



БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Издается с января 2001 г.

10(118)
2010

Редакционный совет:

АКИМОВ В. А.
БАЛЫХИН Г. А.
БЕЛОВ С. В.
ЗАЛИХАНОВ М. Ч.
(председатель)
МАХУТОВ Н. А.
ПАВЛИХИН Г. П.
СИДОРОВ В. И.
СОКОЛОВ Э. М.
СОРОКИН Ю. Г.
ТЕТЕРИН И. М.
ТИШКОВ К. Н.
УШАКОВ И. Б.
ФЕДОРОВ М. П.
ЧЕРЕШНЕВ В. А.
АНТОНОВ Б. И.
(директор издательства)

Главный редактор
РУСАК О. Н.

Зам. главного редактора
ПОЧТАРЕВА А. В.

Ответственный секретарь
ПРОНИН И. С.

Редакционная коллегия:

ГЕНДЕЛЬ Г. Л.
ГРУНИЧЕВ Н. С.
ИВАНОВ Н. И.
КАЛЕДИНА Н. О.
КАРНАУХ Н. Н.
КАРТАШОВ С. В.
КАЧАНОВ С. А.
КРАСНОГОРСКАЯ Н. Н.
КСЕНОФОНТОВ Б. С.
КУКУШКИН Ю. А.
МАСТРЮКОВ Б. С.
МЕДВЕДЕВ В. Т.
ПАНАРИН В. М.
ПОЛАНДОВ Ю. Х.
ПОПОВ В. М.
СИДОРОВ А. И.
ТОПОЛЬСКИЙ Н. Г.
ФРИДЛАНД С. В.
ХАБАРОВА Е. И.
ЦХАДАЯ Н. Д.
ШВАРЦБУРГ Л. Э.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Павпертов В. Г., Тюрин А. П.** Разработка средства исследования акустического состояния помещений в низкочастотном диапазоне 2
- Козин В. М., Земляк В. Л.** Безопасность всплытия подводного судна в сплошных льдах в условиях мелководья 6

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Антипов Ю. А., Барский И. А., Шаталов И. К.** Снижение выделения оксидов азота газотурбинными установками 10
- Бариева Э. Р., Королев Э. А., Егорова Е. С.** Рециклинг шламовых отходов химводоподготовки тепловых электростанций города Казани в производстве керамического кирпича 12
- Касперович Е. В.** Оценка массы сброса загрязняющих веществ со стоками судов в промысловые подзоны Охотского моря 15
- Красногорская Н. Н., Елизарьев А. Н., Кияшко И. Ю., Фащевская Т. Б.** Оценка влияния свалочного фильтрата на водные объекты. Количественный аспект. 20
- Степанчикова И. Г., Дервянко А. В., Зайцев В. А.** Актуальные вопросы обращения с отходами стекла в России. 28
- Филина Н. А., Алибеков С. Я.** Технология утилизации древесных и нефтесодержащих отходов с целью получения тепловой энергии 32
- Цветкова Ю. В.** Существующие модели атмосферной дисперсии загрязняющих веществ и их анализ. 38

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Варлаков А. П., Германов А. В.** Исследование методов цементирование жидких органических радиоактивных отходов 42

ОБРАЗОВАНИЕ

- Томаков В. И., Томаков М. В.** Экологическая компетентность — ключевое профессиональное качество выпускника инженерного вуза 49
- Приложение. Белов С. В., Симакова Е. Н.** Ноксология. Учебное пособие. Выпуск 5

Журнал входит в Перечень ведущих и рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук и включен в систему Российского индекса научного цитирования.

УДК 534.6.08

В. Г. Павпертов, канд. техн. наук, доц., Тульский государственный университет,
А. П. Тюрин, канд. техн. наук, доц., Ижевский государственный технический университет
E-mail: eddy@schekino.tula.net

Разработка средства исследования акустического состояния помещений в низкочастотном диапазоне

Рассмотрены аспекты исследования акустического состояния общественных помещений в слышимом низкочастотном диапазоне частот. Представлены качественные результаты исследования, выполненные с помощью фазоинверторного излучателя.

Ключевые слова: импульсный отклик, время реверберации, фазоинвертор, источник звука, низкочастотное исследование.

