоны и повлиять на рост ряда заболеваний населения. Рекомендовано дополнить ИТС НДТ маркерными веществами для сбросов по отдельным отраслям, установить нормативы допустимого воздействия на водные объекты.

Ключевые слова: информационно-технические справочники наилучших доступных технологий, сбросы загрязняющих веществ, маркерные вещества, нормативы допустимых сбросов.

Пунктом 5 статьи 67 Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ "Об охране окружающей среды" (далее ФЗ "Об охране окружающей среды") установлено, что при осуществлении производственного экологического контроля (ПЭК) измерения выбросов, сбросов загрязняющих веществ в обязательном порядке производятся в отношении загрязняющих веществ (ЗВ), характеризующихся применяемые технологии и особенности производственного процесса на объекте, оказывающем негативное воздействие на окружающую среду (маркерные вещества) [1]. Предприятиям III категории также требуется определение маркерных веществ, поскольку они обязаны разрабатывать программу ПЭК.

Маркерные вещества, которые требуется контролировать в рамках ПЭК, указаны в соответствующих информационно-технических справочниках наилучших доступных технологий, размещенных в открытом доступе на сайте Бюро НДТ в сети Интернет [2].

К отраслевым (вертикальным) информационно-техническим справочникам относится 39 ИТС НДТ.

В 26 из них представлен перечень маркерных веществ для сбросов в водные объекты. Для маркерных веществ установлены в справочниках НДТ технологические показатели. На промышленных объектах I категории (и II при оформлении комплексного экологического разрешения) разрабатываются технологические нормативы сбросов загрязняющих веществ, не превышающих технологических показателей наилучших доступных технологий [1].

Цель данной работы — дать оценку контролю загрязняющих веществ сбросов в водные объекты при использовании ИТС НДТ и прогноз изменений качества воды поверхностных водных источников.

Материалы и методы исследования

Проведен анализ утвержденных в 2015—2017 гг. отраслевых информационно-технических справочников на наличие маркерных веществ и технологических показателей для сбросов в водные объекты. Материалы ИТС НДТ размещены на сайте Бюро НДТ [2]. Информацию об актуализированных справочниках НДТ брали на сайте Росстандарта. Изучены требования методики разработки нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты для водопользователей, утвержденной приказом Минприроды России от 29.12.2020 № 1118 [3]. Для исследования использовали перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды согласно распоряжению

Мещурова Татьяна Александровна, старший научный сотрудник.
E-mail: tmeshurova@mail.ru

Ходяшев Михаил Борисович, начальник отдела экологических проблем загрязнения водных объектов.
E-mail: hodyashevmb@ecology.perm.ru

Статья поступила в редакцию 20 августа 2021 г.

© Мещурова Т. А., Ходяшев М. Б., 2021

Правительства Российской Федерации от 08.07.2015 № 1316 [4], научные статьи и другие источники информации по данной теме.

Обсуждение результатов

Проведенный в 2017—2021 гг. анализ вертикальных справочников НДТ показал, что в качестве маркерных веществ для сбросов производств разных отраслей установлено незначительное количество ЗВ, если учесть, что согласно распоряжению Правительства Российской Федерации № 1316 [4] перечень для водных объектов включает 249 загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды. Не определены в качестве маркерных веществ ряд тяжелых металлов, некоторые формы азота, фосфора, присутствующие в сбросах отдельных промышленных линий при производственной деятельности предприятий некоторых отраслей. Например, по данным ИТС НДТ 30-2017 "Переработка нефти" (представлены в разделе "Текущие уровни эмиссии в окружающую среду") [2], в сбросах содержатся металлы (для разных установок): железо, марганец, медь, цинк, стронций, алюминий, магний, никель, свинец. В сбросах от эксплуатации сооружений очистки сточных вод также присутствуют алюминий, железо, магний, марганец, медь, цинк. Однако ни один металл в ИТС НДТ 30-2017 не установлен как маркерное вещество.

В результате анализа материала отраслевых ИТС НДТ в части выбора маркерных веществ сбросов установлено, что в ряде справочников НДТ в качестве маркеров представлены интегральные и суммарные маркерные показатели. Чаще всего это БПК, ХПК, pH, но имеются и другие. Например, в ИТС 29-2017 "Добыча природного газа" указано содержание (не включено в перечень распоряжения № 1316) [2], в ИТС 32-2017 "Производство полимеров, в том числе биоразлагаемых" (производство полиэтилена по газовой технологии, производство поликарбонатов) и в ИТС 44-2017 "Производство продуктов питания" — сухой остаток [2]. В большинстве вертикальных информационно-технических справочников представлен суммарный показатель — содержание нефтепродуктов.

Отмечено, что при актуализации справочников ИТС НДТ наблюдается исключение определенных веществ из списка маркерных. Причины этого непонятны. В актуализированном справочнике ИТС 14-2020 "Производство драгоценных металлов" [5] из перечня маркерных веществ исключен цинк, а в прежней версии ИТС 14-2016 он присутствовал. Нужно заметить, что в качестве маркерных веществ в ИТС 14-2020 [5] добавлены соединения мышьяка и соединения ртути.

В ИТС 34-2020 "Производство прочих основных неорганических химических веществ" [5] исключили шесть технологий. Соответственно исключены маркерные вещества и технологические показатели. В числе удаленных НДТ "Производство водорода, хлора и гидроксида натрия ртутным методом электролиза" имеется и маркерное вещество ртуть (ве-

щество 1-го класса опасности). Данная НДТ была представлена в первой версии ИТС 34-2017 [2], и в качестве маркерного вещества присутствовала ртуть.

В обеих версиях ИТС 9-2015 [2] и ИТС 9-2020 "Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание отходов)" [5] не представлены маркерные вещества. В соответствии с данными анкет предприятий в составе текущих уровней воздействия на окружающую среду присутствует существенное количество загрязняющих веществ. В сточных водах, образующихся при обработке газообразных продуктов горения, могут содержаться тяжелые металлы, соли реакции нейтрализации, непрореагировавшие кислые и щелочные вещества, механические примеси и высокотоксичные соединения диоксиновой группы. В перечне загрязнителей сточных вод в сбросах с систем газоочистки установок термического обезвреживания отходов указаны 14 металлов и их соединения (среди них ртуть, медь, марганец, никель, мышьяк, свинец и т. д.), полихлорированные дибензодиоксины, дибензофураны [2].

При сопоставлении подходов к определению перечней маркерных веществ сбросов в водные объекты, указанных в отраслевых ИТС НДТ [2] и в материалах сборника статей [6], выявлено, что они разнородны, единообразие в их формировании отсутствует. Не имеется каких-либо методических рекомендаций для выбора маркерных веществ сбросов, утвержденных на законодательном уровне. Очевидно, что маркерные вещества определяют производственники на предприятии самостоятельно с помощью технологических карт или используемой документации.

Как установлено статьей 22 ФЗ "Об охране окружающей среды" [1], юридические лица и индивидуальные предприниматели при планировании строительства объектов I и II категорий и проведении оценки воздействия на окружающую среду, а также при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности на объектах II категории должны производить расчет нормативов допустимых сбросов (НДС) в соответствии с методикой разработки нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты для водопользователей, утвержденной приказом Минприроды России от 29.12.2020 № 1118 [3].

В перечень нормируемых веществ для сбросов (для расчета НДС) входят загрязняющие вещества, предусмотренные требованиями распоряжения Правительства РФ № 1316, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды [4]. При сбросе в поверхностные водные объекты карьерных, шахтно-рудничных и иных вод, забранных (образующихся при осуществлении технологического процесса) из подземных водных объектов, при сбросе со сточными водами смесей постоянного состава для формирования списка нормируемых веществ учитывается качество указанных вод. В номенклатуру нормируемых веществ организаций, осуществляющих водоотведение, должны включаться вещества, принимаемые со сточными водами от абонентов [3].

НДС не рассчитываются для объектов IV категории, а для объектов III категории рассчитываются

только для веществ 1-го и 2-го классов опасности (статья 22 ФЗ "Об охране окружающей среды" [1]).

НДС разрабатываются в соответствии с нормативами допустимого воздействия на водные объекты (НДВ) [3] согласно методическим указаниям по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты [7]. Как показывает практика, НДВ на водные объекты не установлены. Проводя анализ существующей в Российской Федерации системы мониторинга поверхностных водных объектов, авторы [8] отметили, что нормирование воздействия различных веществ на их состояние является нерешенной задачей и требует существенной научной и методической проработки.

Кроме того, согласно новой методике разработки нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты для водопользователей [3], "если фактический сброс действующей организации-водопользователя меньше расчетного НДС, то в качестве НДС принимается расчетный НДС". Следует учитывать, что чаще всего естественные показатели качества поверхностных вод не относятся к веществам 1-го и 2-го классов опасности. Можно предположить, что в регулировании сброса загрязняющих веществ намечается игнорирование особенностей водного объекта-реципиента и ослабления связи между механизмом регулирования и водоохранными целями. На это указывают и авторы статьи [9] и предлагают включать требования по достижению НДС по "природным" показателям при оформлении заявки на продление комплексного экологического разрешения.

Существует еще проблема определения эталонного створа. Согласно требованиям положения [10] нормативы качества разрабатываются и устанавливаются для территорий и акваторий на уровне значений (в интервале допустимого отклонения от значений) показателей природного фона, сформировавшегося под влиянием природных факторов, и определяются на основании данных наблюдений за состоянием окружающей среды, отбора проб и (или) измерений по химическим и физическим показателям на соответствующем эталонном участке. Под эталонным участком понимают выбранные в пределах оцениваемой территории или акватории земельный участок, водный объект или его часть, характеризующиеся отсутствием признаков деградации естественной экологической системы [10]. Критерии выбора эталонного участка, методы и способы определения значений нормативов качества предстоит еще разработать.

В результате анализа отраслевых ИТС НДТ и обзора методических документов [3, 7, 10] можно констатировать, что содержание веществ 3-го и 4-го классов опасности, ряда веществ 1-го и 2-го классов опасности и других загрязнителей, не имеющих класса опасности, практически не контролируется в сбросах производственных предприятий. Не во всех отраслевых информационно-технических справочниках представлены маркерные вещества и технологические показатели. В материалах ИТС НДТ для разных отраслевых ветвей и линий не раскрывается загрязненность общими распространенными загрязнителями, по которым не рассчитываются нормативы допу-

стимых сбросов, в качестве маркерных веществ для сбросов производств установлено незначительное количество ЗВ. Следовательно, может происходить неуправляемый процесс сброса загрязняющих веществ, который приводит к существенному ухудшению качества воды поверхностных водных объектов. В дальнейшем это отразится на состоянии биоты, донных отложений водных экосистем и прибрежной зоны.

Присутствие и ожидаемое увеличение загрязняющих веществ в сбросах может привести к росту заболеваемости людей. Зависимость уровня онкозаболеваемости населения от сбросов загрязняющих веществ исследована на разных территориях (Кемеровская область, Пермский край). Установлено повышение заболеваемости раком желудка населения в связи с увеличением уровня сбросов в водные объекты и уменьшение заболеваемости в результате снижения сброса загрязняющих веществ (через временной промежуток) [11–13].

Ранее получены подтверждающие результаты при изучении связи качества поверхностных вод рек Раздольная, Раковка и Комаровка, протекающих через Уссурийск (Приморский край), с рядом заболеваний жителей города. При анализе взаимосвязей между показателями химического загрязнения поверхностных вод и заболеваемостью населения выявлено, что содержание фенолов, аммонийного азота, взвешенных веществ и синтетических поверхностно-активных веществ оказывает значимое влияние на возникновение гастрита, болезней кожи, эндокринной системы. Установлено, что количество тяжелых металлов и азотсодержащих веществ в речных водах является одним из факторов, провоцирующих заболеваемость органов мочеполовой системы и системы кровообращения у населения Уссурийска [14].

Заключение

Проведенный анализ отраслевых ИТС НДТ и обзор методики разработки нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты для водопользователей [3] показал, что необходимо усилить контроль за объемом загрязняющих веществ в сбросах (веществ 3-го и 4-го классов опасности, ряда веществ 1-го и 2-го классов опасности и других загрязнителей, не имеющих класса опасности) с учетом природных показателей качества поверхностных вод. Целесообразно дополнить вертикальные ИТС НДТ по ряду отраслей маркерными веществами для водных объектов, расширив перечень технологических показателей. Для разработки НДС следует установить нормативы допустимого воздействия на водные объекты. В дальнейшем эти мероприятия приведут к управлению процессами сброса загрязняющих веществ, к улучшению состояния воды поверхностных водных объектов, к повышению качества жизни.

ЛИТЕРАТУРА

1. Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (в ред. Федерального закона от 29.07.2017 № 280-ФЗ). Принят Гос. Думой 20.12.2001. Одобрен Советом Федерации 26.12.2001 [Электронный ресурс]. Режим доступа: справочно-правовая система "КонсультантПлюс".

2. Бюро наилучших доступных технологий. Справочники НДТ [Электронный ресурс]. URL: <http://www.burondt.ru/informacziya/dokumenty/dokument.html?DocType=4>

3. Об утверждении методики разработки нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты для водопользователей: приказ Минприроды России от 29.12.2020 № 1118 [Электронный ресурс]. Режим доступа: справочно-правовая система "КонсультантПлюс".

4. О перечне загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды: распоряжение Правительства РФ. Утв. 08.07.2015 № 1316-р [Электронный ресурс]. Режим доступа: справочно-правовая система "КонсультантПлюс".

5. Актуализация справочников НДТ в 2020 году: сайт Росстандарта [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/NDT/actualizationdirectory2020>

6. Наилучшие доступные технологии. Определение маркерных веществ в различных отраслях промышленности: сб. статей. — М.: Изд-во "Перо", 2016. Т. 5. — 68 с. <https://docplayer.ru/61856629-Nailuchshie-dostupnye-tehnologii-opredelenie-markernyh-veshchestv-v-razlichnyh-otraslyah-promyshlennosti-sbornik-statey-5.html>

7. Об утверждении методических указаний по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты: Приказ Минприроды России от 12.12.2007 № 328 [Электронный ресурс]. Режим доступа: справочно-правовая система "КонсультантПлюс".

8. Кутявина Т. И., Ашихмина Т. Я. Современное состояние и проблемы мониторинга поверхностных водных объектов России: обзор // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 2. С. 13—21.

9. Беляев С. Д., Прохорова Н. Б. Проблемы целеполагания при государственном планировании водоохранных мероприятий

в речных бассейнах // Водное хозяйство России. 2019. № 4. С. 12—31.

10. О разработке, установлении и пересмотре нормативов качества окружающей среды для химических и физических показателей состояния окружающей среды, а также об утверждении нормативных документов в области охраны окружающей среды, устанавливающих технологические показатели наилучших доступных технологий: Постановление Правительства Российской Федерации от 13.02.2019 № 149 [Электронный ресурс]. Режим доступа: справочно-правовая система "КонсультантПлюс".

11. Мещурова Т. А., Ходяшев М. Б. Влияние сбросов загрязняющих веществ в водные объекты на заболеваемость раком желудка населения Пермского края // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2019. № 6. С. 121—130.

12. Мун С. А., Ларин С. А., Глушков А. Н. Влияние сбросов загрязняющих веществ в водные источники на заболеваемость раком желудка населения Кемеровской области // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4. С. 16. <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=4740> (дата обращения: 27.07.2021).

13. Мун С. А., Ларин С. А., Глушков А. Н. Техногенное загрязнение воздуха и воды и заболеваемость раком легкого и раком желудка населения Кемеровской области в 1990—2010 годы // Изв. Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14. № 5(2). С. 486—489.

14. Сенотрусова С. В. О новых возможностях прогноза заболеваемости населения промышленных городов // Экология человека. 2005. № 9. С. 15—18. <https://cyberleninka.ru/article/n/o-novyh-vozmozhnostyah-prognoza-zabolevaemosti-naseleniya-promyshlennyh-gorodov> (дата обращения: 02.08.2021).

Information and technical reference books of BAT, forecast of changes in water quality of surface water sources and possible consequences

T. A. MESHCHUROVA, M. B. KHODIASHEV

FSBI Ural State Research Institute of Regional Environmental Problems, Perm, Russia

According to the results of the analysis of information and technical reference books of the best available technologies, it was found that not all ITS BATs contain marker substances and their technological indicators. For industries, the contamination of wastewater with common widespread substances is not disclosed, for which the standards of permissible discharges are not calculated. It is noted that the uncontrolled process of dumping pollutants can lead to a significant deterioration in the water quality of surface water bodies, affect the state of biota, bottom sediments of aquatic ecosystems, the coastal zone and affect the growth of a number of diseases of the population. It is recommended to supplement ITS BAT with marker substances for discharges in certain industries, to establish standards for permissible exposure to water bodies.

Keywords: information and technical reference books of the best available technologies, discharges of pollutants, marker substances, standards of permissible discharges.

Bibliography — 14 references.

Received August 20, 2021

УДК 66.0; 623.459; 164.3; 658.5.011
DOI: 10.52190/2073-2589_2021_4_37

Принципы создания экологически безопасных производств химической промышленности

В. И. ХОЛСТОВ, д-р хим. наук; **В. В. ДЕМИДЮК**, канд. хим. наук
ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт
органической химии и технологии» ГНЦ РФ, Москва, Россия

Рассмотрены положения нормативной документации, устанавливающей общие требования к технологическому проектированию промышленных предприятий, составу и содержанию проекта и исходных данных для проектирования. Отражено, что стандарты не устанавливают специальные требования, определяемые технологией производства, особенностями обращения с опасными материалами (токсичными, радиоактивными и т. д.), а также не предусматривают требования к безопасности труда. В то же время санитарное законодательство выдвигает требования к организации и проведению производственного контроля безопасности. Этот факт послужил основанием для разработки перечня мероприятий для создания систем производственного контроля безопасности при проектировании опасных промышленных предприятий. Предлагается перечень необходимых мероприятий, разработанный на примере создания объектов по уничтожению химического оружия, в котором предусматривалось создание системы производственного контроля безопасности на опасных химических объектах.

Ключевые слова: исходные данные, система производственного контроля безопасности, экологически безопасное производство, минимизация опасности, контроль производства, экологический мониторинг прилегающих территорий, мониторинг здоровья персонала объектов и населения.

Разработка проектной документации для создания экологически безопасных производств химической промышленности должна проводиться в соответствии с ГОСТ Р 56639–2015 [1]. Существенную помощь может оказать разработанная ранее логическая прагматическая модель, являющаяся средством организации практических действий и позволяющая перейти к созданию объекта на основании выбранной на конкурсной основе или директивной технологии [2, 3].

Федеральный закон Российской Федерации "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" от 21 июля 1997 года № 116-ФЗ определяет специфику создания опасных производственных объектов на основе проектной документации. В статье 8. Требования промышленной безопасности к проектированию, строительству и приемке в эксплуатацию опасного производственного объекта, в п. 2 констатируется: "Отклонения от проектной документации в процессе строительства, расширения, реконструкции, технического перевооружения, кон-

сервации и ликвидации опасного производственного объекта не допускаются".

Предварительно в соответствии с выбранным местом расположения производства специализированной организацией проводится комплексная оценка фоновой экологической обстановки окружающей природной среды на территории будущего его расположения для выявления возможного дополнительного воздействия объекта в ходе его эксплуатации [4].

В соответствии с требованиями нормативной документации исходные данные для технологического проектирования предоставляются в объеме, обеспечивающем разработку проекта в соответствии с заданием заказчика, и (как правило) формируются предприятием-разработчиком технологии и передаются предприятию-разработчику проекта. В Положении об исходных данных для проектирования подробно описан состав исходных данных. В разделах 2.16 и 2.17 "Положения" декларируются "Рекомендации по охране окружающей среды ... и Рекомендации по безопасной эксплуатации производства и охране труда". Но ГОСТ и "Положение" не содержат требований санитарного законодательства [5, 6], т. е. отсутствуют требования к проектированию (созданию) систем производственного контроля безопасности, которые подробно прописаны в санитарных правилах [7–9].

Санитарные правила СП 2.2.1.2513-09 в п. 3.3 требуют: "До начала эксплуатации объектов и в период основной производственной деятельности... необходимо иметь утвержденную программу произ-

Холстов Виктор Иванович, руководитель Центра аналитических исследований по конвенциям о запрещении химического и биологического оружия при Минпромторге России, советник генерального директора, профессор.
E-mail: demivalv@gmail.com
Демидюк Валерий Васильевич, главный научный сотрудник.
E-mail: demivalv@gmail.com

Статья поступила в редакцию 10 сентября 2021 г.

© Холстов В. И., Демидюк В. В., 2021

водственного контроля за соблюдением санитарных правил в соответствии с СП 1.1.1058-01" [10].

При исполнении проектной документации все разработки должны быть направлены на создание безопасного производства, которое не должно влиять на состояние окружающей среды региона его будущего размещения [11, 12]. Это достигается при разработке проектной документации путем внедрения научных, инженерных и других решений, позволяющих максимально минимизировать опасность [13].

Вторым направлением обеспечения безопасности производства должно стать выполнение требований санитарного законодательства — создание системы производственного контроля безопасности [7—10].

Объединение двух направлений в создании безопасных производств химической промышленности требует разработки перечня мероприятий, выполнение которых при проектировании позволит (в соответствии с проектом) внедрять системы производственного контроля безопасности.

Результаты и обсуждение

Анализ различных исходных данных для создания опасных объектов показал, что в них не всегда уделяется должное внимание мерам (техническим и другим), позволяющим минимизировать опасность создаваемого производства.

В исследовании путей минимизации опасности на химических объектах проанализирован международный и отечественный опыт [13].

В соответствии с требованиями ГОСТ Р 56639–2015 и "Положения об исходных данных для проектирования" в них должны быть отражены сведения об отечественных и зарубежных аналогах, преимущества выбранного метода и технологии, химизм и физико-химические основы технологических процессов, результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, представлены материальный баланс, отчет о патентных исследованиях, математическое описание процесса и предполагаемых аппаратов, данные для расчета и выбора технологического оборудования, рекомендации по автоматизации и управлению производственным процессом, аналитический контроль производства, рекомендации по безопасной эксплуатации производства, охране труда и охране окружающей среды.

Подходы, позволяющие обеспечить максимальную безопасность объектов, базируются на знании свойств самих опасных веществ, а также на организации производства в строгом соответствии с требованиями нормативной документации с учетом многолетнего опыта непосредственных работ [14, 15].

Анализ внедряемых инженерных, технических, технологических и организационных решений при создании опасных производств показал, что такой подход позволяет максимально минимизировать опасность [13, 16].

Выявлено, что отличительными особенностями этих решений являются:

- локализация мест открытых работ путем размещения технологического оборудования в специальных боксах;
- подача опасных веществ в реактор вакуумом под слой реагента или в реакторах струйного типа,

обеспечивающих быстрое перемешивание в малом объеме.

Опасность также минимизируют:

- применение азотного дыхания аппаратов;
- широкое использование вакуума для транспортирования жидкостей;
- отсутствие нижних сливов у емкостного оборудования;
- применение поддонов, равных по объему емкости аппарата;
- специальная доставка проб опасных веществ в лабораторию;
- применение системы ручной доставки проб в специальных контейнерах через шлюзы непосредственно в вытяжные шкафы;
- организация направленных воздушных потоков в рабочих зонах;
- воздушное душирование операторов на рабочих местах;
- применение системы разряжения помещений;
- применение средств защиты кожи и органов дыхания;
- применение профилактических защитных кремов;
- санитарно-гигиеническая обработка после смены;
- укороченный рабочий день;
- медицинские наблюдения;
- замкнутый цикл водооборота (водные стоки замкнуты в систему водооборота самого объекта, используются для приготовления рецептур и т. п. и не выходят из производства. Очищенные сточные воды также возвращаются в основное производство);
- применение систем очистки воздуха с эффективностью до 99,99 %;
- наличие резервных систем очистки воздуха и многие другие технические и технологические решения, выработанные в процессе работ с опасными веществами;
- наличие системы производственного контроля безопасности, включающей контроль производства, экологический мониторинг территорий, прилегающих к объекту, и мониторинг здоровья.

Кроме того, минимизация опасности играет важную роль для установления размеров санитарно-защитной зоны опасного предприятия.

Выявленные способы минимизации опасности включались в исходные данные и рекомендовались для применения при проектировании опасного промышленного предприятия [17, 18].

Анализ проектной документации и эксплуатация опасных объектов показали, что еще одним важным направлением в создании современных предприятий является *организация службы химико-аналитического контроля*, позволяющей реализовать систему производственного контроля безопасности, удовлетворяющую требованиям, предъявляемым к объектам промышленности. Научному обоснованию аналитической инфраструктуры уделялось большое внимание.

Изучение деятельности аналитического комплекса на опасных предприятиях химического профиля с учетом современных тенденций чувствительного состояния окружающей среды показало недостаточ-

ность существующей структуры аналитической службы и привело к разработке состава службы, включающей лаборатории, способные обеспечить контроль качества выполняемых работ и экологическую безопасность на уровне современных требований.

Ранее на подобных предприятиях организовывалась одна аналитическая лаборатория, которая в соответствии с регламентом обеспечивала аналитический контроль. Недостаточность одной аналитической лаборатории в связи с расширением задач по контролю безопасности очевидна.

Современные нормативы требуют создания на объектах аналитической службы, которая должна обеспечить необходимую безопасность.

Функционирование службы химико-аналитического контроля должно обеспечиваться создающимися и аккредитованными в единой системе развитой сети стационарными аналитическими лабораториями, постами контроля, передвижными лабораториями [14].

К сожалению, в "Положении" отсутствуют требования к выдаче исходных данных при разработке проектной документации для создания системы производственного контроля безопасности. В соответствии с положениями санитарных правил СП 1.1.1058-01 (СП 1.1.2193-07) "Организация и проведение производственного контроля за соблюдением санитарных правил и выполнением санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий" требования по созданию систем производственного контроля безопасности должны быть включены в нормативную документацию.

Разработка исходных данных для создания систем производственного контроля безопасности на опасных объектах ранее не осуществлялась. Благодаря исследованиям авторов, несмотря на отсутствие требований, для всех объектов по уничтожению химического оружия впервые были разработаны исходные данные для создания систем производственного контроля безопасности [17, 19].

С другой стороны, т. к. разработка этих исходных данных может быть проведена только на основании проектной документации (возможно, одновременно, параллельно с ее разработкой), должен быть создан *специальный нормативный документ*, регламентирующий порядок разработки исходных данных для создания системы производственного контроля безопасности на предприятиях химической отрасли. Основой этого документа должны быть проектные материалы, на базе которых должны разрабатываться исходные данные для проектирования и создания системы производственного контроля безопасности опасного химического предприятия.

Кроме того, введение СП 1.1.1058-01 (СП 1.1.2193-07) необходимо обязательно сопроводить включением в реестр должностей (профессий) инженерно-технических работников по специальности "Производственный контроль безопасности" как с высшим, так и со средним специальным образованием, например:

- начальник службы производственного контроля безопасности;
- инженер (специалист) системы производственного контроля безопасности (химик-аналитик);
- оператор системы производственного контроля безопасности (химик-аналитик);

- пробоотборщик системы производственного контроля безопасности.

Создание системы производственного контроля безопасности является одной из основных задач, связанных с контролем обеспечения нормальных условий труда персонала химических предприятий и населения, проживающего на территориях, прилегающих к ним, а также обеспечения безопасности окружающей природной среды. Цель производственного контроля — обеспечение безопасности и (или) безвредности для человека и среды обитания от вредного влияния объектов путем должного выполнения санитарных правил, санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий, организации и осуществления контроля за их соблюдением.

Главной задачей системы производственного контроля безопасности являются быстрое и своевременное выявление любых нарушений технологического регламента и предупреждение о возникающем производственном инциденте с возможным переходом его в предаварийное и аварийное состояние и своевременное принятие мер, позволяющих ликвидировать опасность для людей и окружающей среды и предупредить возникновение неотложных состояний [20, 21].

Именно для проведения производственного контроля безопасности разрабатываются и утверждаются перечни приоритетных загрязнителей.

Анализ опасности на объектах промышленности, систематизация и обсуждение выявленных данных привели к выводу о необходимости проведения производственного контроля безопасности объектов по следующим направлениям:

- контроль производства;
- мониторинг территорий, прилегающих к опасным предприятиям;
- мониторинг здоровья персонала объектов [9].

На рисунке представлена организация системы производственного контроля безопасности, реализованная на опасных объектах [17].

Согласно системному подходу производственный контроль безопасности включает:

- *контроль производства*:
 - контроль санитарно-гигиенических условий труда работающего персонала;
 - контроль технологических процессов (выполнение требований регламента);
 - контроль герметичности технологического оборудования (как предвестник нарушений санитарно-гигиенических условий труда);
 - контроль чистоты поверхностей технологического оборудования;
 - контроль вентиляционных выбросов;
 - контроль состояния промышленной площадки;
- *экологический мониторинг территорий*:
 - мониторинг состояния санитарно-защитной зоны опасного предприятия;
 - мониторинг состояния селитебных территорий;
- *мониторинг здоровья*:
 - персонала объекта;
 - населения, проживающего на прилегающих к объекту территориях.



Организация системы производственного контроля безопасности

В первую очередь контролю на соответствие требованиям нормируемых показателей подвергаются санитарно-гигиенические условия труда (при контроле производства) или проживания (при контроле селитебных территорий).

Например, в ходе контроля выявляется соответствие состояния воздушной среды производственных помещений нормируемому показателю:

- ПДК воздуха рабочей зоны;
- ПДУ поверхностей технологического оборудования (чистоте поверхностей оборудования);
- а на селитебных территориях:
- состоянию воздушной среды населенных мест;
- ПДК воздуха населенных мест.

Требования непрерывного контроля гигиенических условий труда должны обеспечивать стационарные непрерывно действующие приборы санитарно-гигиенического контроля воздуха с выдачей сигнала о превышении ПДК р.з. [22].

Контроль технологических процессов проводится на соответствие реальных показателей процесса установленным и согласованным в регламенте.

Контроль герметичности технологического оборудования обоснован и введен в систему в ходе исследования, т. к. нарушение санитарно-гигиенических показателей в рабочей зоне может произойти только в случае нарушения герметичности оборудования. Были обоснованы требования к такому контролю: быстрое действие и автоматическое выявление разгерметизации при непрерывном контроле воздушного потока, омывающего технологическое оборудование, в котором обращаются опасные вещества. Эти требования позволили создать соответствующие приборы и средства индикации, например стационарные, автоматические непрерывно и быстродействующие приборы.

Для контроля вентиляционных выбросов особо опасных производств был обоснован (при наличии систем очистки выбрасываемого воздуха) непрерыв-

ный автоматический контроль стационарными приборами на уровне превышения ПДК воздуха рабочей зоны.

Проведено специальное исследование для определения способа контроля промышленной площадки, т. к. требование "контролировать промплощадку" есть, а способа нормируемого нет. Исследованием обосновано, что контролировать промплощадку необходимо как рабочую зону, т. к. на территории промплощадки имеются постоянные рабочие места, для которых существуют нормы, например ПДК воздуха рабочей зоны [22, 23].

Данное обоснование было поддержано специалистами ФМБА России. Таким образом, контроль состояния промплощадки необходимо проводить путем периодического отбора проб воздуха на ее территории вблизи периметра с подветренной стороны с последующим анализом отобранных проб в лаборатории объекта [24, 25].

Мониторинг территорий, прилегающих к объектам по уничтожению химического оружия, вызывал большую обеспокоенность у населения. Специальное полевое исследование, проведенное в 1989 г., позволило обосновать способ контроля (мониторинга) санитарно-защитной зоны по дальней ее границе, переходящей в селитебную зону, и в самой селитебной зоне.

В исследовании показано, что контроль территорий, прилегающих к объекту, должен проводиться на двух автомобилях путем одновременного отбора проб воздуха с наветренной (фоновой) и подветренной (загрязненной выбросами объекта) сторон (в соответствии с утвержденными маршрутами и согласованным графиком) для определения загрязнителей, включенных в Перечень, разработанный ранее.

Кроме воздушных проб, на этих территориях организуют пробные и наблюдательные площадки для контроля вод, почвы, животного и растительного биоразнообразия.

Обоснованно предусматривается, что после завершения проектирования (или по ходу его выполнения) требуется изучить и проанализировать материалы проектной документации и рассмотреть, как включить в проект мероприятия для выполнения требований санитарного законодательства и спроектировать в одном документе составную часть, обеспечивающую создание системы производственного контроля безопасности.

Разработан перечень мероприятий для проектирования и создания системы производственного контроля безопасности. Он включает следующие пункты.

1. Изучение и оценку проектных решений по компоновке рабочих помещений (проводится полная экспликация помещений, выявляются потенциальные загрязнители в каждом помещении для расчета приоритетных загрязнителей, подлежащих контролю в этих помещениях), по расстановке технологического оборудования, по созданию системы приточно-вытяжной вентиляции, по размещению опусков притока и вытяжки, установке очистных сооружений (фильтров и контактных аппаратов), по расположению источников вентиляционных выбросов и пр.

2. Изучение процесса эксплуатации стационарного технологического оборудования в целом. Выявляются воздушные потоки, омывающие технологическое оборудование.

3. Обоснование рабочих зон и рабочих мест в них с учетом размещения технологического оборудования и описания технологических процессов.

4. Обоснование направления воздушных потоков и их омывания (обтекания) основного и наиболее опасного технологического оборудования. Описываются места схождения воздушных потоков в помещениях.

5. Обоснование и определение мест расстановки стационарных непрерывно действующих приборов санитарно-гигиенического контроля воздуха рабочей зоны.

6. Выявление и обоснование наиболее опасных узлов технологического оборудования, емкостей, трубопроводов и пр., в процессе эксплуатации которых может возникнуть разгерметизация, сопровождающаяся возможной утечкой опасных веществ. Описываются места схождения воздушных потоков, омывающих эти узлы.

7. Обоснование мест расстановки стационарных непрерывно и быстродействующих приборов технологического контроля (контроля герметичности технологического оборудования, емкостей, трубопроводов, насосов и пр.) с учетом направления воздушных потоков, омывающих технологические узлы и оборудование.

8. Обоснование мест установки стационарных аналитических постов "Терминал" (рабочих мест индикаторщика в производственной зоне) для проведения аналитических работ непосредственно в помещениях 1-й и 2-й группы опасности.

9. Обоснование мест расстановки стационарных постов локального отбора проб воздуха для последующего количественного анализа проб в аналитической лаборатории производственного контроля безопасности.

10. Изучение обвязки всех очистных сооружений (фильтров типа ФП-300, колонн очистки абгазов и воздуха, контактных аппаратов и пр.).

11. Обоснование размещения врезок в воздуховоды для проведения контроля эффективности очистных аппаратов и контроля предельно допустимого выброса.

12. Обоснование расстановки стационарных приборов непрерывного контроля вентиляционных (промышленных) выбросов.

13. Изучение и анализ организации системы приточно-вытяжной вентиляции.

14. Предварительная оценка мест размещения приборов санитарно-гигиенического контроля.

15. Анализ системы приточно-вытяжной вентиляции в отделении пневмопочты.

16. Изучение и анализ системы приточно-вытяжной вентиляции в лабораторных помещениях.

17. Анализ системы приточно-вытяжной вентиляции в отделении очистки воздуха.

18. Разработка карт расстановки стационарных приборов системы производственного контроля безопасности:

– санитарно-гигиенического и технологического контроля;

– контроля вентиляционных (промышленных) выбросов;

– аналитических постов "Терминал" и постов локального отбора проб воздуха.

19. Разработка рекомендаций (проект регламента) аналитического контроля в рамках системы производственного контроля безопасности (с учетом всех загрязнителей, подлежащих контролю).

20. Разработка объединенных карт расстановки стационарных приборов контроля безопасности производства.

21. Разработка маршрутов экологического контроля (мониторинга) и наблюдения на промплощадке, на территориях санитарно-защитной зоны и сельтебных территориях, прилегающих к объекту.

22. Разработка рекомендаций по созданию целостной подсистемы производственного контроля безопасности опасного предприятия, включая проверку гигиенических условий труда (микроклимата, освещенности и пр.).

Указанные двадцать две ступени разработки исходных данных в целом составляют основу (принцип) создания систем производственного контроля безопасности. В соответствии с представленным принципом по исходным данным проектировался производственный контроль безопасности будущих производств и создавалась действующая система производственного контроля безопасности.

Изучение и анализ проектной документации и разработка исходных данных для создания рабочей документации системы производственного контроля безопасности *впервые* проведены для первого опытно-промышленного объекта в пгт. Горный, затем — для объектов по уничтожению химического оружия в г. Щучье, в пос. Мирный (объект "Марадыковский"), в пос. Леонидовка, в г. Почеп и т. д. [26—28].

Анализ работы систем производственного контроля безопасности показал, что созданные системы обеспечили надежный контроль производств и не

допустили загрязнения окружающей природной среды веществами, находящимися в работе при эксплуатации опасных химических объектов (табл. 1—3).

Вклад в безопасность объекта системы производственного контроля безопасности становится очевиден при анализе табл. 3.