Pavpertov V. G., Tyurin A. P. Development of research tools of the acoustic condition of the premises at low frequencies

Aspects of research of an acoustic condition of public premises in a heard low-frequency range of frequencies are considered. The qualitative results of research executed with the help phase inverting radiator are presented.

Keywords: impulse response, reverberation time, phase inverter, sound source, low-frequency research.

Время реверберации ограниченных пространств, например, общественных помещений, замкнутых участков производственных помещений, учебных аудиторий является определяющим показателем их акустических свойств. Наряду с ним существуют и такие немаловажные параметры как отношение ранней/поздней энергии отражений, показатель боковой энергии, уровень фонового шума, без которых невозможна полноценная оценка акустического качества таких пространств.

Помещение в общем случае может быть представлено в виде инвариантной во времени системы и, соответственно, может описываться импульсным откликом. Импульсный отклик, содержащий информацию обо всех вышеперечисленных параметрах, будет адекватной характеристикой только для той точки, в которой выполнялось измерение. Для каждого типа помещения существует некоторая частота, выше которой происходит подъем частотной характеристики, т. е. улучшение воспроизведения. На практике в любом пространстве, начиная от салона автомобиля и заканчивая зри-

тельными залами, существуют низкочастотные моды, начиная с частоты 150 Гц и ниже. Они возникают как результат последовательных отражений звуковых волн от поверхностей помещения. Частоты резонансных мод определяются временной задержкой между отражениями и, следовательно, геометрией помещения. Системами регулирования звука можно управлять звуковыми эффектами, однако при отсутствии таковых это становится невозможным. Отсюда возникает необходимость регулирования низкочастотных эффектов специальными конструкциями или звукопоглощающими материалами, исследование поглощающих свойств которых в соответствующем диапазоне также актуально. При грамотном подборе звукопоглощающих материалов можно добиться благоприятного звучания низких частот.

В литературе достаточно скудна информация по воздействию низкочастотного шума на человека. В основном исследователи обращают внимание на высокоинтенсивный шум низких частот, присутствующих в производственных помещениях. Тем не менее, присутствие стоячих волн на частотах 20...150 Гц, условия для возникновения которых создаются небольшими размерами помещения и наличием параллельных стен, вызывает ощущения в виде неприятного гула и "бубнения". С другой стороны, низкие частоты в диапазоне 20...50 Гц существенно дополняют звуковую картину, делают ее "сочнее" и богаче, а современные технологии регулирования звука позволяют полноценно их использовать.

Измерение кривой отклика в средне- и высокочастотной части является хорошо отработанной процедурой. В большинстве случаев в определенных точках пространства воспроизводят тестовые сигналы, а в другой точке осуществляют запись отклика. Используется источник сигнала с достаточно большой мощностью во всех направлениях, из которого, как правило, подается широкополосный случайный или псевдослучайный звуковой сигнал. Такими сигналами могут быть последовательности максимальной длины или синусоидальные сигналы с экспоненциально или линейно увеличивающейся частотой.

Источник должен быть способен производить уровень звукового давления достаточным для того, чтобы гарантировать, что затухание начнется при уровне звукового давления на 35 дБ выше фонового шума в исследуемой частотной полосе в случае измерения времени реверберации T_{20} , т. е. времени, в течение которого уровень звукового давления спадет на 20 дБ от первоначального. При измерении времени реверберации T_{30} необходимо создавать уровень, по крайней мере, на 45 дБ выше фона [1].

Более сложной задачей является определение акустического состояния по отклику в низкочастотном диапазоне, которое зависит от размера помещения и особенностей природы тестового сигнала.

Международными требованиями установлен диапазон частот, в котором производятся измерения, охватывающий среднегеометрические частоты октавных полос от 125 до 4000 Гц [1]. Определение времени реверберации помещений на более низких частотах осложнено тем, что измерительные микрофоны хоть и имеют нижний предел чувствительности, включающий нижний порог слышимости, тем не менее, используемые при измерениях источники звука не способны в должной мере возбудить низкочастотные колебания в связи с ограниченным размером громкоговорителей, в них используемых. Использование соответствующих громкоговорителей приводит к большим искажениям при воспроизведении низких частот, что в конечном результате повышает фоновый шум в импульсном отклике помещения и приводит к неточным результатам.