Таблица 1

Итоги работы системы производственного контроля безопасности объекта по уничтожению химического оружия в пгт. Горный с 19 декабря 2002 г. по 17 ноября 2003 г. при уничтожении иприта

Проведение технологических операций		
Уничтожено отравляющих веществ	Уничтожено иприта, т	622,328
	Получено реакционной массы, т	1373,3167

Контроль реакционной массы				
Отобрано проб реакционной массы	Проведено анализов реакционной массы	Нормируемый показатель		Превышение норм
		Моноэтаноламин	Остаточное количество иприта	
2239	4478	Не менее 5 %	Не более $2 \cdot 10^{-3}$ %	Нет

Производственный контроль безопасности объекта		
Контроль воздуха рабочей зоны	Общее количество анализов	7009
	Из них выше ПДК	Нет
Контроль вентиляционного воздуха	Общее количество анализов	3753
	Из них выше ПДК	Нет
Контроль воздуха промплощадки	Общее количество анализов	287
	Из них выше ПДК	Нет
Сточные и циркуляционные воды	Общее количество анализов	4559
	Из них выше ПДК	Нет
Смывы различные	Общее количество анализов	7989
	Из них выше ПДУ	Нет
Всего анализов		28075

Таблица 2

Итоги работы системы производственного контроля безопасности объекта по уничтожению химического оружия в пгт. Горный с 24 ноября 2003 г. по 31 декабря 2004 г. при уничтожении люизита

Проведение технологических операций		
Уничтожено отравляющих веществ	Уничтожено люизита, т	156,1817
	Получено реакционной массы, т	929,378

Контроль реакционной массы			
Отобрано проб реакционной массы	Проведено анализов реакционной массы	Нормируемый показатель	Превышение норм
		Остаточное количество люизита	
1391	5564	Не более $7 \cdot 10^{-5}$ %	Нет

Производственный контроль безопасности объекта		
Контроль воздуха рабочей зоны	Общее количество анализов	12810
	Из них выше ПДК	Нет
Контроль вентиляционного воздуха	Общее количество анализов	6740
	Из них выше ПДК	Нет
Контроль воздуха промплощадки	Общее количество анализов	414
	Из них выше ПДК	Нет
Сточные и циркуляционные воды	Общее количество анализов	9949
	Из них выше ПДК	Нет
Смывы различные	Общее количество анализов	17232
	Из них выше ПДУ	Нет
Всего анализов		52709

Таблица 3

Санитарно-гигиеническая характеристика условий труда работающих, промплощадки, санитарно-защитной зоны и зоны защитных мероприятий на опытно-промышленном объекте в пгт. Горный в период уничтожения иприта с 19 декабря 2002 г. по 17 ноября 2003 г.

Объект лабораторных исследований	Количество лабораторных исследований (иприт)				Всего
	ПСЛ ЦГСЭН № 49		Лаборатории объекта		
	Всего	С превышением гигиенических норм	Всего	С превышением гигиенических норм	
Воздух рабочей зоны	391	0	7018	0	7409
Смывы с поверхностей производственных помещений	680	0	8163	0	8843
Производственные сточные воды	26	0	3089	0	3115
Вентиляционные выбросы	39	0	3806	0	3845
Атмосферный воздух промплощадки	57	0	285	—	342
Воздух на границе СЗЗ и жилой зоны	12	0	—	—	12
Атмосферный воздух в ЗЗМ	11	0	—	—	11
Вода открытых водоемов	11	0	—	—	11
того	1227	0	22361	0	23588

Как видно из таблицы, контроль безопасности производства проводился по двум направлениям:

- текущий контроль лабораториями системы производственного контроля безопасности объекта;
- надзорный контроль промышленно-санитарной лабораторией центра государственного санитарно-эпидемиологического надзора № 49 ФМБА России.

В ходе текущего контроля производства службой производственного контроля безопасности объекта был выполнен 22361 анализ, в то время как надзорной службой ФМБА России — всего 1227 (в 18 раз меньше).

Приведенный объем контроля обеспечил безопасную работу объекта.

В ходе уничтожения отравляющих веществ в рамках системы производственного контроля безопасности на объектах по уничтожению химического оружия помимо автоматического непрерывного контроля рабочей зоны и вентиляционных выбросов осуществлялся количественный контроль по аналитическим методикам.

На объекте в пгт. Горный системой производственного контроля безопасности за период уничтожения иприта выполнено 28075 анализов, люизита — 52709 анализов.

Принципы организации безопасных объектов химической промышленности разработаны на примере создания и эксплуатации объектов, работавших с опасными веществами, включающими максимальное количество действий, связанных с особенностями эксплуатации этих объектов.

На опасных предприятиях химической промышленности, работающих с веществами с остро направленным механизмом действия, не уступающим по опасности отравляющим веществам первого класса опасности (арсин, водорода цианид, фосфин, фтористый водород, диметилсульфат и т. д.) и второго класса опасности (цианиды, фториды, бром и бромиды, мышьяк, содержащие вещества, изопропилнитрит, фосген и т. д.), требуется создавать системы производственного контроля безопасности [22].

Разработку исходных данных для создания систем производственного контроля безопасности на предприятиях химической промышленности можно проводить с использованием предлагаемого принципа, исключив из него сугубо специфические мероприятия, свойственные объектам по уничтожению химического оружия.

Заключение

В статье рассмотрены современный подход и принципы создания экологически безопасных производств химической промышленности в России на основании (на примере) опыта проектирования, строительства и эксплуатации наиболее опасных объектов по уничтожению химического оружия. Завершение работ по его уничтожению показало, что объекты, уничтожавшие химическое оружие России, не внесли изменений в состояние окружающей природной среды на территориях их расположения. Это было достигнуто благодаря внедрению научно обоснованного

принципа создания систем производственного контроля безопасности, что позволило строго выполнять требования нормативной документации, включая требования санитарного законодательства, и реализовать надежный контроль на всех этапах опасного производства.

Требования санитарного законодательства были внедрены благодаря разработке перечня мероприятий, выполнение которых позволило создать безопасные объекты. Включение перечня мероприятий для реализации систем производственного контроля безопасности в нормативные документы обеспечит безопасность персонала опасных объектов и защиту окружающей природной среды уже на уровне проектирования, а затем — при эксплуатации.

Выполнение контроля опасных производств с помощью систем производственного контроля обеспечит безопасность только при наличии на производствах специалистов соответствующего профиля. Следовательно, необходимо включение в реестр должностей (профессий) инженерно-технических работников по специальности "Производственный контроль безопасности" как с высшим, так и со средним специальным образованием.

Комплексный подход к созданию производств химической промышленности позволит обеспечить безопасность проектируемых опасных объектов благодаря внедрению служб и введению специалистов производственного контроля безопасности в штат сотрудников.

Для реализации комплексного подхода необходимо включить требование создания системы производственного контроля безопасности в проектную документацию путем скорейшего введения в ГОСТ Р 56639–2015 "Технологическое проектирование промышленных предприятий" в раздел 5 пункт "Исходные данные для создания систем производственного контроля безопасности" в соответствии с требованиями Санитарных правил СП 1.1.1058-01. — М.: Минздрав России, 2001 (с изменениями и дополнениями № 1 к Санитарным правилам СП 1.1.1058-01 "Организация и проведение производственного контроля за соблюдением санитарных правил и выполнением санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий". Санитарные правила СП 1.1.2193-07. — М.: Минздрав России, 2007). (Перечень необходимых мероприятий рассмотрен в данной статье). Это *первое необходимое условие*.

Второе необходимое условие: введение требований СП 1.1.1058-01 (СП 1.1.2193-07) необходимо обязательно сопроводить включением в реестр должностей (профессий) инженерно-технических работников по специальности "Производственный контроль безопасности" как с высшим, так и со средним специальным образованием, например:

- начальник службы производственного контроля безопасности;
- инженер (специалист) системы производственного контроля безопасности (химик-аналитик);
- оператор системы производственного контроля безопасности (химик-аналитик);
- пробоотборщик системы производственного контроля безопасности.

Для введения (замещения) должностей необходимо разработать и утвердить профессиональный стандарт "Специалист производственного контроля безопасности".

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ Р 56639–2015 Технологическое проектирование промышленных предприятий. — М., 2016.
- Демидюк В. В.** Логический анализ проблемы создания экологически безопасных объектов по уничтожению химического оружия // Экология промышленного производства. 2017. № 4(100). С. 49—55.
- Демидюк В. В., Фармаковский А. П., Шелученко В. В., Горский В. Г.** Иерархический анализ в проведении конкурсных оценок альтернативных технологий уничтожения химического оружия // Экология промышленного производства. 2018. № 2(102). С. 58—63.
- Ворончихина Е. А., Двинских С. А., Демидюк В. В. и др.** Экологическая ситуация в Щучанском районе Курганской области. Экологическое нормирование качества среды обитания / Отв. ред. Манило И. И. — М.—Курган, 1999. — 58 с.
- Положение об исходных данных для проектирования. — М.: Министерство промышленности, науки и технологий Российской Федерации, 2002.
- Демидюк В. В., Демидюк Н. В.** Технологии уничтожения химического оружия. — М.: ООО "Агентство Ракурс Продакшн", 2004. — 36 с.
- Санитарные правила СП 1.1.1058-01. Организация и проведение производственного контроля за соблюдением санитарных правил и выполнением санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий. — М.: Минздрав России, 2001.
- Санитарные правила СП 1.1.2193-07. Организация и проведение производственного контроля за соблюдением санитарных правил и выполнением санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий. Изменения и дополнения № 1 СП 1.1.1058-01.
- Демидюк В. В.** Система мониторинга и аналитического контроля объекта уничтожения химического оружия в городе Щучье: Третьи публичные слушания по проблеме уничтожения химического оружия. Материалы слушаний. Курган, Щучье. 08—10 июля 1997 г. / под общей редакцией Леонова В. А., Манило И. И. — Курган, Изд. ИПП "ДАМПИ", 1997. С. 133—137.
- Гигиенические требования к размещению, проектированию, строительству, эксплуатации и перепрофилированию объектов по уничтожению химического оружия, реконструкции зданий и сооружений и выводу из эксплуатации объектов по хранению химического оружия. Санитарные правила СП 2.2.1.2513-09. — М.: Минздрав России, 2009.
- Демидюк В. В., Ещенко Ю. И., Кузьмина Г. А. и др.** Обоснование инвестиций в строительство объекта по уничтожению химического оружия в Щучанском районе Курганской области // под общ. ред. Манило И. И., Мамонтова Ю. И. — Курган, 1998. — 70 с.
- Демидюк В. В.** Современное состояние окружающей среды (Мир, где мы живем). — М.: Рос. Зеленый Крест, 1998. — 29 с.
- Демидюк В. В., Демидюк Н. В., Петрунин В. А.** Обеспечение безопасности уничтожения химического оружия. — М.: ООО "Агентство Ракурс Продакшн", 2004. — 20 с.
- Заиченко А. И.** Гигиенические проблемы охраны окружающей природной среды и здоровья населения в местах расположения объектов по хранению и уничтожению химического оружия: дис. в виде научного доклада... док-ра мед. наук: 14.00.07. — М.: Российский гос. медицинский университет, 2000. — 75 с.
- Демидюк В. В., Шалганова И. В., Широков А. Ю.** Эколого-гигиеническая характеристика российской двухстадийной технологии химической детоксикации зарина, зомана и Ви-газов. Сер. "Медико-экологическая безопасность в регионах хранения и уничтожения химического оружия" // под ред. Каспарова А. А., Мусийчука Ю. И. Вып. 8. — М.-СПб., 1998. — 27 с.
- Капашин В. П. др.** На пути химического разоружения. Изд. 2, доп. — М.: ФУ БХ УХО, 2010. — 209 с.
- Демидюк В. В., Петрунин В. А., Шелученко В. В.** Организация системы производственного контроля безопасности объекта по уничтожению химического оружия: Общественный форум-диалог. "Выполнение Россией Конвенции о запрещении химического оружия: состояние и перспективы к концу 2005 года". — М.: Рос. Зеленый Крест, 2006. С. 46—49.
- Демидюк В. В., Кондратьев В. Б.** Опыт создания и эксплуатации объектов по уничтожению химического оружия: Общественный форум-диалог. "Выполнение Россией Конвенции о запрещении химического оружия: состояние и перспективы к концу 2006 года". — М.: Рос. Зеленый Крест, 2007. С. 90—98.
- Акт о готовности системы производственного контроля к эксплуатации. Подписан членами межведомственной комиссии: от ФУ "Медбиоэкстрем" МЗ РФ: Карловым Г. Ф., Киселевым С. М., Трунченковым А. Н., Британовым Н. Г.; от ФУ БХ УХО: Ивановым К. Н.; от ФГУП "ГосНИИОХТ": Демидюком В. В. Утвержден начальником управления Госсанэпиднадзора ФУ "Медбиоэкстрем" МЗ РФ Шамовым О. И. 27 ноября 2002 г.
- Демидюк В. В., Сарманаев С. Х.** Производственный контроль безопасности на опасных промышленных объектах: Мат. 1-й межрегиональной научно-практической конференции "Актуальные вопросы неотложных состояний" г. Дмитровград, 6—7 июня 2013 г. С. 45—50.
- Демидюк В. В., Сарманаев С. Х., Болотников А. И.** Система предупреждения медицинских последствий нештатной ситуации на химически опасных объектах // Биомедицинский журнал. Medline.ru. Т. 14. Экология. 2013. СТ. 76 (С. 957—974).
- ГОСТ 12.1.005 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- Демидюк В. В., Сметанина В. П.** Особенности контроля промышленной площадки объектов по уничтожению химического оружия: Международный симпозиум. Медицинские и биологические проблемы, связанные с уничтожением химического оружия. — Волгоград, 2003. С. 281—282.
- Demiduk V. V., Mudryi P. M.** Common Scientific Principles Used to Create a Process Monitoring System Ensuring Safety at Chemical Weapons Destruction Facilities. In the book: "Tenth Russian National Dialogue on Chemical Weapons Nonproliferation and Destruction (selected presentations)". October 28—29. — Moscow, Russia, 2008. P. 31—33.
- Капашин В. П., Пункевич Б. С., Элькин Г. И.** Метрологическое обеспечение уничтожения химического оружия — основа безопасности химического разоружения в Российской Федерации. — М.: ФУ БХ УХО, 2010. — 174 с.
- Холстов В. И., Кондратьев В. Б., Демидюк В. В.** Современные инженерные решения и действующие системы производственного контроля безопасности — залог экологически чистого уничтожения химического оружия в России // Рос. хим. ж. (Рос. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева). 2007. Т. LI. № 2. С. 43—48.
- Demiduk V.** Ten Years Later: On the Path to Safe Chemical Weapons Destruction in Russian. In the book: "Ninth Russian National Dialogue On Chemical Weapons Nonproliferation And Destruction" Editor in Chief: Cristian Ion, 31 October — 1 November 2007, Green Cross Russia, Green Cross Switzerland, Global Green USA. Moscow, Russia. P. 77—84.
- Хайбулин Р. Г.** Производственно-экологический мониторинг — залог безопасности // Экология промышленного производства. 2015. № 4(92). С. 52—59.

The principles of creation environmentally friendly production of chemical industry

V. I. KHOLSTOV, V. V. DEMIDYUK

Federal State Unitary Enterprise "State Scientific-research Institute of Organic Chemistry and Technology" State Research Center of the Russian Federation, Moscow, Russia

The creation of environmentally safe production of chemical industry is a very difficult task associated with the need to develop scientific, technical, engineering and organizational measures and their implementation both during the design and creation, and during the operation of facilities. The provisions of the normative document establishing the General requirements for the technological design of industrial enterprises, the composition and content of the project and the output data are considered. It is reflected that the standards do not establish special requirements determined by production technology, features of handling hazardous materials (toxic, radioactive, etc.), and do not establish requirements for safety. At the same time, sanitary legislation imposes requirements for the organization and conduct of industrial safety control. This fact served as the basis for the development of a list of measures for the creation of industrial safety control systems in the design of hazardous industrial enterprises. A list of necessary measures is proposed, based on the example of creating facilities for the destruction of chemical weapons, which provides for the creation of a system of industrial safety control at hazardous chemical facilities.

Keywords: initial data, industrial safety control system, environmentally safe production, hazard minimization, production control, environmental monitoring of surrounding areas, monitoring of health of facilities personnel and the population.

Bibliography — 28 references.

Received September 10, 2021

УДК 504.7

DOI: 10.52190/2073-2589_2021_4_46

Антропогенные выбросы парниковых газов и формула глобального потепления

В. В. ТЕТЕЛЬМИН, д-р техн. наук

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Выявлены особенности теплообмена в системе парниковые газы—атмосфера—Мировой океан. Предложена к использованию формула глобального потепления, позволяющая прогнозировать среднюю температуру атмосферы как функцию массы накопленных выбросов парниковых газов. Предлагается решение по расчету времени "отепляющего воздействия" парниковых газов после прекращения их выбросов в атмосферу.

Ключевые слова: выбросы парниковых газов, парниковый эффект, глобальное потепление, климатическая система, спровоцированное метеорологическое событие, интенсивность передачи тепловой энергии.

В 60-х гг. XX в. профессор М. И. Будыко пришел к заключению о неизбежности изменения глобального климата в сторону потепления при росте производства энергии [1]. Это было предвидение, основанное на точных оценках энергопотоков и понимании атмосферных процессов. В XXI в. климатологи всего мира пришли к заключению, что наблюдаемое глобальное изменение климата — следствие роста антропогенных парниковых газов (ПГ) в атмосфере.

Лауреатом Нобелевской премии по физике 2021 г. стал немецкий метеоролог Клаус Хассельман "за физическое моделирование климата Земли и надежный прогноз глобального потепления". Автор настоящей статьи предлагает к использованию в прогнозных расчетах формулу глобального потепления, выведенную на основе анализа накопленных мировой наукой натурных данных о процессах теплообмена в климатической системе Земли.

Производство энергии сопровождается накоплением в атмосфере основного парникового газа — CO₂ (76 % радиационного эффекта) и сопутствующих парниковых газов — CH₄ (16 %), N₂O (6 %). В земной атмосфере накопилось антропогенных ПГ примерно 1,3 трлн т CO₂-экв, из которых около 1 трлн т приходится на диоксид углерода. За время активной хозяйственной деятельности концентрация CO₂ в атмосфере увеличилась с доиндустриального уровня 280 ppm до современного экстремального значения 416 ppm. При этом темп прироста концентрации диоксида углерода постоянно увеличивался: в период 1990—2000 гг. он составлял 1,5 ppm/г.; в 2000—2010 гг. — 1,9 ppm/г.; в 2010—2020 гг. — 2,5 ppm/г. [2].

До 1850 г. в атмосфере содержались следующие интересные нас парниковые газы: CO₂ с начальной концентрацией 280 ppm ($2,24 \cdot 10^{12}$ т), метан с начальной концентрацией 0,7 ppm ($2,03 \cdot 10^9$ т), закись азота с начальной концентрацией 0,26 ppm ($2,08 \cdot 10^9$ т).

В доиндустриальный период эти три основных ПГ обеспечивали 9,4 °С потепления [3, 4].