Исследование процесса реверберации в помещениях осуществляется с помощью всенаправленного источника звука. Направленность источника звука должна соответствовать значениям, представленным в таблице, в которой приводится перечень максимально допустимых отклонений от всенаправленности. Ее измерения проводятся в условиях свободного звукового поля в точка, отстоящих на 30° друг от друга по окружности, центром которого является источник звука. Минимальное расстояние между источником и микрофоном во время измерения составляет 1,5 м [1].

Характеристика особенностей тестовых сигналов, представленных в стандарте [1], заключается в следующем. При измерениях в октавных полосах ширина полосы сигнала должна быть больше или равна ширине одной октавы. Соответственно, при измерении в 1/3 октавных полосах, ширина полосы сигнала должна быть больше или равна ширине 1/3 октавной полосы. Иначе говоря, такой частот-

ный спектр покрывает 1/3 октавные полосы со среднегеометрическими частотами 100 Гц — 5 кГц или октавные полосы от 125 до 4000 Гц. Длительность возбуждения помещения устанавливается достаточной для того, чтобы шумовое поле достигло неизменного уровня, перед тем как сигнал выключат. В исследованиях длительность сигнала принимается равной половине времени реверберации анализируемого объема. В больших помещениях длительность сигнала превышает несколько секунд. Возбуждение широкополосным или "белым" шумом предполагает более жесткие требования к мощности системы воспроизведения для того, чтобы поддерживать требуемое отношение сигнал/шум.

Исследователи предпринимают попытку увеличить частотный диапазон воспроизведения источников звука [2], но увеличенная громоздкость конструкции и подбор пар низкочастотных и высокочастотных громкоговорителей ограничивают их использование в реальных условиях. Известными вариантами источника звука являются устройства компании Брюль и Кьер, в частности модель 4224. Он является компактным портативным источником широкополосного акустического шума с высоким уровнем звуковой мощности 115 дБ и частотным диапазоном в 100 Гц — 4 кГц. Ограниченная область направленности излучаемого звука возникает в связи с тем, что он воспроизводит звук в одном направлении и имеет возможность наклона корпуса и установки под углом только 0°, 30° и 45°. Определенная степень расширения зоны направленности обеспечивается за счет конусообразного диффузора, который крепится спереди корпуса, но все равно накладываются ограничения на ширину зоны излучения в связи с ограниченными углами наклона корпуса источника звука.

В массивных источниках звука, использующих большие громкоговорители, принцип "чем больше, тем лучше" не всегда выполняется, зачастую более дорогой громкоговоритель меньшего диаметра функционирует лучше, чем его недорогой и больший по размерам аналог. При использовании компактных громкоговорителей при относительно низкой стоимости диаметром 130 мм не удается извлечь достаточной громкости звука. Получение низких частот, особенно глубоких, требует больших усилий. Качественно спроектированные акустические системы требуют затрат больших средств, повышения себестоимости системы и увеличения ее габаритов. Однако можно поступить проще.

Одним из вариантов совершенствования источника звука является расширение частотного диапазона воспроизведения тестового сигнала в сторону низкочастотного за счет установки фазоинвертора. Настроенный фазоинвертор способствует снижению звукового давления во внутреннем объеме излучателя и позволяет воспроизводить низкочастот-

Максимальное отклонение направленности источника

Частота, Гц	125	250	500	1000	2000	4000
Максимальное отклонение, дБ	±1	±1	±1	±3	±5	±6