Если использовать общепринятые коэффициенты конверсии (GWP) для метана — 28, а для закиси азота — 261, то общее начальное содержание трех основных ПГ в доиндустриальной атмосфере составляло $2,84 \cdot 10^{12}$ т CO₂-экв. До 1850 г. естественные источники этих трех ПГ находились в равновесии с их естественными поглотителями, а климатическая система (КС) находилась в состоянии теплового баланса. В таком случае можно принять, что потенциал одной тонны ПГ по обеспечению нагревания атмосферы представляет собой константу: $P = 3,3 \times 10^{-12}$ град/т CO₂-экв. Значение P характеризует потенциал максимального нагревания атмосферы одной тонной ПГ в условиях стационарного теплообмена между всеми составляющими климатической системы Земли. В таком случае при содержании в атмосфере массы M (т CO₂-экв.) парниковых газов потенциал нагревания T_{\max} атмосферы определяется произведением:

$$T_{\max} = 3,3 \cdot 10^{-12} M \text{ (град)}. \quad (1)$$

Привнесение в атмосферу антропогенных ПГ сместило веками установившееся равновесие процесса теплового взаимодействия океана и атмосферы. Далее будем рассматривать содержание в атмосфере только антропогенных ПГ и тепловую энергию антропогенного парникового эффекта (ПЭ), которая обуславливает современное глобальное изменение климата Земли.

Дальнейший анализ особенностей глобального потепления выполнен с использованием натурных данных, накопленных мировой наукой за последнее столетие. В качестве исходной информации в расчетах использовали следующие опубликованные результаты глобального мониторинга:

- рост средней глобальной температуры [5];
- рост концентрации ПГ в атмосфере [2, 6];
- рост количества катастрофических ураганов (циклонов) [7—10];
- рост аккумулированной тепловой энергии климатической системой Земли [5, 11].

Тетельмин Владимир Владимирович, профессор, член Общественного совета при Минэнерго РФ.
E-mail: v-tetelmin@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 12 октября 2021 г.

© Тетельмин В. В., 2021

В докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата [5] приводится кривая роста тепловой энергии, накопленной климатической системой Земли с 1970 по 2010 гг. На основе этой натурной кривой построен график роста аккумулярованной тепловой энергии (рис. 1), из которой около 94 % приходится на Мировой океан, 4,5 % — на сушу и около 1,5 % — на атмосферу. Эта кривая положена в основу вывода формулы глобального потепления, поскольку представляет собой инструментально измеренный результат действия всех энергетических потоков на Земле, существовавших с 1970 по 2010 гг., включая действие положительных и отрицательных обратных связей.

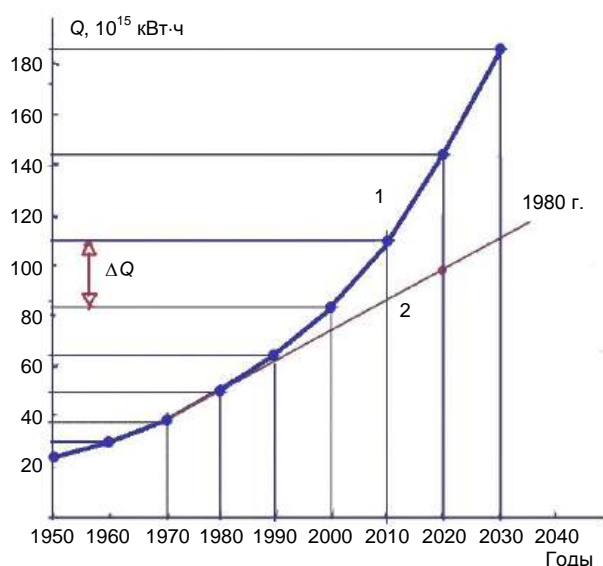


Рис. 1. Рост накопленной климатической системой Земли тепловой энергии Q антропогенного парникового эффекта: 1 — реальный; 2 — при гипотетическом достижении углеродной нейтральности в 1980 г.; ΔQ — приращение тепловой энергии в климатической системе Земли в период 2000—2010 гг.

Необходимые для дальнейшего анализа исходные натурные данные систематизированы и представлены в табл. 1, в которой, кроме CO_2 , учтено присутствие в атмосфере двух других основных парниковых газов: метана и закиси азота [7]. В таблице

также приводятся натурные данные о количестве спровоцированных антропогенным парниковым эффектом катастрофических метеорологических событий (СМ-событий), играющих важную роль в активизации горизонтального конвективного переноса тепловой энергии из тропического пояса Земли в высокие широты [12].

Страховые компании фиксируют рост количества природных катастроф и неблагоприятных событий метеорологического характера, которое растет вместе с ростом антропогенных выбросов ПГ [10]. В дальнейшем будем называть эти события (циклоны, штормы, ураганы) спровоцированными метеорологическими событиями (СМС). Важнейшим фактором теплового взаимодействия атмосферы и МО (двух основных компонентов климатической системы Земли) является турбулентный теплообмен, интенсивность которого определяется скоростью ветра, а также разностью температур воды и воздуха [1].

Процесс накопления тепловой энергии в атмосфере особенно активно происходит в тропическом поясе, где ежегодно возникают десятки мощных вихревых возмущений, именуемых тропическими циклонами [12], размеры которых рассчитываются с помощью формулы Л. Прандтля [13]. Типичный размер тропического циклона в поперечнике превышает 2000 км, а внетропического циклона на широте 40° составляет порядка 320 км. В среднем тропический циклон в активной фазе существует 5—6 сут., имеет среднюю скорость ветра 33,2 м/с и перемещается по поверхности планеты как единая система со средней скоростью 20 км/ч.

Циклоны как крупномасштабная разновидность конвекции в атмосфере способствуют ускоренному переносу накопившегося избыточного тепла в одном месте КС в другие регионы Земли. На рис. 2 приводятся графики изменения количества катастрофических СМ-событий и гидрологических бедствий, вызванных хозяйственной деятельностью человека [7]. По мере роста массы выбросов в атмосферу парниковых газов и аккумулярованной тепловой энергии частота СМ-событий возрастала вплоть до 2000 г., когда количество СМ-событий стабилизировалось на уровне около 120 в год.

Таблица 1

Накопленные с нарастающим итогом показатели мирового производства энергии, выбросов парниковых газов, тепловой энергии в климатической системе Земли и количества спровоцированных глобальным потеплением катастрофических СМ-событий [7]

Годы	Накопленное производство техногенной энергии, 10^{12} кВт·ч	Накопленные в атмосфере выбросы парниковых газов М, 10^9 т, CO_2 -экв/ CO_2	Накопленная тепловая энергия Q в климатической системе, 10^{15} кВт·ч	Накопленный рост среднегодовой температуры атмосферы, $^\circ\text{C}$	Количество катастрофических СМ-событий в год
1950	1525	340/260	22,5	—	8
1960	1875	410/295	29,7	0,20	17
1970	2425	500/370	38,5	0,34	36
1980	3215	615/464	49,0	0,50	67
1990	4190	763/584	63,5	0,66	103
2000	5310	914/712	82,4	0,83	120
2010	6650	1085/864	110,8	1,01	119
2020	8300	1304/1056	144,0	1,20	114

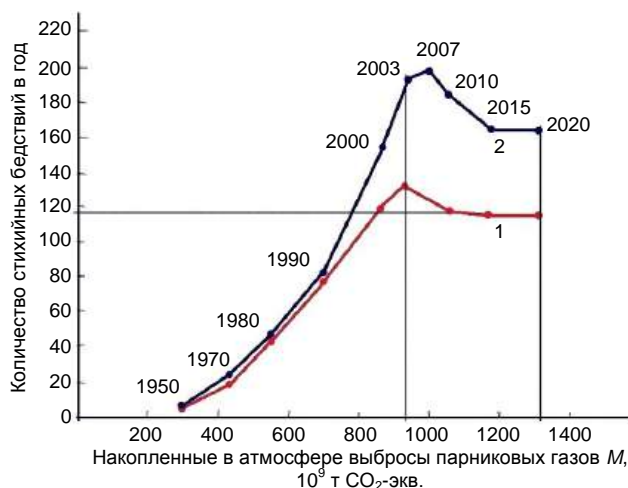


Рис. 2. Изменение во времени частоты возникновения: 1 — катастрофических спровоцированных метеорологических событий; 2 — гидрологических стихийных бедствий

После 2000 г. на Земле ежегодно отмечалось 110—120 катастрофических СМ-событий. Их дальнейшего количественного роста не наблюдалось. Можно предположить, что к настоящему времени пространственно-временной ресурс планеты Земля, необходимый для формирования большего числа, чем 120 мощных СМ-событий в год, исчерпан. Эту ситуацию можно сравнить с вхождением мощных турбулентных потоков в автомоделный режим течения, когда коэффициент сопротивления течению перестает зависеть от числа Рейнольдса [13]. В сложившихся на планете Земля условиях климатической системе легче сбрасывать накопленную тепловую энергию не через ежегодное формирование дополнительных сверх 120 СМ-событий, а через уже действующие СМ-события.

На рис. 3 приведены графики роста накопленной в климатической системе Земли тепловой энергии в зависимости от содержания в атмосфере массы ПГ. Кривая 1 фактического роста накопленной тепловой энергии имеет три характерных участка. На первом участке от начала индустриальной эпохи до 1950 г. происходил медленный рост накопленной в КС тепловой энергии. В 1950 г. кривая претерпела излом. Далее до 2000 г. "производительность" каждой тонны ПГ по передаче тепловой энергии Мировому океану увеличивалась. В этот период происходило увеличение горизонтального турбулентного переноса тепла за счет появления мощных СМ-событий. В 2000 г. кривая роста претерпела второй излом, вслед за которым активность ПГ ещё более усилилась. Линия 2 отражает базовый рост накопленной КС тепловой энергии, происходящий без участия СМ-событий. Область, заключенная между кривыми 1 и 2, определяет вклад СМ-событий в потепление климатической системы.

Сведенные в табл. 1 натурные показатели позволяют рассчитать фактическое значение тепловой энергии q , передаваемой климатической системе

Земли одной тонной парниковых газов (ПГ) в единицу времени. Значение q определяется с помощью следующего соотношения:

$$q = \Delta Q / M \text{ (кВт}\cdot\text{ч/т CO}_2\text{-экв.}\cdot\text{год)}, \quad (2)$$

где ΔQ (кВт·ч) — количество тепловой энергии, накопленной КС Земли за рассматриваемый период времени;

M (т CO_2 -экв.) — средняя масса накопленных антропогенных ПГ, содержащихся в атмосфере в рассматриваемый период времени.

Показатель q определяет реальную интенсивность передачи тепловой энергии парниковых газов климатической системе Земли с учетом всех сопровождающих процессов. Значение показателя q характеризует баланс теплопроизводящих свойств парниковых газов, теплопередающих свойств атмосферы и одновременно с этим теплопринимающих свойств Мирового океана, суши и атмосферы. В табл. 2 приводятся результаты расчетов показателя q и доли n (%) тепловой энергии, остающейся в атмосфере в каждом акте теплообмена с Мировым океаном. Здесь отмечается важная особенность процесса теплообмена: в каждом акте теплообмена с океаном доля тепла, которая оставалась в атмосфере, уменьшалась с 2,5 до 0,86 %. После 2010 г. атмосфера оставляет себе постоянную долю $n = 0,86$ % от каждой порции передаваемого Мировому океану тепла.

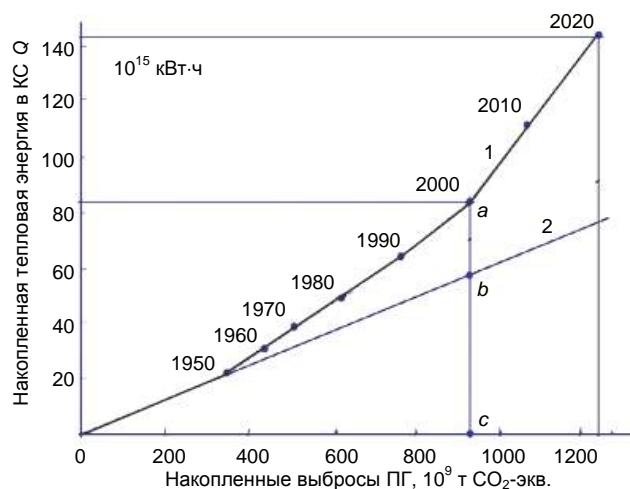


Рис. 3. Рост накопленной климатической системой тепловой энергии в зависимости от содержания в атмосфере парниковых газов:

1 — фактический; 2 — базовый без участия СМ-событий

В изменении показателя q от начала индустриальной эпохи (см. рис. 3) выделяются три периода. В период с 1850 по 1940 гг. в атмосфере практически не отмечалось наведенных человеческой деятельностью СМ-событий и дополнительного турбулентного переноса парникового тепла. Поэтому в соответствии с (2) среднее значение показателя q оставалось постоянным: $q = 1,32 \cdot 10^3$ кВт·ч/(т·год).

Таблица 2

Натурные и расчетные показатели основных процессов и явлений, происходивших в климатической системе Земли в период 1950—2020 гг.

Годы	Увеличение содержания тепла в КС ΔQ , 10^{15} кВт·ч	ΔT , град.	Увеличение содержания тепла в атмосфере ΔA , 10^{15} кВт·ч	Доля тепла, остающегося в атмосфере $\Delta A/\Delta Q$, %	Масса парниковых газов M , 10^9 т CO_2 -экв.	Интенсивность передачи тепла q , 10^3 кВт·ч/(т·год)
1950—1960	7,1	0,120	0,178	2,52	378	1,86
1960—1970	8,6	0,145	0,215	2,48	460	1,87
1970—1980	10,5	0,160	0,237	2,26	554	1,91
1980—1990	14,5	0,165	0,244	1,69	690	2,07
1990—2000	18,9	0,170	0,252	1,33	838	2,25
2000—2010	28,4	0,185	0,274	0,98	1000	2,84
2010—2020	34,0	0,196	0,293	0,86	1184	2,84

В 1950 г., когда КС накопила около $23 \cdot 10^{15}$ кВт·ч тепловой парниковой энергии, стали отмечать редкие СМ-события с периодичностью около 30 суток, вследствие чего значение q резко увеличилось до $1,86 \cdot 10^3$ кВт·ч/т CO_2 -экв.·год. В период с 1950 по 2000 гг. значение показателя q постепенно увеличивалось до $2,25 \cdot 10^3$ кВт·ч/т CO_2 -экв.·год. Наблюдаемое увеличение q в этом периоде в основном вызвано усилением горизонтального турбулентного переноса тепла за счет более частых СМ-событий, которые являются факторами положительной обратной связи. В 2000 г., когда КС накопила энергию в количестве около $83 \cdot 10^{15}$ кВт·ч, каждое очередное СМ-событие происходило уже с периодичностью 3 суток. Таким образом, во второй половине XX века участвовавшие СМ-события активно разносили тепловую энергию ПГ по земной поверхности.

После 2000 г. СМ-события формируются каждые 3 суток и непрерывно разносят тепловую энергию по земной поверхности. В период 2000—2010 гг. произошло резкое увеличение показателя q с 2,25 до $2,84 \cdot 10^3$ кВт·ч/(т·год) при практически постоянном количестве СМ-событий в год.

Феномен относительной стабилизации количества СМ-событий на уровне 120 в год объясняется переходом системы атмосфера—Мировой океан в новое качество. После 2000 г. климатическая система не расходует времени и энергии на формирование дополнительных сверх 120 СМ-событий в год, а отдает избыточную парниковую энергию уже действующим СМС, часть которых при периодичности появления 3 сут. и средней продолжительности жизни около 6 сут. постоянно присутствует на Земле.

После 2000 г. атмосфера за счет активной циклонической деятельности увеличила свои возможности по переносу тепловой энергии парникового эффекта по земной поверхности и передаче её Мировому океану. Расчеты показывают, что в 2000 г. КС принимала 18 % ($0,46$ Вт/м²) из $2,87$ Вт/м² отраженной ПГ радиации, а в 2010 г. принимала уже 24 % ($0,70$ Вт/м²) мощности отраженной радиации ПГ. В 2010 г. интенсивность горизонтального турбулентного переноса парникового тепла СМ-событиями и соответствующее значение показателя $q = 2,84 \cdot 10^3$ кВт·ч/т CO_2 -экв.·год вышли на максимум.

Глобальное потепление увеличивает площадь Мирового океана с поверхностной температурой воды 27°C , количество термических депрессий и зон

пониженного давления, которые необходимы для возникновения тропических циклонов [12]. После 2000 г. нагревающаяся КС стала усиливать тепловой энергией действующие СМ-события, количество которых установилось на уровне около 120 в г. Можно предположить, что при дальнейшем увеличении парникового эффекта и глобального потепления энергия СМ-событий будет возрастать в основном за счет продолжительности их жизненного цикла. Можно также предположить, что по мере дальнейшего роста накопленной в КС тепловой энергии отдельные долгоживущие тропические и внетропические циклоны будут плавно переходить один в другой и в будущем формировать постоянно действующие циклоны, как это наблюдается, например, на горячей Венере.

Отмеченные энергетические особенности переноса и передачи тепловой энергии парниковых газов КС Земли позволяют вывести формулу глобального потепления, с помощью которой можно рассчитывать рост средней глобальной температуры как функцию массы содержащихся в атмосфере парниковых газов.

Наблюдаемые постоянные после 2010 г. значения показателя q и доли остающегося в атмосфере парникового тепла n (%) позволяют рассчитывать нагревание атмосферы от действия парниковых газов за период времени Δt :

$$\Delta T = (nq / mc_p) M \Delta t, \quad (3)$$

где M (т CO_2 -экв.) — среднее значение массы парниковых газов в атмосфере в расчетный период времени;

m — масса атмосферы (т);

$c_p = 0,286$ кВт·ч/(т·град.) — теплоемкость воздуха при постоянном давлении.

Выражение в скобках в формуле (3) является константой, равной $16,5 \cdot 10^{-15}$ град./[год·т CO_2 -экв.], полученной с использованием натурных данных и учитывающей особенности глобального теплообмена в системе атмосфера—Мировой океан. При прогнозном расчете глобального потепления на длительный срок удобно пользоваться периодом времени $\Delta t = 10$ лет. В таком случае повышение температуры

атмосферы за любой 10-летний период времени определяется следующим выражением:

$$\Delta T = 16,5 \cdot 10^{-14} M \text{ (град./10 лет)}, \quad (4)$$

где M (т CO_2 -экв.) — среднее значение массы парниковых газов в атмосфере в расчетном 10-летнем периоде времени.

Прогнозное повышение температуры атмосферы за несколько расчетных 10-летних периодов i определяется суммированием:

$$T_i = (16,5 \cdot 10^{-14} \sum M_i + T_0), \text{ град.} \quad (5)$$

Здесь слагаемое T_0 — средняя температура глобального потепления от действия парниковых газов в году, который является отправным в прогнозном расчете потепления климата. Например, $T_0 = 1,2^\circ\text{C}$, если в качестве отправного взять 2020 г.

В случае прекращения выбросов в атмосферу и достижения углеродной нейтральности время перехода климатической системы к равновесному термодинамическому состоянию t определяется с помощью зависимостей (1), (4) и (5). Результирующее расчетное выражение выглядит следующим образом:

$$t_{\max} = 10 (T_{\max} - T_i) / \Delta T, \text{ годы.} \quad (6)$$

Здесь разность температур $T_{\max} - T_i$ определяет нереализованный "нагревательный потенциал" парни-

ковых газов к моменту прекращения выбросов, а знаменатель ΔT определяет соответствующую этому моменту скорость нагревания атмосферы (град./10 лет). По истечении времени t парниковые газы реализуют весь свой потенциал, после чего климатическая система приходит в условно равновесное термодинамическое состояние.