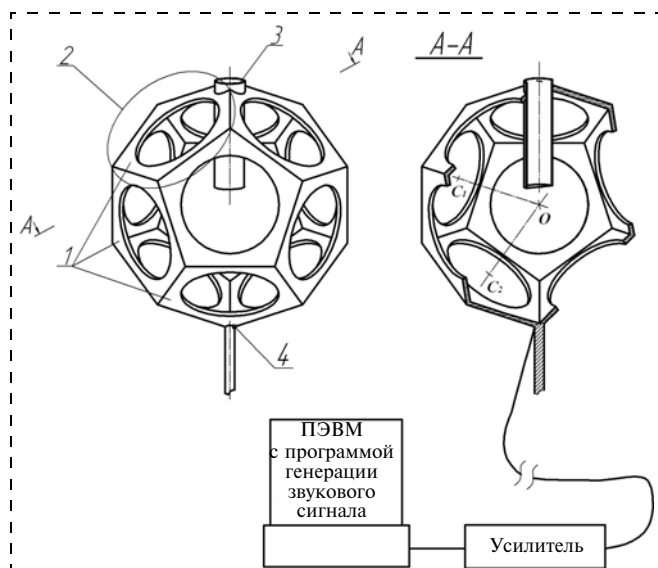


Рис. 1. Фазоинверторный ненаправленный источник звука

ный диапазон в линейном режиме. Преимуществами такой конструкции являются более широкая характеристика в области низких частот, более высокая эффективность и меньшая стоимость работы.

Фазоинверторный ненаправленный источник звука (излучателя) выполнен в виде пустотелого правильного многогранника (додекаэдра), в каждую из граней которого вмонтирован громкоговоритель (рис. 1). На рисунке представлен общий вид фазоинверторного излучателя в измерительном комплексе. Излучатель содержит фазоинвертор, выполненный в виде цилиндрической трубки, концевые части которой могут быть как прямыми, так и в виде экспоненциальных обводов. Размеры (длина и диаметр) цилиндрической трубки фазоинвертора зависят от частоты, на которую настраивают излучатель. В конструкции излучателя выполняется условие: расстояния от центра додекаэдра до центров граней

равны между собой, т. е. $OC_1 = OC_2 = \dots = OC_n$. В каждой из двенадцати граней 1 излучателя расположены громкоговорители 2. Фазоинвертор 3 вмонтирован в один из трехгранных углов излучателя. Излучатель устанавливается на стойку с помощью крепления 4, расположенного на одном из трехгранных углов додекаэдра. После настройки фазоинвертора ненаправленный излучатель работает в составе измерительного комплекса.

Целью оптимизации конструкции корпуса с фазоинвертором является выбор объема, обеспечивающего наиболее ровную и плавную амплитудную характеристику в области частот настройки порта фазоинвертора. Конструкция корпуса источника звука с фазоинвертором относительно чувствительна к изменению параметров динамиков. Однако в данной конструкции определяющим являются диаметр громкоговорителей PROAUDIO CS-A7 диаметром 200 мм. Увеличение площади диффузора ведет к возрастанию уровня чувствительности, но возникают проблемы с воспроизведением высоких частот и прочностью конструкции.

При использовании источников звука в помещениях определяется та граница частоты, при которой поле, создаваемое тестовым сигналом, не является диффузным. По Шредеру [3] раздельное поведение мод наблюдается ниже граничной частоты помещения, задаваемой формулой:

$$f_g = 2000 \sqrt{\frac{T_{60}}{V}},$$

где V — объем помещения, m^3 ; T_{60} — время реверберации для спада уровня звукового давления на 60 дБ, с.

Фазоинверторный ненаправленный излучатель позволяет излучать различные тестовые сигналы внутри исследуемых помещений с одинаковой мощностью во всех направлениях. Это необходимо для получения импульсного отклика помещения, представляющего собой линейную, т. е. неизменяющуюся во времени систему.

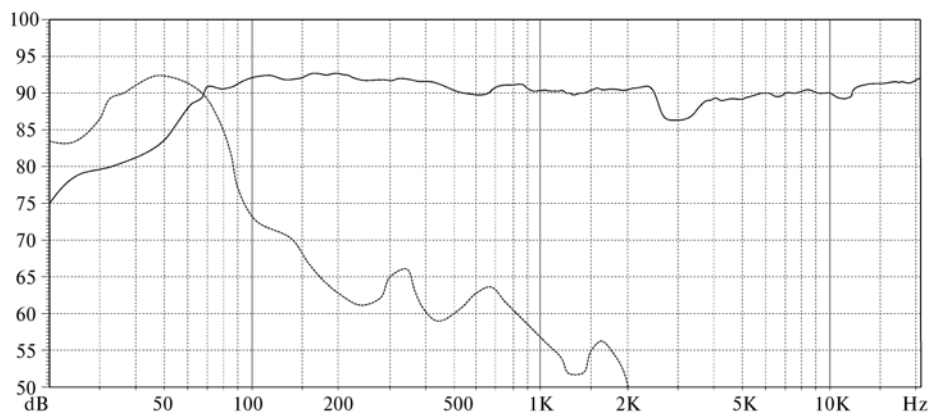


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика громкоговорителя источника звука и порта фазоинвертора (штриховая линия)