Если на момент прекращения выбросов ПГ известны исходные значения температуры потепления T_0 и массы M_0 парниковых газов в атмосфере, то время t , оставшееся до выхода на стационарный режим теплообмена в системе атмосфера—океан, определяется следующей зависимостью:

$$t_{\max} = (200 - 61 \cdot 10^{12} T_0 / M_0) \text{ (годы)}. \quad (7)$$

Например, если бы человечество прекратило выбросы ПГ в атмосферу в 2020 г., когда температура потепления $T_0 = 1,2^\circ\text{C}$, а масса парниковых газов в атмосфере $M_0 = 1304 \cdot 10^9$ т CO_2 -экв., то глобальное потепление продолжалось бы еще 144 г. вплоть до 2164 г., а температура атмосферы в соответствии с (1) поднялась бы до $4,3^\circ\text{C}$.

В качестве примеров выполнены расчеты глобального потепления для четырех случаев нулевых выбросов. Первый вариант расчета состоит в предположении, что человечество прекратило выбросы ПГ в 1980 г., второй — в 2020 г., третий — в 2060 г., четвертый — в 2100 г. Исходные данные для расчетов приведены в табл. 3, а промежуточные и окончательные результаты — в табл. 4.

Таблица 3

Реальное (2000—2020 гг.) и расчетное количество содержащихся в атмосфере антропогенных ПГ на протяжении XXI в. при сохранении современных темпов выбросов, а также при снижении в два раза выбросов к 2060 г.

Годы	Накопленные в атмосфере ПГ при сохранении современных выбросов, 10^9 т CO_2 -экв./т CO_2	Накопленные в атмосфере ПГ при сокращении выбросов, 10^9 т CO_2 -экв./т CO_2	Накопленные в атмосфере ПГ без CO_2 , 10^9 т CO_2 -экв.	Накопленный в атмосфере метан, 10^9 т	Накопленная в атмосфере закись азота, 10^9 т
2000	914/712	914/712	202	3,132	0,440
2010	1086/864	1086/864	222	3,219	0,504
2020	1304/1056	1304/1056	248	3,445	0,584
2030	1505/1230	1506/1231	275	3,700	0,656
2040	1700/1400	1650/1356	300	3,930	0,728
2050	1897/1570	1798/1431	327	4,200	0,800
2060	2094/1740	1810/1456	354	4,500	0,872
2070	2292/1910	1838/1456	382	4,850	0,944
2080	2490/2080	1866/1456	410	5,170	1,016
2090	2689/2250	1895/1456	439	5,550	1,088
2100	2888/2420	1924/1456	468	5,880	1,160

Таблица 4

Расчетные параметры глобального потепления для четырех случаев прекращения антропогенных выбросов парниковых газов в атмосферу Земли

Год прекращения выбросов ПГ	Содержание антропогенных ПГ в атмосфере, 10^9 т CO_2 -экв.	Текущее антропогенное нагревание атмосферы, град.	Темп парникового нагревания атмосферы, $^\circ\text{C}/\text{год}$	Предельное парниковое нагревание атмосферы, град.	Год достижения стабилизации температуры
1980	615	0,50	0,0160	2,04	2076
2020	1304	1,20	0,0196	4,30	2164
2060	1802	2,26	0,0296	5,96	2184
2100	2888	3,92	0,0454	9,23	2217

Если бы человечество прекратило выбросы ПГ в 1980 г., то глобальное потепление от этого адаптивного шага не остановилось бы, а продолжалось в соответствии с графиком 2 на рис. 1, поскольку парниковые газы к этому времени не успели реализовать свой нагревательный потенциал. В этом гипотетическом случае декарбонизации термодинамическое равновесие в климатической системе наступило бы только в 2076 г. при общем нагревании земной атмосферы до $2,04\text{ }^{\circ}\text{C}$ (кривая 3 рис. 4).

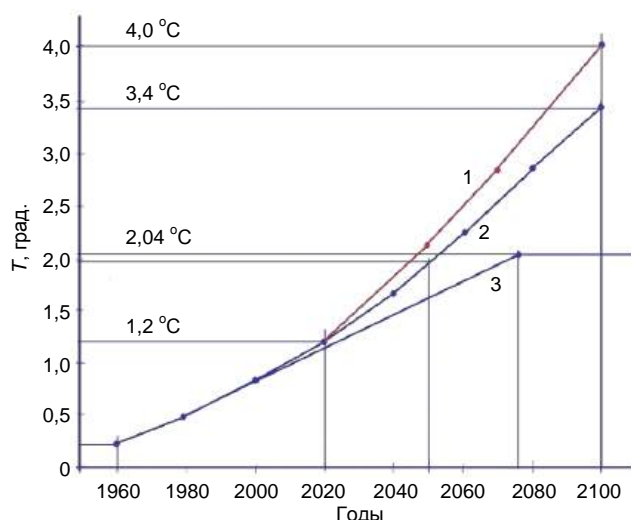


Рис. 4. Рост глобальной температуры от воздействия антропогенного парникового эффекта:

- 1 — при сохранении современного уровня глобальных выбросов парниковых газов; 2 — при достижении целей Парижского соглашения; 3 — при гипотетическом достижении углеродной нейтральности в 1980 г.

В настоящее время страны всего мира ставят перед собой амбициозные цели по достижению к 2050—2060 гг. углеродной нейтральности. В 2020 г. на диоксид углерода приходилось около 38 млрд т выбросов, из которых почти половина поглощается океаном и земной растительностью. Поэтому в исходных данных для расчета принималось следующее условие: для достижения углеродного баланса в системе выбросы—сток достаточно снизить глобальные выбросы CO_2 на 20 млрд т/год. В процессе выполнения подобной программы декарбонизации содержание CO_2 в атмосфере увеличится к 2060 г. до 1456 млрд т (см. табл. 3), общее содержание ПГ в атмосфере увеличится до $1810 \cdot 10^9$ т CO_2 -экв., а температура достигнет $2,26\text{ }^{\circ}\text{C}$. После достижения углеродной нейтральности в 2060 г. глобальное потепление будет продолжаться ещё 124 года, а средняя температура атмосферы достигнет $5,96\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Если человечество предпримет меры по стабилизации выбросов ПГ к 2100 г., то потепление будет происходить до 2217 г. с повышением глобальной температуры до $9,23\text{ }^{\circ}\text{C}$. Из рис. 4 видно, что предусмотренные Парижским соглашением меры позволят к 2100 г. снизить глобальное потепление примерно на $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, зато в будущем эти меры снизят потепление климата на $3,27\text{ }^{\circ}\text{C}$ (табл. 4).

Выводы

Спровоцированные глобальным потеплением мощные СМ-события (циклоны, ураганы, шторма) являются фактором положительной обратной связи, так как активизируют горизонтальный турбулентный перенос тепловой энергии, усиливая тем самым действие антропогенного парникового эффекта.

Можно предположить, что к настоящему времени пространственно-временной ресурс планеты Земля по формированию большего количества, чем 120 мощных СМ-событий, в год исчерпан. После 2000 г. климатическая система не расходует тепловой энергии на формирование дополнительных (сверх 120) мощных СМ-событий в год, а передает избыточную парниковую энергию действующим СМ-событиям, часть которых при периодичности появления 3 суток и средней продолжительности около 6 суток постоянно присутствует на Земле.

При рассмотрении процесса глобального потепления удобно пользоваться интегральным показателем q (см. (2)), характеризующим фактическую интенсивность передачи тепловой энергии парниковых газов климатической системе Земли.

В 2000 г. климатическая система принимала 18 % ($0,46\text{ Вт/м}^2$) мощности отраженной парниковыми газами радиации, а в 2010 г. увеличила свои возможности по переносу парниковой тепловой энергии по земной поверхности до 24 % ($0,70\text{ Вт/м}^2$) мощности отраженной радиации парниковых газов.

Повышение температуры атмосферы после 2010 г. является функцией массы накопленных выбросов парниковых газов и может быть рассчитано с помощью формулы глобального потепления (5).

В современных условиях на Земле потенциал одной тонны антропогенных ПГ по нагреванию атмосферы представляет собой константу $\Pi = 3,3 \times 10^{-12}$ град./т CO_2 -экв. В случае прекращения выбросов в атмосферу парниковых газов и достижения углеродной нейтральности время выхода климатической системы к равновесному термодинамическому состоянию определяется с помощью выражений (6) и (7).

При достижении целей Парижского соглашения атмосфера к 2060 г. нагреется до $2,26\text{ }^{\circ}\text{C}$. При этом в дальнейшем глобальное потепление продолжится вплоть до 2185 г., а атмосфера к тому времени нагреется до $6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Будыко М. И. Климат в прошлом и будущем. — М.: Гидрометеиздат, 1980.
2. Тетельмин В. В., Пимашков П. И. Биосфера и человек. Глобальное потепление. — М.: ЛИБРОКОМ, 2021. — 336 с.
3. Бажин Н. М. Метан в окружающей среде. — Новосибирск: СО РАН, 2010. — 56 с.
4. Иващенко О. В. Потепление климата — каким оно будет [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.poteplenie.ru/problem/oi-1-2.htm>
5. Пачаури Р. К., Мейер Л. А. (ред.) и др. Изменение климата, 2014 г.: обобщенный доклад. Вклад рабочих групп I, II и III в пятый оценочный доклад МГЭИК. — Женева. Швейцария: МГЭИК, 2014. — 44 с.
6. Силвер Дж. Глобальное потепление без тайн / Пер. с англ. — М.: Эксмо, 2009. — 336 с.

7. Тетельмин В. В. Современная энерго-климатическая история цивилизации // Гидротехника. 2021. № 3. С. 42—46.
8. Центр новостей ООН. www.un.org/russian/news
9. EM-DAT: The International Disaster Database (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters — CRED). University of Louvain, Brussels, Belgium. Version: 2020-06-15. <https://emdat.be>
10. Global Challenges Annual Report: GCF and Thought Leaders Sharing What You Need to Know on Global Catastrophic Risks 2017: <https://bit.ly/2Z6qC0x>.
11. IPCC. 2014 b. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds. C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken. Cambridge University Press, Cambridge. United Kingdom and New York, NY USA. — 1132 p.
12. Сидорова Л. П. Метеорология и климатология. Ч. 1. — Екатеринбург: ФГАО УВПО УрФУ, 2015. <http://www.urfu.ru>
13. Прандль Л. Гидроаэромеханика. — М.-Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика". 2002. — 572 с.

Anthropogenic greenhouse gas emissions and the global warming formula

V. V. TETELMIN

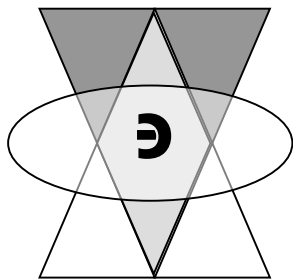
Friendship University of Russia, Moscow, Russia

The peculiarities of heat exchange in the system greenhouse gases—atmosphere—World Ocean were revealed. A "global warming formula" is proposed, which makes it possible to predict the average temperature of the atmosphere as a function of the mass of accumulated greenhouse gas emissions in it. A solution for calculating the "warming effect" time of greenhouse gases after the cessation of their emissions into the atmosphere is proposed.

Keywords: greenhouse gas emissions, greenhouse effect, global warming, climate system, triggered meteorological event, intensity of heat transfer.

Bibliography — 13 references.

Received October 12, 2021



Чрезвычайные ситуации, экологическая оценка и ликвидация их последствий

УДК 004.9

DOI: 10.52190/2073-2589_2021_4_53

Промышленно-экологическая и санитарно-эпидемиологическая безопасность: введение в проблему

С. Ю. ЯКОВЛЕВ, канд. техн. наук; А. С. ШЕМЯКИН

Институт информатики и математического моделирования — обособленное подразделение
ФГБУ науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр РАН»,
г. Апатиты, Мурманская область, Россия

Предложена информационная структура управления промышленно-биологической безопасностью, позволяющая проводить анализ и учёт неопределённости в управлении промышленно-биологической безопасностью, определять направления развития нормативно-методической базы, моделировать управляющие воздействия в сфере промышленно-биологической безопасности, разрабатывать и внедрять информационные технологии.

Ключевые слова: промышленная безопасность, расчёты риска.

В 2020 г. во многих крупных производственных комплексах сложилась сложная эпидемиологическая ситуация, связанная с распространением новой коронавирусной инфекции. Обеспечение промышленно-экологической безопасности в России и во всём мире столкнулось с относительно новым источником рисков. В связи с этим представляется актуальным обсуждение возникших проблем регулирования этого вида риска в контексте существующего законодательства и методологического обеспечения по техногенно-природной и биологической безопасности. Статья ориентирована на решение следующих задач:

- формирование понятийного, правового и методического поля комплексного обеспечения безопасности;
- разработка предложений по обеспечению комплексной безопасности крупных промышленных объектов;
- создание информационных технологий управления риском опасных производственных объектов.

Коронавирус на опасных производственных объектах

Ход развития вспышек коронавируса показал, что опасные производственные объекты, в особенности крупные промышленные комплексы, практикующие вахтовый метод, стали одним из очагов распространения инфекции. Приведём некоторые примеры, имея в виду большую неопределённость информации, связанную, во-первых, с объективными неточностями диагностики и моделирования развития заболевания, во-вторых, с субъективными искажениями данных со стороны руководства предприятий и региональных властей.

Одна из крупнейших вспышек коронавируса на промышленных предприятиях в России началась в середине апреля среди строителей объекта сжиженного природного газа для энергетического гиганта «НОВАТЭК» в посёлке Белокаменка Мурманской области. 6 апреля 2020 г. был зафиксирован первый случай COVID-19. Однако недостаточное внимание к этому факту со стороны руководства объекта быстро привело к тому, что уже через месяц число заболевших выросло примерно до 2000 работников [1], что потребовало применения чрезвычайных мер. В частности, для сдерживания дальнейшего распространения заболевания на промплощадке и за её пределами инфицированных необходимо было помещать в

Яковлев Сергей Юрьевич, старший научный сотрудник.

E-mail: yakovlev@iimm.ru

Шемякин Алексей Сергеевич, младший научный сотрудник.

E-mail: shemyakin@iimm.ru

Статья поступила в редакцию 2 июня 2021 г.

© Яковлев С. Ю., Шемякин А. С., 2021

соответствующие обсерваторы. Однако региональные учреждения здравоохранения не смогли разместить такое большое число пациентов. В силу этого обстоятельства 12 апреля администрация Кольского района ввела режим чрезвычайной ситуации в Белокаменке, что означало невозможность покинуть населённый пункт и въехать в него [2]. Некоторая сложность с закрытием Белокаменки заключалась в том, что строительство на промплощадке ведётся вахтовым методом и у рабочих заканчивались сроки смен. Новых рабочих на площадку не завозили, а отработавшие смены выводили чартерными рейсами за пределы Мурманской области с последующим размещением в обсерваторах на период 14 дней [3]. Кроме того, было решено организовать временный обсерватор в Белокаменке. Первоначально для этих нужд использовали круизный лайнер "Принцесса Анастасия" [4], позднее федеральными силами МЧС на территории промплощадки был возведён временный полевой госпиталь для тяжёлых больных [5]. Спустя примерно месяц с момента выявления первого заболевшего COVID-19 эпидемиологическая ситуация в Белокаменке стабилизировалась [6]. Всего на сегодняшний день выявлено около 2500 инфицированных.

Подобные срочные и затратные меры с закрытием населённого пункта для въезда, выезда и организацией карантина пришлось предпринимать и в Красноярском крае. На одном из золотодобывающих предприятий компании "Полюс" в посёлке Еруда [7] на Олимпиадинском ГОКе коронавирусом заразились более 10 % от общей численности персонала.

Хотя COVID-19 вносит существенные коррективы, деятельность крупных предприятий, как правило, не прекращается. Однако вспышки вирусной инфекции могут приводить и к более серьёзным последствиям. Так, из-за коронавируса компании "Алроса" пришлось останавливать работу своих дочерних предприятий: с апреля до конца лета были остановлены подразделения по оранке алмазов [8], а в июне пришлось приостановить работу рудника "Интернациональный" на несколько недель [9].

Также следует учитывать, что введение чрезвычайных мер в условиях недостаточной информированности населения и персонала может приводить к нежелательным социальным последствиям. Так, на Чаяндинском месторождении, эксплуатируемом ПАО "Газпром", рабочие организовали стихийный митинг, возмущившись недостатком информации о результатах тестирования на коронавирус [10].

В свою очередь, введение своевременных карантинных мер позволяет в кратчайшие сроки локализовать вспышку и остановить распространение инфекции. Семнадцатого апреля в Змеиногорском районе Алтайского края на Корбалихинском руднике АО "Сибирь-Полиметаллы" был выявлен первый заболевший коронавирусом, и уже через месяц число заболевших увеличилось до 245 человек. Однако оперативные меры по сдерживанию распространения инфекции и локализации очага, предпринятые по решению губернатора, позволили в конечном итоге снять карантинные ограничения в довольно короткие сроки — уже 21 мая [11].

Резюмируя сказанное, отметим, что опасные производственные объекты, в особенности крупные промышленные комплексы, практикующие вахтовый метод, являются одним из очагов распространения инфекции.

Рассмотрим вопросы нормативно-методического обеспечения техногенно-экологической и эпидемиологической безопасности на промышленных предприятиях.

Нормативно-правовое обеспечение комплексного управления безопасностью

Власти и руководство промышленных предприятий для сдерживания коронавирусной инфекции действуют в рамках существующего законодательства РФ, которое предусматривает необходимость учитывать подобные риски. Анализ релевантной нормативно-правовой базы позволил сосредоточиться на трёх основных направлениях (блоках) регулирования комплексной безопасности производственных объектов:

- промышленно-экологическая безопасность;
- санитарно-эпидемиологическая безопасность;
- защита от разнородных ЧС.

В настоящем исследовании основное внимание уделялось правовым документам высокого уровня (федеральные законы, постановления правительства РФ). Далее рассмотрим указанные нормативные блоки на примере наиболее важных федеральных законов. Законодательство по промышленной безопасности является основным регулятором для производственных объектов, относящихся к категории опасных.

Один из важнейших и исходных актов — федеральный закон "О промышленной безопасности..." (116-ФЗ) [12]. В нём указывается, что требования промышленной безопасности должны среди всего прочего соответствовать нормам санитарно-эпидемиологического благополучия населения (ст. 3, п. 2 116-ФЗ).

В тексте другого важного федерального закона "О техническом регулировании" (184-ФЗ) [13] много внимания уделено вопросам здравоохранения, санитарии, биологической безопасности. Однако он не регулирует отношения, связанные с санитарно-эпидемиологическими требованиями (ст. 1, п. 4 184-ФЗ).