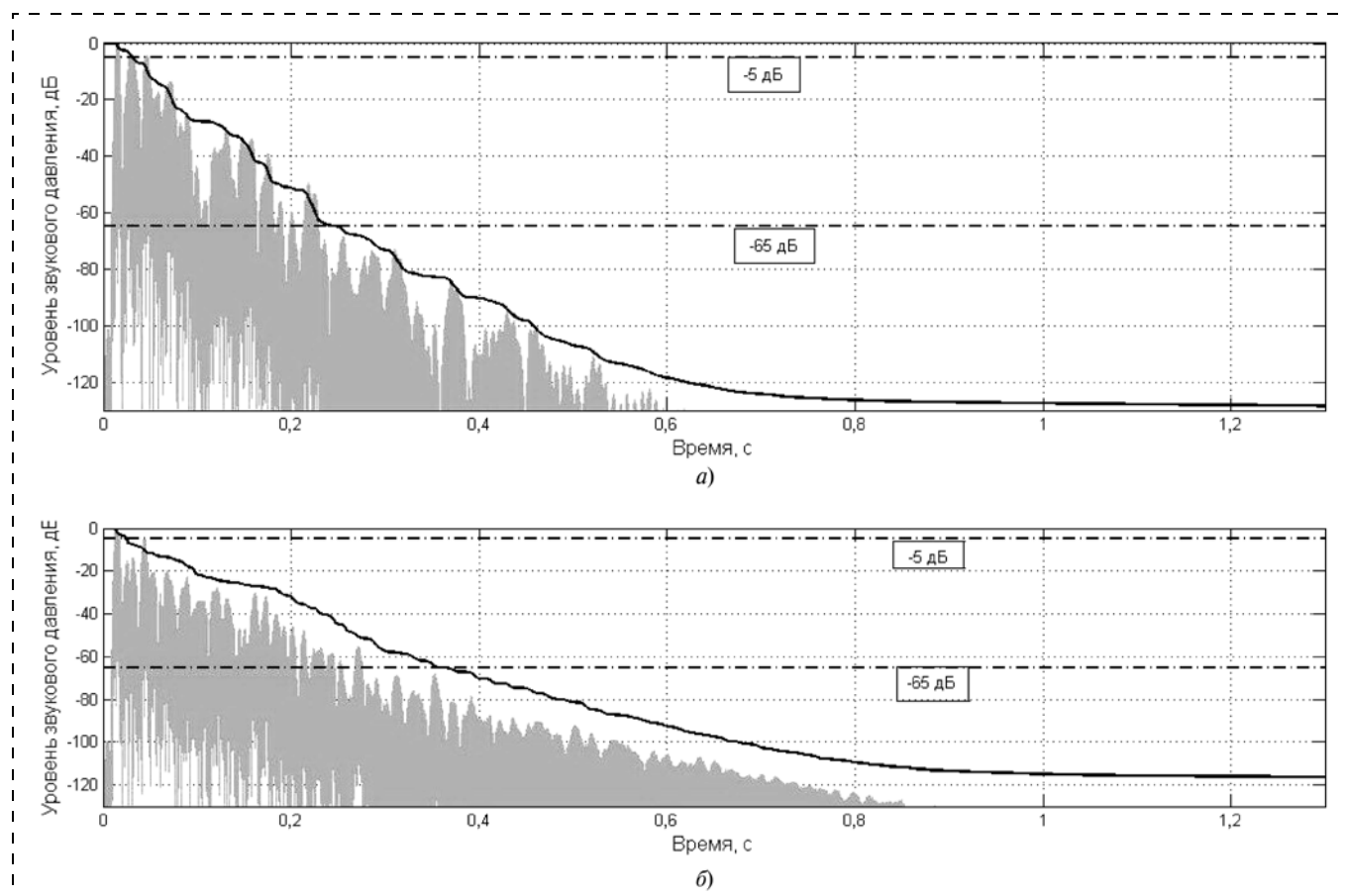


Рис. 3. Огибающая импульсного отклика помещения:

а — без фазоинвертора; *б* — с фазоинвертором

Амплитудно-частотные характеристики порта фазоинвертора и громкоговорителя представлены на рис. 2. Из рисунка видно, что происходит расширение диапазона частот до приблизительно 50 Гц. Амплитудно-частотная характеристика фазоинвертора показана отдельно (сплошная кривая). От конкретных акустических условий зависит, насколько их характеристики будут влиять друг на друга.

Качественное исследование импульсного отклика в низкочастотном диапазоне от источника звука выполнено на основе метода мнимых источников, изложенного в работе [4]. Результаты моделирования для помещения размерами $3 \times 4 \times 2,5$ м представлены на рисунке 4, *а* для источника без фазоинвертора и на рисунке 4, *б* с фазоинверторным источником звука в низкочастотном диапазоне ниже 200 Гц. Для такого помещения значение частоты Шредера по стандарту (1) составляет 370 Гц при времени реверберации 0,7 с. Видно, что огибающая отклика становится более плавной, а затухание возбуждения более длительным. При низкочастотном возбуждении увеличивается и низкочастотная реверберация помещения, отсюда и все

связанные с ней эффекты — время ранних/поздних отражений, эхо, что в конечном итоге позволяет сложить общее впечатление об акустических свойствах пространства.

Использование фазоинверторного ненаправленного источника звука позволяет:

исследовать низкочастотную реверберацию ограниченных пространств, в частности, учебных аудиторий;

исследовать звукопоглощающие материалы в заглушенных и реверберационных камерах.

Список литературы

1. ISO 3382-1 Acoustic — Measurement of room acoustic parameters — Part 1: Performance spaces, 2009. — 32 p.
2. Non-directional speaker system with point sound source: US Patent H04R 1/02 5812685 . — 1996. — Mar. 7.
3. Kuttruff Heinrich. Room Acoustic. Elsevier Science Publishers, 2000. — 369 p.
4. Lehmann E., Johansson A. Prediction of energy decay in room impulse responses simulated with an image-source model // Journal of the Acoustical Society of America. — 2008. — July. — Vol. 124 (1). — P. 269—277.



УДК 532.59:629.585:534.1

В. М. Козин, д-р техн. наук, Институт машиноведения и металлургии ДВО РАН, г. Комсомольск-на-Амуре, **В. Л. Земляк**, асп., Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет
E-mail: vellkom@list.ru

Безопасность всплытия подводного судна в сплошных льдах в условиях мелководья

Показана возможность повышения безопасности всплытия подводного судна в ледяном покрове при ограниченной глубине дна. Приведены результаты модельных испытаний модели судна в опытном бассейне с использованием искусственного модельного льда в условиях мелководья. Получены графические зависимости параметров возбуждаемых изгибно-гравитационных волн от заглубления модели и глубины акватории.

Ключевые слова: изгибно-гравитационные волны, резонансный метод разрушения льда, резонансная скорость, подводное судно, ледовые условия, глубина акватории, относительное заглубление.

Kozin V. M., Zemlyak V. L. Safety emergence of submarine in compact ice under shallow

The possibility of improving the safety surfacing submarine ship in the ice cover in the limited depth of the floor are presented in this work. The results of model test of a submarine in a small experimental model basin are presented in this work. Artificial model ice in a shallow water were used in this work.. Graphical dependence of parameters of exciting deflected gravitated waves on model deeping and the depth of the water area. The influence of considered parameters on exciting waves were.

Keywords: flexural-gravity waves, the resonant method destruction of ice, the resonant speed, underwater vessel, ice conditions, the depth of the water area, the relative penetration.