Основной представитель блока санитарно-эпидемиологической безопасности — федеральный закон "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" (52-ФЗ) [14]. В нём вводятся такие понятия, как санитарно-эпидемиологическая обстановка, гигиенический норматив, санитарно-эпидемиологические требования, социально-гигиенический мониторинг, санитарно-эпидемиологический надзор, санитарно-противоэпидемические (профилактические) мероприятия, ограничительные мероприятия (карантин), инфекционные заболевания (ст. 1 52-ФЗ). Среди норм обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия указаны:

- профилактика заболеваний в соответствии с санитарно-эпидемиологической обстановкой и прогнозом ее изменения;

- выполнение санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий и соблюдение санитарных правил;
- санитарно-эпидемиологическое нормирование и надзор;
- социально-гигиенический мониторинг (ст. 2, п. 1 52-ФЗ).

Перейдём к блоку защиты от чрезвычайных ситуаций (ЧС). Основной федеральный закон здесь — "О защите населения..." (68-ФЗ) [15]. Дается определение ЧС, причём в перечне видов ЧС присутствует в том числе распространение заболевания, представляющего опасность для окружающих (ст. 1 68-ФЗ). В качестве системы управления в ЧС указана единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС), включающая органы управления, силы и средства различных уровней: федерального, регионального, муниципального, а также силы и средства организаций (ст. 4 68-ФЗ). Координационными органами РСЧС являются комиссии различного уровня (ст. 4_1, п. 2 68-ФЗ). Органы власти в пределах своих компетенций разрабатывают (или организуют разработку) и утверждают планы действий в чрезвычайных ситуациях соответствующего уровня (ст. 11 68-ФЗ).

В последнее время в рамках этого направления был принят ряд актов. Сошлёмся для примера на распоряжение [16].

Таким образом, в рамках темы данной статьи российское законодательство в сфере борьбы с различными ЧС можно представить тремя основными блоками и курирующими ведомствами. Это регулирование в сфере:

- промышленной безопасности (основные ведомства — МЧС России, Ростехнадзор);
- санитарно-эпидемиологического благополучия (Минздрав, Роспотребнадзор — Санэпиднадзор);
- защиты от техногенно-природных ЧС (МЧС России).

Интегрирующую роль играет третий блок. Он охватывает наиболее широкий круг ЧС, включающий борьбу с эпидемиями.

Основным планирующим нормативным документом является план действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ПДЧС, подробнее о нём будет сказано далее).

Отметим важный Указ [17], утверждающий порядок действий органов власти по предупреждению ЧС, связанных с опасными инфекционными заболеваниями. В частности, указ предписывает Правительству РФ в 3-месячный срок разработать и утвердить единый алгоритм межведомственного и межрегионального взаимодействия по предупреждению угрозы возникновения таких ЧС. Образуется Координационный совет при Правительстве РФ, который по представлению Роспотребнадзора может создавать оперативный штаб по предупреждению указанных ЧС. Оперативный штаб разрабатывает и утверждает план мероприятий по предупреждению распространения на территории РФ опасных инфекционных заболеваний. При возникновении угрозы Роспотребнадзор устанавливает один из трёх уровней риска. Для каждого уровня предусмотрены действия министерств и ведомств.

Методическое обеспечение комплексного управления безопасностью

Рассмотрим основные методические материалы в соответствии с обозначенными законодательными блоками. Методическая и программно-алгоритмическая база по промышленно-экологической безопасности достаточно хорошо известна и описана. В качестве методической основы для оценки риска опасных производственных объектов, охватывающей широкий круг ЧС, рассмотрим "Единую межведомственную методику..." (ЕМ-2004) [18]. Выделим аспекты ЕМ-2004, связанные с темой статьи.

Формулируется понятие ущерба, приводятся его виды в зависимости от объекта воздействия. Например, это ущерб жизни и здоровью, социально-экономической системе, государству, природе и т. д. При этом декларируется, что определение экономического ущерба вторично по отношению к физическому ущербу. При анализе физического ущерба в том или ином виде моделируются процессы возникновения и развития ЧС [18].

Определяющими факторами ущерба являются интенсивность ЧС, способность сопротивляться этому воздействию, а также защищённость людей от поражающих факторов ЧС. Отмечается, что различные виды ущерба несводимы друг к другу и должны учитываться отдельно. В ЕМ-2004 указывается, что оценке подлежит максимальный ущерб, возможный при заданных параметрах ЧС. Дается определение индивидуального, социального, социально-экономического риска. Оценка риска на территории может включать расчёт возможного числа погибших, пострадавших и потенциальных экономических потерь, связанных с действием ЧС.

В ЕМ-2004 приводится укрупнённая классификация чрезвычайных ситуаций, которой рекомендуется пользоваться при анализе и прогнозировании ущерба от ЧС. По теме данной статьи из этой классификации можно выделить биолого-социальные ЧС: инфекционные заболевания людей и животных, поражение растений болезнями и вредителями, прочие биолого-социальные ЧС. Таким образом, методика ЕМ-2004 потенциально охватывает разнородные ЧС, включая эпидемии, и даёт методическую основу для анализа риска, в том числе и биолого-социальных ЧС.

Как следует из сказанного ранее, основным планирующим нормативным документом при анализе риска ЧС является ПДЧС. В работе [19] рассмотрено информационное обеспечение ПДЧС, описаны нормативно-методическая база и основные разделы документа, даны примеры разработки. Однако основное внимание в [19] уделено чрезвычайным ситуациям техногенного характера. Рассмотрим теперь ПДЧС с точки зрения возможности охвата биолого-социальных ЧС, связанных с инфекционными заболеваниями людей. Общая структура ПДЧС инвариантна по отношению к характеру ЧС и потому вполне применима для описания биолого-социальных ЧС, в частности эпидемий. Что касается наполнения разделов документа, в них следует уделить повышенное внимание факторам, важным для возникновения и развития эпидемий.

Разделы ПДЧС, посвящённые анализу опасностей и рисков, показаны на (рис. 1).

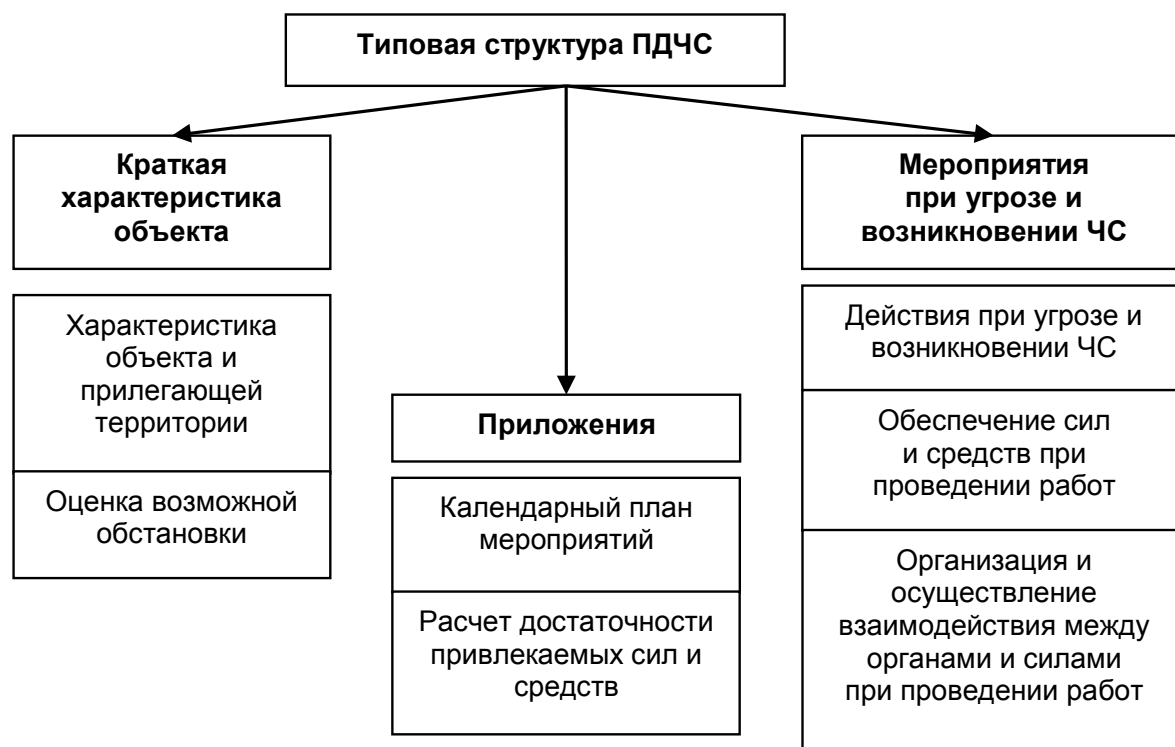


Рис. 1. Типовая структура ПДЧС

Характеристика объекта и прилегающей территории выполняется в том числе с точки зрения санитарно-эпидемиологических особенностей. Причины и факторы возникновения, возможные сценарии ЧС также включают в себя рассмотрение биолого-социальных ЧС. Приводятся данные об эпидемиях на аналогичных объектах.

Планирование действий органов управления и аварийно-спасательных (санитарных) формирований осуществляется для различных сценариев и стадий развития инфекционных заболеваний. В том числе планируются ограничительные мероприятия (обсервация, карантин), возможности (при необходимости) разворачивания дополнительных медицинских мощностей (мобильные или полевые госпитали).

Для различных сценариев развития эпидемий формируются календарные планы действий, производится расчёт достаточности сил и средств.

Анализ нормативно-методической базы разработки ПДЧС [20, 21] показывает, что рассмотрение биолого-социальных ЧС можно произвести в рамках этого документа.

Важную роль при планировании мероприятий по сдерживанию эпидемий играют расчётные модели и основанные на них прогнозы развития чрезвычайных ситуаций. В зарубежных научных журналах можно найти довольно большое количество публикаций, связанных с моделированием развития эпидемий в целом и коронавируса в частности. Например, в работе [22] описана нейродинамическая модель распространения коронавирусной инфекции в популяции из 1000 человек со случайными социальными связями. Также можно отметить [23], где исследователи рассматривают распространение инфекции в одном из регионов Италии и предлагают соответствующие модели развития эпидемии.

Итак, в качестве основного планирующего документа можно сохранить ПДЧС, дополнив его вопросами анализа санитарно-эпидемиологических опасностей.

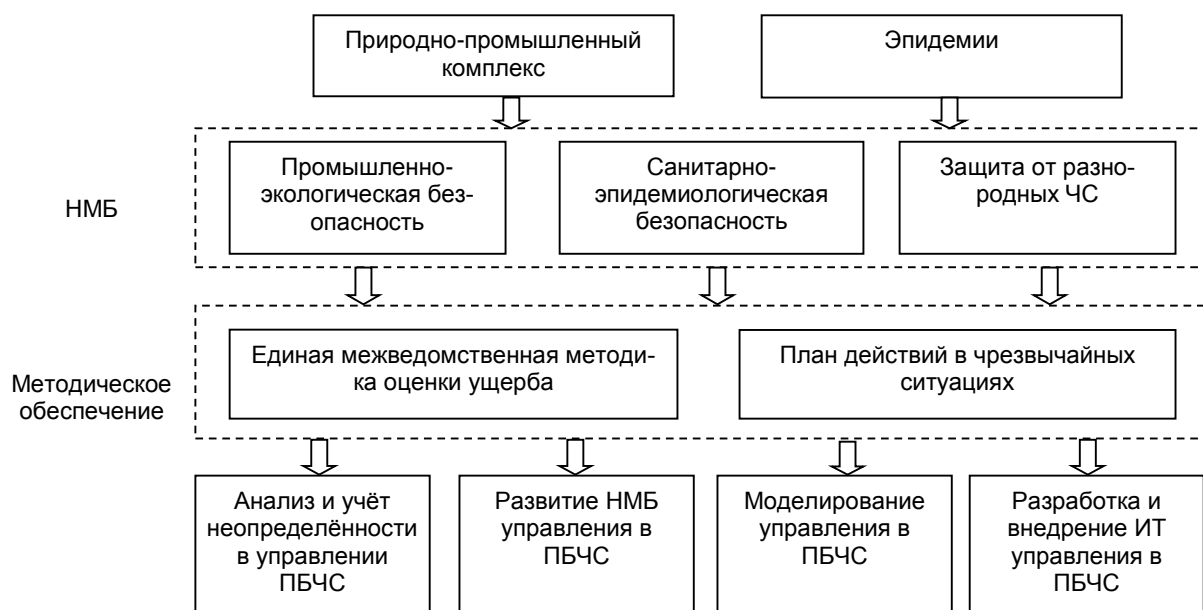
Заключение

Обеспечение комплексной безопасности крупных промышленных объектов с учётом возможности распространения инфекционных заболеваний (эпидемий) представляет собой относительно новую и сложную междисциплинарную научно-техническую проблему. Опасные производственные объекты, в особенности крупные промышленные комплексы, практикующие вахтовый метод, явились одним из очагов распространения коронавирусной инфекции.

В первом приближении в качестве нормативно-методической базы борьбы с эпидемиями на промышленных предприятиях может быть принят блок защиты от разнородных ЧС (курирующее ведомство — МЧС России). Методика ЕМ-2004 [18] может рассматриваться как основа для комплексной оценки риска опасных производственных объектов. Она охватывает разнородные ЧС, включая эпидемии, и даёт методическую основу для анализа, в том числе биолого-социальных ЧС.

В качестве основного планирующего документа может быть принят план действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций, дополненный вопросами анализа санитарно-эпидемиологических опасностей.

Информационная структура управления промышленно-биологической безопасностью приведена на рис. 2.



НМБ — нормативно-методическая база;
 ЧС — чрезвычайные ситуации;
 ИТ — информационные технологии;
 ПБЧС — промышленно-биологические чрезвычайные ситуации

Рис. 2. Информационная структура управления промышленно-биологической безопасностью

Основными направлениями продолжения и развития исследований на данном этапе представляются:

- анализ, оценка и учёт неопределённости как неотъемлемой и изначально присущей особенности предметной области;
- развитие нормативно-методической базы управления безопасностью промышленно-природных комплексов в биолого-социальных ЧС;
- изучение возможности применения существующих и/или разработка новых моделей управления для биолого-социальных ЧС;
- разработка и внедрение комплексных информационных технологий управления в промышленно-природно-социальных ЧС.

Работа выполнена в рамках темы госзадания № 0226-2019-0035 "Модели и методы конфигурирования адаптивных многоуровневых сетевых систем управления региональной безопасностью в Арктической зоне Российской Федерации".

ЛИТЕРАТУРА

1. Суслова Л. Рабочие болеют, стройка идет. Вспышка коронавируса не остановила стройку "НОВАТЭКа" [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mbk-news.appspot.com/suzhet/rabochie-boleyut-strojka-idet/> (дата обращения: 05.10.2020).
2. Лобанова Н. Ситуация с коронавирусом в Мурманске: в Междуречье введен режим чрезвычайной ситуации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.murmansk.kp.ru/daily/27116/4196539/> (дата обращения: 05.10.2020).
3. Почти 200 зараженных коронавирусом выявлено за сутки в вахтовом городке в Белокаменке [Электронный ресурс]. Режим

доступа: <https://www.interfax.ru/russia/705989> (дата обращения: 05.10.2020).

4. Для борьбы с COVID-19 в мурманскую Белокаменку направили круизный лайнер [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.interfax.ru/russia/706981> (дата обращения: 05.10.2020).

5. Салеева Л. Мобильный госпиталь МЧС в Белокаменке посетил губернатор Мурманской области Андрей Чибис [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mvestnik.ru/newslet/mobilnyj-gospital-mchs-v-belokamenke-posetil-gubernator-murmanskoy-oblasti-andrej-chibis/> (дата обращения: 05.10.2020).

6. Медики заявили о преодолении пика вспышки COVID-19 в мурманской Белокаменке [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.dp.ru/a/2020/05/16/Mediki_zajavili_o_preodole (дата обращения: 05.10.2020).

7. Минобороны перебросило военных на север Красноярского края из-за вспышки COVID-19 на золоторудном месторождении [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://novayagazeta.ru/news/2020/05/18/161544-minoborony-perebrosilo-voennyh-na-sever-krasnoyarskogo-kraya-iz-za-vspyshki-na-zolotorudnom-mestorozhdenii> (дата обращения: 05.10.2020).

8. АЛРОСА приостановила огранку алмазов до конца лета на фоне пандемии [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rbc.ru/business/29/04/2020/5ea8534e9a794741dad20d1a> (дата обращения: 05.10.2020).

9. АЛРОСА остановила добычу на одном из рудников из-за вспышки коронавируса [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rbc.ru/business/25/06/2020/5ef466259a7947a41a5d3fac> (дата обращения: 05.10.2020).

10. Бунт на Чаянде. Ситуация на месторождении "Газпром добыча Ноябрьск" выходит из-под контроля "генерала" Крутикова? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.yamalpro.ru/2020/04/28/bunt-na-chayande-situatsiya-na-mestorozhdenii-gazprom-dobyicha-noyabrsk-vyihodit-iz-pod-kontrolya-general-a-krutikova/> (дата обращения: 05.10.2020).

11. В Алтайском крае после 27 суток сняли режим карантина с целого района [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ria.ru/20200521/1571772855.html> (дата обращения: 05.10.2020).

12. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" (с изменениями на 29 июля 2018 года).

13. Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ "О техническом регулировании" (с изменениями на 28 ноября 2018 года).

14. Федеральный закон от 30.03.1999 № 52-ФЗ "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" (с изменениями на 13 июля 2020 г.).

15. Федеральный закон от 21.12.1994 № 68-ФЗ "О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера" (с изменениями на 23 июня 2020 г.).

16. Распоряжение Правительства РФ от 18.09.2020 № 2390-р "Об утверждении Стратегии развития иммунопрофилактики инфекционных болезней на период до 2035 года".

17. Указ Президента РФ от 4 января 2021 г. № 12 "Об утверждении Порядка действий органов публичной власти по предупреждению угрозы возникновения ЧС, связанных с заносом на территорию РФ и распространением на территории РФ опасных инфекционных заболеваний".

18. Единая межведомственная методика оценки ущерба от чрезвычайных ситуаций техногенного, природного и террористического характера, а также классификации и учета чрезвычайных ситуаций. — М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2004.

19. Яковлев С. Ю., Шемякин А. С. Планирование действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций // Труды

Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. 2015. Вып. 6. № 3(29). С. 94—102.

20. Постановление Правительства РФ от 30.12.2003 № 794 "О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций" (с изменениями на 2 апреля 2020 г.).

21. Методические рекомендации по планированию действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций, а также мероприятий гражданской обороны для территорий и объектов. Утв. заместителем министра Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий 18 августа 2003 г.

22. Ilias N. Lympelopoulou. #stayhome to contain Covid-19: Neuro-SIR — Neurodynamical epidemic modeling of infection patterns in social networks // Expert Systems with Applications. 2021. V. 165.