Освоение огромных северных территорий, которыми владеет Россия, полностью зависит от внешних поставок продовольствия и сырья, в частности, нефтепродуктов. Доставка грузов в эти районы осуществляется морским путем и в крайне ограниченный отрезок времени от 1,5 до 2,5 месяца в году. Причем стоимость традиционной проводки ледовых караванов атомными и дизель-электрическими ледоколами составляет 35...40 % стоимости доставляемых грузов. Единственная альтернатива морскому транспорту — транспортная авиация, однако стоимость доставки грузов таким способом

значительно более высокая. В середине 1990-х годов компания "Роснефть", являющаяся одним из основных поставщиков нефтепродуктов в арктические районы, обратилась к СПМБМ "Малахит" с предложением разработать проекты атомных подводных грузовых судов: танкеров, газозовов и контейнеровозов, способных в короткие сроки осуществлять через Арктику транзит различных грузов и полезных ископаемых. Примерно в это же время подводными транспортом заинтересовалась компания "Норильский никель", которая обратилась в ЦКБ МТ "Рубин" с предложением переоборудовать выведенные из состава ВМФ атомные подводные ракетные крейсера "Тайфун" в грузовые подводные суда (ПС). По их мнению, заменив боевой отсек крейсера, расположенный в носовой части, на грузовой, можно было бы сравнительно просто получить подводный сухогруз грузоподъемностью до 10 тыс. т. Однако из-за большой дороговизны эти проекты так и остались не реализованными.

Между тем, растущий спрос на энергоресурсы вынуждает осваивать новые месторождения. По этой причине возрос интерес ведущих мировых держав к арктическим районам, в которых по предварительным оценкам сосредоточено до 25 % мирового запаса шельфовых углеводородов, и борьба за контроль над ними в последнее время развернулась с новой силой. После того, как уникальная российская экспедиция "Арктика-2007" собрала достаточно данных, чтобы обосновать присоединение хребта Ломоносова к экономической зоне РФ, свои претензии к территории Арктического шельфа в той или иной форме предъявили также США, Канада и страны Скандинавии. Великобритания же обратила свой взор в противоположном направлении, отправив исследовательскую экспедицию в Антарктиду для оценки перспективы добычи полезных ископаемых на шестом континенте.

Экстремальные условия этих регионов требуют обратить особое внимание на новые методы добычи, схемы и способы вывоза сырья морским транспортом. К тому же, значительная часть северных

морских путей пролегает через замерзающие моря, в том числе, арктические, толщина ледовых полей которых нередко составляет 1,5...2 м. В таких тяжелых условиях эксплуатация судов арктического плавания становится крайне затруднительной. Поэтому интерес к подводным транспортным судам, способным беспрепятственно преодолеть обширные ледовые поля, вновь стал возрождаться.

Большой опыт эксплуатации боевых подводных лодок в Северных районах показывает их способность осуществлять длительные переходы подо льдом. Однако при необходимости их всплытия в сплошном ледяном покрове появляется опасность возникновения аварийных ситуаций. Традиционно всплытие ПС осуществляется путем статического нагружения льда снизу за счет создания положительной плавучести путем осушения балластных цистерн. Опыт практической реализации такого способа всплытия ограничивает его применимость по толщинам проламываемого льда (не более 1 м), необходимости усиления конструкции вертикального стабилизатора и верхней части рубки, усложнения конструкции рубочных горизонтальных рулей, которые при всплытии необходимо разворачивать в вертикальное положение, и возможной потерей остойчивости. Повысить ледразрушающую способность ПС можно за счет использования резонансного метода разрушения ледяного покрова [1].

Посредством возбуждения волн в сплошном льду, т. е. бесконтактным способом, можно добиться частичного или полного разрушения ледяного покрова значительно большей толщины [1, 2]. При действии на лед движущейся нагрузки в зависимости от скорости ее перемещения, в ледяном покрове будут возникать либо только изгибные, либо гравитационные, либо волны обоих видов. Если изгибной волне в ледяной пластине будет сопутствовать гравитационная волна в воде, то такую комбинацию волн называют изгибно-гравитационной (ИГВ), а скорость движения нагрузки, равную скорости распространения ИГВ, принято называть критической или резонансной. В этом случае возникает изгибно-гравитационный резонанс (ИГР), т. е. прогибы позади нагрузки резко возрастают, что приводит к снижению несущей способности ледяного покрова и его разрушению, с минимальными энергозатратами.