23. Viguier A. et al. Simulating the spread of COVID-19 via a spatially-resolved susceptible–exposed–infected–recovered–deceased (SEIRD) model with heterogeneous diffusion // Applied Mathematics Letters. 2021. V. 111.

Industrial-environmental and sanitary-epidemiological safety: an introduction to the problem

S. Yu. YAKOVLEV, A. S. SHEMAKIN

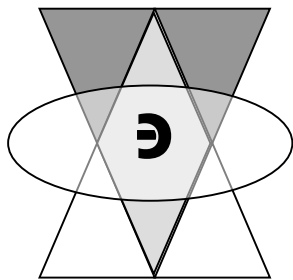
Institute for Informatics and Mathematical Modeling — Subdivision of the Federal Research Centre "Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences",
Apatity, Murmansk region, Russia

Informational structure for industrial-biological safety management is proposed, which makes it possible to analyze and take into account uncertainty in industrial biological safety management, to determine development directions of regulatory and methodological base, to model control actions in the field of industrial-biological safety, to develop and implement information technologies.

Keywords: industrial safety, risk assessment.

Bibliography — 23 references.

Received June 2, 2021



Экологически безопасные технологии

УДК 62-523.8; 62-529
DOI: 10.52190/2073-2589_2021_4_59

Роботизированное транспортное средство с минимальным воздействием на окружающую среду

Р. С. ФЕДОТКИН, канд. техн. наук; **Н. И. ДЕГТЯРЕВ**; **К. С. ДМИТРИЕВ**;
А. С. ОВЧАРЕНКО

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

Приведена разработка роботизированного транспортного средства с гусеничным ходом. Описаны его устройство, алгоритмы управления и области возможного применения. Также приведен обзор изделий — аналогов разрабатываемому техническому средству. Проведен анализ отечественных наработок в этой области. Показаны основные направления, в которых используются подобные разработки.

Ключевые слова: экологическая безопасность, роботизация, ликвидация чрезвычайных ситуаций, сельское хозяйство, электротранспорт.

Современные реалии однозначно указывают на невозможность игнорирования экологических аспектов во всех сферах деятельности человечества. В число важных задач входят минимизация негативного воздействия на окружающую среду, мониторинг потенциально опасных объектов, предупреждение и устранение последствий природных и техногенных катастроф. Отдельно стоит отметить, что участие людей для решения поставленных задач зачастую затруднено и нередко опасно для жизни. Одно из решений — использование роботизированной техники, работающей при помощи дистанционного управления или полностью автономно. Разработка роботизированного транспортно-технологического средства (РТТС) направлена на создание многофункционального инструмента для экологически эффективного ведения сельского хозяйства, участия в ликвидации катастроф, работы в поисково-спасательных отрядах.

Основная часть

В соответствии с техническим заданием в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ был разработан и изготовлен экспериментальный образец РТТС (рис. 1), предназначенный для выполнения широкого спектра задач. Данная разработка является одним из этапов разработки малогабаритных роботизированных транспортно-технологических средств [1].



Рис. 1. Общий вид РТТС

В первую очередь изделие предназначено для транспортировки материалов и продукции в сельскохозяйственном производстве, а также для выполнения вспомогательных работ по доставке инструментов и оборудования на предприятиях отрасли.

Федоткин Роман Сергеевич, ведущий научный сотрудник.

E-mail: frs89@bk.ru

Дегтярев Николай Игоревич, инженер.

E-mail: nikidegtiareff@yandex.ru

Дмитриев Кирилл Сергеевич, инженер.

E-mail: kir0597@yandex.ru

Овчаренко Александр Сергеевич, научный сотрудник.

E-mail: peterbilt@list.ru

Статья поступила в редакцию 11 октября 2021 г.

© Федоткин Р. С., Дегтярев Н. И., Дмитриев К. С.,
Овчаренко А. С., 2021

В селекции оно может быть использовано на транспортировке контейнеров с сельскохозяйственной продукцией от комбайна на склад, на перевозке снопов на обмолот с селекционного участка до селекционного центра, на работах в хранилищах и складах.

Обеспечение экологической безопасности сельскохозяйственных операций происходит за счет применения автоматизированного электропривода и гусеничной ходовой системы. Исключено непосредственное участие человека в технологических процессах. Всесезонность, повышенная проходимость и минимальное уплотняющее воздействие на почву также являются одними из важнейших преимуществ РТТС.

На данный момент компоновка РТТС представлена в виде гусеничного электрического транспортного средства с асинхронным электроприводом и системой дистанционного управления по радиосигналу. Также он оснащен солнечной батареей, позволяющей частично производить подзарядку во время работ.

Общие характеристики экспериментального образца приведены в таблице.

Общие технические характеристики РТТС

Показатель	Значение
Длина, мм	1800
Ширина, мм	1000
Высота, мм	910
База, мм	1520
Дорожный просвет, мм	182
Колея, мм	670
Наименьший радиус поворота, м	0,5
Сухая масса, кг	250
Грузоподъемность, кг	200
Ширина резиноармированной гусеницы, мм	220
Двигатели	Электрические
Мощность, кВт (л. с.)	1,5 (2)·2
Номинальное напряжение, В	220
Число аккумуляторов	4
Тип аккумулятора	Тяговый, свинцово-кислотный
Заявленное время работы на одной зарядке аккумуляторов, ч	До 5
Скорость движения в транспортном режиме, км/ч	До 8

Исполнительные механизмы, приводящие в движение изделие, подобраны исходя из основных требований технического задания по параметрам тяговой мощности, ресурсоемкости, скорости перемещения, общим габаритным характеристикам и т. д. Компоновка спроектирована с учетом требуемой развесовки, а также удобства обслуживания и замены элементов испытываемого образца РТТС. Проектирование компоновок беспилотных роботизированных средств — одна из важнейших тем в разработке как

наземных, так и воздушных беспилотных аппаратов [2—4].

На рис. 2 приведена компоновка исполнительных механизмов машины.

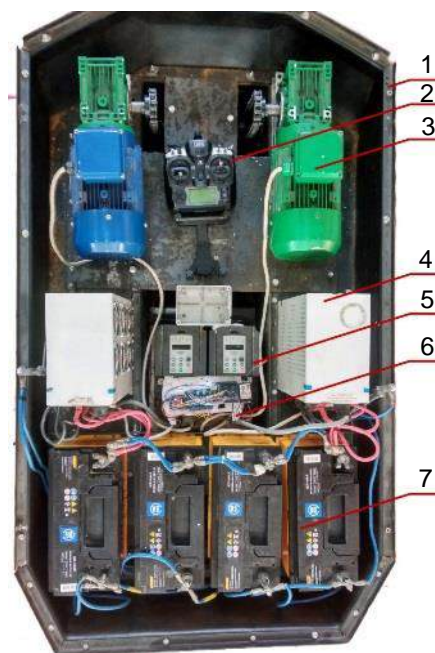


Рис. 2. Компоновка исполнительных механизмов РТТС:

1 — корпус; 2 — пульт управления; 3 — электродвигатель с редуктором; 4 — инвертор; 5 — частотные преобразователи; 6 — блок управления; 7 — блок АКБ

Одной из основных задач создания изделий с удаленным или автоматизированным управлением является разработка программно-аппаратной базы, состоящей из модулей управления непосредственным изделием, модуля передачи данных, а также программного обеспечения для связывания всех систем в единый комплекс (рис. 3). Свою разработку программного обеспечения для беспилотных наземных роботизированных систем на базе Arduino Uno © представили на конференциях исследователи из разных стран [5, 6].

Данная схема реализована на РТТС и приводится в действие пультом управления (джойстик). Функция управления выглядит следующим образом. При воздействии на джойстик пульта дистанционного управления уходит сигнал на приемник, в свою очередь, отправляющий сигнал контроллеру, который обрабатывает его и посылает сигнал релейному модулю на включение одной пары реле, замыкающих цепь внешнего управления частотного преобразователя на движение вперед или назад. В это же время контроллер дает два управляющих сигнала на драйвер. После преобразования сигнал задает частоту преобразователю. В случае потери сигнала с пульта управления контроллер отключает подачу управляющего сигнала на релейный модуль, происходит полная остановка для обеспечения безопасности. Для реализации работоспособности разработана и испытана электрическая схема, показанная на рис. 4.

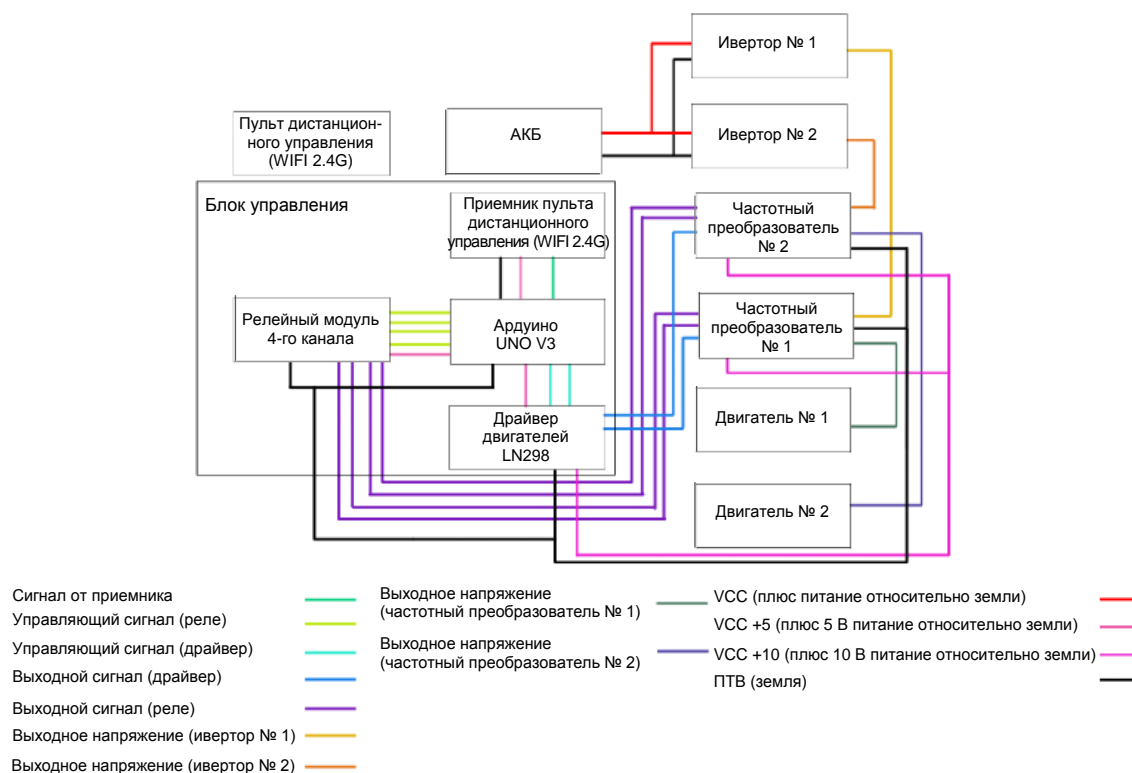


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема РТТС

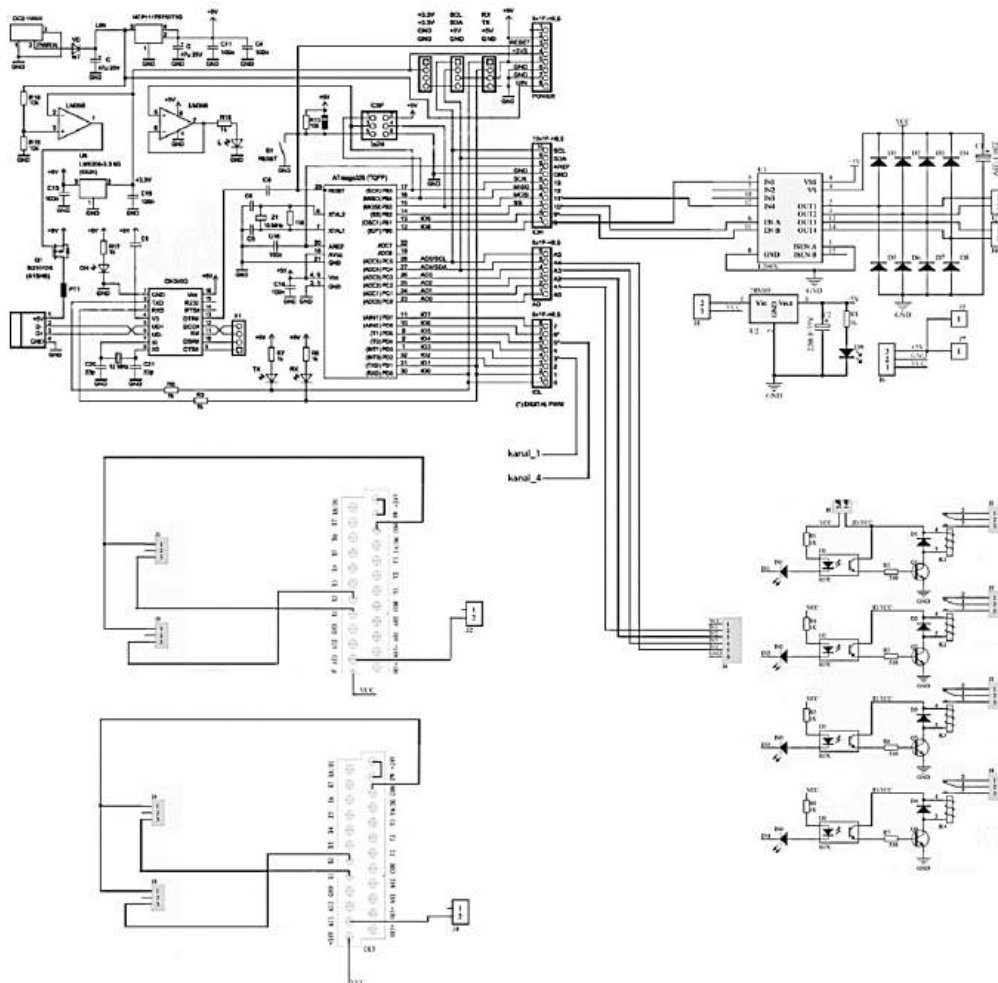


Рис. 4. Электрическая схема РТТС

Аналогичными разработками гусеничных роботизированных машин занимаются по всему миру. В России разработки такого высокоомобильного устройства ведутся для решения разнообразных задач. К одним из основных задач можно отнести пожаротушение, разбор завалов и ведение удаленной инспекции труднодоступных мест [7, 8].

Так, на вооружение пожарной охраны и МЧС России были поставлены следующие образцы техники.

Мобильная роботизированная установка пожаротушения МРУП-СП-Г-ТВ-У-40-17КС (рис. 5).



Рис. 5. Мобильная роботизированная установка пожаротушения МРУП-СП-Г-ТВ-У-40-17КС

Установка создана для эффективного выполнения оперативных задач по тушению пожара в местах, где невозможно применить обычные устройства и методы. Это автодорожные и железнодорожные туннели, крытые станции, крупные подземные автостоянки, электростанции, места массовых перевозок при обрушении горных пород, станции метро. Применение такого мобильного устройства позволяет в короткие сроки взять возгорание под контроль, минимизировав при этом участие пожарных подразделений. Роботизированная установка — маневренная, обладает высокой прочностью, способна работать в условиях экстремально высоких температур [9].

По прямой местности установка передвигается со скоростью 10 км/ч. Для перемещения по лестницам или склонам она имеет систему гусеничного хода. Обладает техническим зрением от 300 м. Устройство способно бесперебойно работать в течение 8 ч.

Для обеспечения интеграции и координации силового привода применяют промышленный дизельный двигатель, мощность которого составляет 140 л.с. (104 кВт). Благодаря ему быстро перемещается сама установка, эффективно работает мощный вентилятор и происходит генерирование водяного тумана с высокой охлаждающей способностью. Дополнительная мощность может быть использована в качестве внешнего источника мощности для других применений.

РТК пожаротушения среднего класса РТС ЕЛЬ-4 (рис. 6). РТС ЕЛЬ-6 представляет собой мобильное устройство, которое предназначено для проведения аварийно-спасательных мероприятий в зоне пожара, а также специальных работ (разборка конструкций) для более быстрого доступа к очагу возгорания. Этот комплекс активно используют при авариях на местности, где расположены опасные для здоровья спа-

сателей производства: атомные, химические и нефтяные объекты.



Рис. 6. Робототехнический комплекс ЕЛЬ-4

Данное техническое средство развивает скорость без препятствий до 10 км/ч. Оно имеет дизельный двигатель мощностью 175 л.с. Тушение крупных пожаров обеспечивает вместительная емкость резервуара — до 2000 кг. Водяная пушка имеет дальность 70 м (вода) и 50 м (пена). ЕЛЬ-4 имеет гидравлический схват, с помощью которого перемещает грузы массой до 500 кг. Расчистка местности осуществляется специальным бульдозерным ножом [10].

Управление комплексом осуществляется дистанционно по радиоканалу с ПДУ. Оператор, используя установленные на работе видеокamеры, способен осуществлять мониторинг местности до 2000 м.

Мобильный робототехнический комплекс РТК Telemax (рис. 7).



Рис. 7. Мобильный робототехнический комплекс РТК Telemax

Этот радиоуправляемый комплекс служит для обеспечения визуальной разведки труднодоступных территорий. Его главные задачи:

- поиск и ликвидация взрывоопасных предметов;
- разведка местности;
- перемещение грузов (подъем до 100 кг, буксировка до 300 кг);
- замена человека в опасных для жизни и здоровья условиях.

Он имеет вес около 375 кг, что позволяет ему перемещаться со скоростью 3 км/ч. Оснащен электроприводом и гусеничным шасси. Это помогает успешно преодолевать неровные поверхности с уклоном в 45°, а также брод с глубиной до 300 мм

Комплекс Telemax укомплектован 4 обзорными камерами с подсветкой, с помощью контрольной панели осуществляется управление, ее вес 9 кг [11].

Многофункциональный робот МРК-35 (рис. 8).



Рис. 8. Многофункциональный робот МРК-35

Это мобильное автономное устройство используется в подразделениях МЧС. Оно предназначено для оперативного выполнения следующих задач:

- визуальная разведка открытой местности;
- наблюдение и контроль территории в условиях химического, бактериологического, радиационного заражения;
- осуществление аварийно-спасательных работ в опасных условиях;
- перемещение грузов весом до 40 кг;
- выявление взрывоопасных предметов, их ликвидация или транспортировка.

Робот оснащен микрофоном, цветными видеокамерами и системой освещения. Радиус действия антенны составляет 200 м (по кабелю) и до 500 м (по радиоканалу).

Гусеничное шасси позволяет делать развороты, преодолевать небольшие препятствия и уклоны до 25°. Вес робота 320 кг. Скорость передвижения — не более 2,3 км/ч. В автономном режиме выполнять оперативно свои задачи устройство способно до 4 ч [12].

Заключение

В результате выполнения работы создан образец РТТС с электронной системой управления движением. Разработана программно-аппаратная часть управления машиной. Проведены тяговые испытания РТТС, в ходе которых выявлены и устранены некоторые конструктивные недоработки.

Приведенные в обзоре аналогов разработки подтверждают увеличение интереса и рост потребности в подобных изделиях. Выделенные отрасли приме-

нения машин, как ни одна другая отрасль, нуждаются в замещении человека роботом. При замене человека на роботизированную единицу полностью исчезает риск потери его жизни.

Вместе с тем и в менее опасных сферах, таких, как сельское хозяйство и надзор за природными и экологически значимыми объектами, требуется применение роботизированных систем. Автоматизация множества работ в данной сфере приведет к улучшению качества сельскохозяйственной продукции, а также к повышению внимания к тем аспектам экологии на местности, к которым без применения роботов человеку невозможно его обратиться.

ЛИТЕРАТУРА

1. Измайлов А. Ю., Дорохов А. С., Федоткин Р. С., Крюков В. А., Овчинников Е. В., Уютов С. Ю., Овчаренко А. С., Кузьмин В. А. О разработке двухзвенного малогабаритного роботизированного транспортно-технологического средства // Инновации в сельском хозяйстве. 2020. № 1(34). С. 4—14.
2. Hu Y. Z., Zhang F. B., Tian T., Ma D. W. Placement optimization method for multi-UAV relay communication // Iet communications. 2020. № 14(6). P. 1005—1015.
3. Pessacq F., Nitsche M., Teijeiro A., Martin D., De Cristoforo P. Open-source embedded framework for Unmanned Ground Vehicle control using CIAA: Eight Argentine symposium and conference on embedded systems (case). 2017. P. 35—40.
4. Mandal S., Saw S. K., Maji S., Das V., Ramakuri S. K., Kumar S. Low cost arduino wifi bluetooth integrated path following robotic vehicle with wireless gui remote control: International conference on information communication and embedded systems (ices). 2016. P. 1—5.
5. Алешков М. В., Цариченко С. Г., Холостов А. Л., Гусев И. А. Обеспечение пожарной безопасности объектов энергетики путем разработки и применения мобильной робототехники пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность. 2018. № 9(27). С. 35—49.
6. Цариченко С. Г. Экстремальная робототехника в МЧС России — задачи и перспективы // Bezpieczenstwo i technika pozarownicza. 2012. № 1(28). С. 97—105.
7. Nizamov R. A., Fedorov E. Y., Ferenets A. V. Placing the Elements and Structural Assemblies of Electrical Equipment of an UAV: International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). 2018. DOI: 10.1109.fareastcon.2018.8602736
8. Fedorov E., Tereshchuk V., Ferenetz A. Technique of computer-aided design of power supply system of vehicles // J. Engineering and Applied Sciences. 2015. № 10(5). P. 110—117. DOI: 10.36478 / jeasci.2015.110.117
9. Передриенко Д. Мобильная роботизированная установка пожаротушения МРУП — фотодетализация: ВПС "Отвага" 2015 [Электронный ресурс]. URL: http://otvaga2004.ru/fotoreportazhi/vystavki-vooruzheniya/ustanovka-pozharotusheniya-mrup/?utm_source=warfiles.ru (дата обращения: 25.09.2021).
10. Ель-4 [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Ель-4> (дата обращения: 25.09.2021).
11. Telex Family [Электронный ресурс]. URL: <https://www.telerob.com/en/products/telex-family/page> (дата обращения: 25.09.2021).
12. Волков А. Устройство уникального робота-спасателя [Электронный ресурс]. URL: <https://ria.ru/20100518/235684163.html> (дата обращения: 25.09.2021).

A robotic vehicle with minimal environmental impact

R. S. FEDOTKIN, N. I. DEGTYAREV, K. S. DMITRIEV, A. S. OVCHARENKO
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

The article presents our own development of a robotic vehicle with a caterpillar track. Its structure, control algorithms and areas of possible application are described. It also provides an overview of products that are analogous to the developed technical means. The analysis of domestic developments in this area is carried out. The main directions in which such developments are applied are compiled.

Keywords: environmental safety, robotization, emergency response, agriculture, electric transport.

Bibliography — 12 references.

Received October 11, 2021

УДК 62-523.8; 62-529
DOI: 10.52190/2073-2589_2021_4_64

Обзор современных роботизированных средств для обеспечения экологической безопасности среды, представленных на форуме АРМИЯ 2021 (Обзор)

В. А. КРЮЧКОВ, канд. техн. наук; **Н. И. ДЕГТЯРЕВ**; **А. С. ОВЧАРЕНКО**; **К. С. ДМИТРИЕВ**
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

Приведен обзор технологических средств для обеспечения сельскохозяйственных работ, а также предотвращения оказания вреда, наносимого окружающей среде техногенными и прочими воздействиями. Публикация представляет собой обзор технических новинок, показанных на форуме АРМИЯ 2021. Представлены разработки беспилотных летательных аппаратов как для ведения противопожарного надзора, так и для предоставления данных по состоянию сельскохозяйственных угодий за счет ведения дистанционного зондирования Земли. Представлены гусеничные средства, способные эффективно решать проблемы экологической безопасности без подвергания оператора возможной опасности в экологически-небезопасных условиях.

Ключевые слова: экология, безопасность, беспилотное средство, робот, роботизация, мониторинг, контроль.

К одному из важнейших направлений движения науки и технологий можно отнести создание многоцелевых роботизированных установок для обеспечения автоматизированного мониторинга окружающей среды, а также на основе данных мониторинга — ее поддержания и восстановления.

Все чаще в качестве средств дистанционного зондирования Земли, а также определения масштабов экологических катастроф применяют беспилотные летательные аппараты. С постоянным усовершенствованием технологий сенсорики беспилотные летательные аппараты способны получать с места изучения все более детальную картину, что позволяет лучше и оперативнее решать выявленные проблемы на местности.

Также для обеспечения наземных работ по обслуживанию сельскохозяйственных угодий или ликвидации последствий экологических катастроф все чаще применяют беспилотные многофункциональные средства. Таким образом осуществляется возможность ведения подобных работ без непосредственного участия человека на месте.

Повсеместное внедрение роботизации ведет к созданию целых экосистем с подразделениями робо-

тов-обозревателей, а также роботов-исполнителей, которые будут работать в единой связке без дополнительных указаний со стороны человека.

Основная часть

На форуме АРМИЯ 2021 от центра перспективных исследований АО "Кронштадт" [1] были продемонстрированы беспилотные летательные аппараты Гелиос-РЛД [2] и БВС-ВТ 450 [3]. Они могут совместно тушить пожары и предотвращать их распространение.

Гелиос-РЛД (рис. 1) выполняет сразу несколько задач в представленном варианте: осуществляет мониторинг на больших пространствах и координацию авиационной группировки, в том числе беспилотной, к местам пожаров, а также является ретранслятором для беспилотного вертолета БВС-ВТ 450 (рис. 2), что увеличивает радиус его применения до сотен километров.



Рис. 1. Гелиос-РЛД беспилотный летательный аппарат радиолокационного дозора

Крючков Виталий Алексеевич, ведущий научный сотрудник.
E-mail: kryuchkov.vitaliy@gmail.com
Дегтярев Николай Игоревич, инженер.
E-mail: nikidegtiareff@yandex.ru
Овчаренко Александр Сергеевич, научный сотрудник.
E-mail: peterbilt@list.ru
Дмитриев Кирилл Сергеевич, инженер.
E-mail: kir0597@yandex.ru
Статья поступила в редакцию 11 октября 2021 г.

© Крючков В. А., Дегтярев Н. И., Овчаренко А. С., Дмитриев К. С., 2021



Рис. 2. БВС-ВТ 450 — беспилотное воздушное судно вертолётного типа

Технические характеристики Гелиос-РЛД представлены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики Гелиос-РЛД

Наименование	Значение
Размах крыла, м	28
Высота, м	3,6
Длина, м	12,6
Максимальная взлетная масса, кг	3500
Максимальная полезная нагрузка, кг	700
Крейсерская скорость, км/ч	400
Максимальная продолжительность полета, ч	24
Максимальная высота полета, м	10000
Радиус применения, км	2000

БВС-ВТ 450 — беспилотное воздушное судно вертолётного типа, предназначенное для мониторинга объектов транспортной и энергетической инфраструктуры, промышленных объектов, а также для наблюдения за экологической обстановкой, сопровождения координации действий при чрезвычайных ситуациях, тушения локальных очагов природных и техногенных пожаров, мониторинга сельскохозяйственных полей, экологической экспертизы на суше и над водной поверхностью, в том числе в сложных климатических условиях, воздушной перевозки различных грузов на удаленные объекты инфраструктуры, оперативной доставки необходимого оборудования к месту чрезвычайной ситуации.

Технические характеристики БВС-ВТ 450 представлены в табл. 2.

Таблица 2.

Технические характеристики БВС-ВТ 450

Наименование	Значение
Максимальный взлетный вес, кг	450
Масса пустого БВС, не более, кг	270
Максимальный запас топлива, л	140
Максимальная скорость полета, км/ч	150
Крейсерская скорость полета, км/ч	90
Динамический потолок, не менее, км	3500
Максимальная продолжительность полета, ч	6
Диапазон эксплуатационных высот полета, м	50—3500
Размер взлетно-посадочной площадки, м	20×20
Предельная скорость бокового ветра при взлете и посадке, м/с	10

Также на прошедшем форуме АРМИЯ 2021 от научно-технического центра мониторинга окружающей среды и экологии при Московском физико-

техническом институте [4] был представлен гибридный конвертоплан Ирбис-538 VTOL [5] (рис. 3), оснащенный комплексом оперативного мониторинга природных и техногенных объектов, предназначенный для контроля экологической обстановки в любых труднодоступных регионах. Данный комплекс позволяет проводить ледовую разведку, выполнять геологоразведочные и поисково-спасательные операции, обнаружение опасных газовых примесей. Помимо средств наблюдения комплекс включает в себя управляющий компьютер, спецвычислитель и программное обеспечение для оперативной обработки и интерпретации данных на борту с применением технологий искусственного интеллекта.



Рис. 3. Гибридный конвертоплан Ирбис-538 VTOL

Уникальность данного БПЛА заключается не только в возможностях его оборудования, но и в носителе, выполненном в виде конвертоплана, в конструкции которого применена схема с трехлопастным толкающим винтом. За вертикальный взлет и посадку отвечают четыре электромотора, за крейсерский полет — двигатель внутреннего сгорания. Время нахождения в воздухе — свыше пяти часов, максимальная дальность полета — до 500 км. ГК "Беспилотные системы" [6] — разработчик и производитель беспилотных комплексов — на прошедшем форуме АРМИЯ 2021 представила беспилотные авиационные комплексы марки Supercam, а именно Supercam S150 [7], Supercam S100 [8] (рис. 4).



Рис. 4. Supercam S150 и Supercam S100

Они могут применяться в сфере рационального природопользования и охраны природных ресурсов, а именно:

- изучение радиационной обстановки и контроль производственной безопасности;
- контроль концентрации загрязняющих веществ в компонентах окружающей природной среды;
- контроль за состоянием земель лесного фонда и особо охраняемых природных территорий;

- поиск и обнаружение несанкционированного размещения отходов производства и потребления;
- мониторинг лесных пожаров и чрезвычайных ситуаций на землях лесного фонда и ООПТ;
- антикризисное управление в период паводка и оценка ущерба, причиненного имуществу третьих лиц;
- мониторинг и контроль объектов животного мира, идентификация и учет особей;
- борьба с несанкционированной добычей водных биоресурсов и объектов животного мира.

Также беспилотные авиационные комплексы от ГК "Беспилотные системы" могут применяться в сельском хозяйстве для создания планово-картографической основы, осуществлять мониторинг состояний растений, обеспечивать контроль выполнения технологических операций.

На рис. 5 представлен Supercam S150.



Рис. 5. Supercam S150

На рис. 6 представлен Supercam S100.



Рис. 6. Supercam S100

Технические характеристики Supercam S150 и Supercam S100 приведены в табл. 3.

Таблица 3

Технические характеристики Supercam S150 и S100

Наименование	Значение	
	S150	S100
Размах крыла, м	1,5	1
Время полета, мин	120	80
Скорость, км/ч	65—120	65—120
Радиус действия радиопередачи, км	30	20
Дальность действия видеоканала, км	25	20
Максимальная дальность полета, км	110	50
Максимальный взлетный вес, кг	5,5	3,5

На форуме АРМИЯ 2021 был представлен дистанционно управляемый электрогидравлический

робот-манипулятор ДЕМОРОБОТ 2.0 [9] (рис. 7), предназначенный для:

- сноса, измельчения, резки, откалывания, разделения, захвата и распределения строительных конструкций;
- работы в опасных условиях, когда оператор сможет управлять машиной дистанционно;
- работы в неблагоприятных условиях, при которых машина подвергается риску разрушения, воздействия опасных веществ, термального воздействия и т. д.;
- разделки и измельчения металлизированного шлака при температуре материала до 400 °С.



Рис. 7. ДЕМОРОБОТ 2.0

Технические характеристики ДЕМОРОБОТ 2.0 представлены в табл. 4.

Таблица 4

Технические характеристики ДЕМОРОБОТ 2.0

Наименование	Значение
Высота, мм	1396
Ширина, мм	785
Длина, мм	2909
Масса без навесного оборудования, кг	1250
Максимально допустимая масса навесного оборудования, кг	250
Скорость движения, км/ч	3,6
Угол въезда, град.	30
Вылет стрелы в горизонтальном положении, мм	4500
Мощность электродвигателя, кВт	22

Главное управление МЧС России по Удмуртской Республике представило на форуме разработку — роботизированный пожарный комплекс "Туман" [10]. Сейчас она находится на доработке.

Робот-автомобиль "Туман" (рис. 8) позволит сократить количество расходуемой воды и увеличить площадь локализации пожара.



Рис. 8. Робот-автомобиль "Туман"

Установка подает воду для тушения в виде тумана. Это позволяет охватить большую площадь возгорания. При этом объемы воды для локализации пожара сокращаются почти в 100 раз по сравнению с обычным способом тушения. Особенность данной техники состоит в том, что она совмещает в себе несколько функций-установок: устройство гидроабразивной резки, распыление мелкодисперсной воды, интегрированную установку для заправки баллонов с кислородом и другие.

В работе фестиваля приняли активное участие сотрудники лаборатории ФНАЦ ВИМ "Двигатели и ходовые системы", представившие [11] свою разработку — роботизированное транспортно-технологическое средство (РТТС) (рис. 9) как вспомогательное транспортное энергосредство для решения широкого круга задач в беспилотном режиме, которое вписалось в формат сразу двух кластеров: "Робототехника" и "Авиационные и космические технологии".



Рис. 9. РТТС ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

Заявленное назначение РТТС заключается в выполнении транспортных и вспомогательных работ с грузом и оборудованием, перевозимыми на себе, в прицепленном состоянии или без него в развитой и ограниченной инфраструктуре объектов хозяйственного назначения, таких, как объекты городского хозяйства, различных предприятий, внутри закрытых помещений и в ограниченном пространстве, а также на открытой местности в полевых работах, в том

числе в автоматическом режиме в качестве "челнока" или формирований из нескольких взаимодействующих друг с другом машин.

Заключение

Приведенные технические средства вызвали наибольший интерес у посетителей форума АРМИЯ 2021. Роботизированные системы для работы над улучшением экологии набирают популярность как за рубежом, так и в России. Представленные отечественные разработки не уступают по своему функционалу зарубежным аналогам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Главная страница. Компания "Кронштадт" [Электронный ресурс]. URL: <https://kronshtadt.ru> (дата обращения: 30.09.2021).
2. Беспилотный летательный аппарат ГЕЛИОС-РЛД [Электронный ресурс]. URL: <https://kronshtadt.ru/products/bespilotnyy-j-letatelnyy-apparat-gelios-rld> (дата обращения: 30.09.2021).
3. Беспилотное воздушное судно вертолетного типа БВС-ВТ450 [Электронный ресурс]. URL: <https://kronshtadt.ru/products/bespilotnoe-vozdushnoe-sudno-vertoletnogo-tipa-bvs-vt450> (дата обращения: 30.09.2021).
4. Главная страница. Московский физико-технический институт [Электронный ресурс]. URL: <https://mipt.ru> (дата обращения: 30.09.2021).
5. Беспилотный летательный аппарат IRBIS-538 VTOL-PRO [Электронный ресурс]. URL: <http://irbisskytech.tilda.ws/irbis-538vtol-pro> (дата обращения: 30.09.2021).
6. Главная страница. ГК "Беспилотные системы" [Электронный ресурс]. URL: <https://supercam.aero> (дата обращения: 30.09.2021).
7. Беспилотный летательный аппарат Supercam S150 [Электронный ресурс]. URL: <https://supercam.aero/catalog/supercams150> (дата обращения: 30.09.2021).
8. Беспилотный летательный аппарат Supercam S100 [Электронный ресурс]. URL: <https://supercam.aero/catalog/supercam-s100> (дата обращения: 30.09.2021).
9. Робот-манипулятор ДЕМОРОБОТ 2.0 [Электронный ресурс]. URL: <https://demorobot.ru/demontazhnye-roboty/demorobot-2-0> (дата обращения: 30.09.2021).
10. Пунгина Т. Новые разработки МЧС Удмуртии помогут сократить время локализации пожаров [Электронный ресурс]. URL: <https://udmurt.media/news/obshchestvo/113595> (дата обращения: 30.09.2021).
11. Крючков В. А. ФНАЦ ВИМ принял участие в Международном военно-техническом форуме АРМИЯ 2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://vim.ru/center/newsmedia/news/1132/> (дата обращения: 30.09.2021).

Overview of modern robotic machines to ensure environmental safety of the environment, presented at the ARMY 2021 forum (Review)

V. A. KRYUCHKOV, N. I. DEGTYAREV, A. S. OVCHARENKO, K. S. DMITRIEV
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

The article provides an overview of technological means for agricultural work, as well as preventing harm to the environment from man-made and other influences. The publication is an overview of technical innovations presented at the ARMY 2021 forum. The development of unmanned aerial vehicles for conducting both fire surveillance and providing data on the state of agricultural land through remote sensing of the earth is presented. Also in the review of the presented tracked vehicles capable of effectively solving problems of environmental safety, without danger in environmentally unsafe conditions.

Keywords: ecology, safety, unmanned vehicle, robot, robotization, monitoring, control.

Bibliography — 11 references.

Received October 11, 2021

Экология промышленного производства: Межотр. науч.-практ. журнал / ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас», 2021. Вып. 4. С. 1—68.

Редактор *О. А. Константинова*

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

Подписано в печать 02.12.2021.

Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 7,9. Уч.-изд. л. 8,2.

Тираж 250 экз. Заказ 1984.

Свободная цена.

Адрес редакции: 125424, Москва,
Волоколамское ш., 77.

ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас».

<http://ntckompas.ru>

Отпечатано: 101000, Москва,

Лубянский проезд, д. 15, стр. 4, офис 105.

ИП Кириченко Алексей Викторович.

Индекс 80090.