В работе [3] показано, что эффективность резонансного метода разрушения ледяного покрова можно повысить, если ПС будет перемещаться под ледяным покровом в определенных ледовых условиях. В частности, известно, что значительная

часть предполагаемого транспортного пути в Карском море пролегает на глубинах меньше 70 м.

Рассмотрим влияние глубины акватории на эффективность резонансного метода разрушения ледяного покрова ПС. Модельные исследования по влиянию мелководья на параметры ИГВ проводились в опытовом бассейне Амурского гуманитарно-педагогического университета, имеющего габариты $L \times B \times H = 5,0 \times 1,8 \times 0,6$ м. В качестве модельного льда использовалась листовая резина толщиной 2 мм, значение модуля упругости которой определялось из испытаний на растяжение при различных скоростях нагружения на специальном стенде. Его среднее значение составило $E_m = 5$ МПа, что обеспечило возможность проведения модельных исследований в масштабе 1 : 500, моделируя ледяной покров толщиной 1 м.

Возможность имитации ледяного покрова упругими пленками, позволяющая отказаться от использования в экспериментах модели естественного льда, изучалась в работе [4]. Осуществимость такого подхода была выявлена в ходе натурных наблюдений за поведением ледяного покрова при действии на него внешних нагрузок. Эксперименты показали, что при распространении ИГВ в ледяном покрове последний ведет себя как упругая пластина.

Для проведения буксировок модели ПС была спроектирована и изготовлена буксировочная система, выполненная в виде двух рам, устанавливаемых по разные стороны бассейна и оснащенных подвижными балками с блоками проводки бесконечного буксирного троса (рис. 1). Слабина в буксирном тросе выбиралась натяжным устройством. Один из блоков через муфту соединялся с электродвигателем, с помощью которого приводилась в движение модель нагрузки. Посредством изменения напряжения, подаваемого на двигатель, изменялась скорость движения модели. В процессе

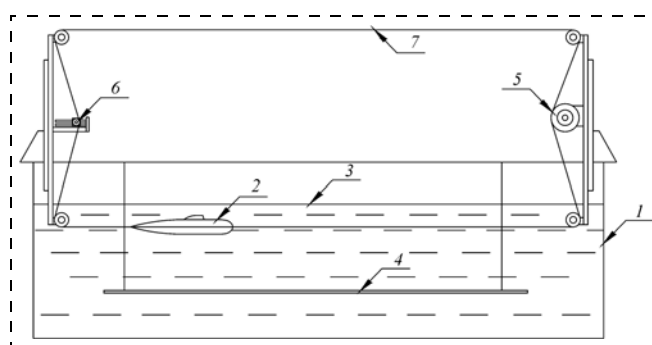


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 — чаша бассейна; 2 — модель подводного судна; 3 — модель сплошного льда; 4 — подвесное дно; 5 — привод; 6 — натяжной блок; 7 — бесконечный буксировочный трос



буксировки модели ПС определялась скорость ее движения и записывались профили взволнованной поверхности.

Для имитации мелководья в чаше бассейна было установлено непроницаемое подвесное дно габаритами $L \times B = 4,3 \times 1,7$ м. Глубина погружения модели подводного судна, как и глубина дна, определялись соответствующими безразмерными параметрами $\bar{h} = h_0/L$, $\bar{H} = H_0/L$, где \bar{h} — относительное заглубление ПС; h_0 — глубина погружения модели, отсчитываемая от продольной оси корпуса; L — длина модели ПС; \bar{H} — относительная глубина акватории; H_0 — глубина акватории.

В соответствии с известной методикой моделирования ИГВ в сплошном неразрушаемом льду выполнялись следующие условия подобия [1]:

$$\lambda_E = \lambda_w = \lambda_\sigma = \lambda_h = \lambda_l \text{ и } \lambda_P = \lambda_l^3,$$

где λ_l — геометрический масштаб; λ_E — масштаб моделирования по модулю упругости; λ_w — масштаб моделирования по прогибам; λ_σ — масштаб моделирования по напряжениям; λ_h — масштаб моделирования по толщине льда; λ_P — масштаб моделирования массовых сил.

Требования условий подобия в отношении коэффициента Пуассона μ и плотности ρ_l льда традиционно не выполнялись по причине их незначительного влияния на результаты моделирования. Тогда, при соблюдении критериев Фруда и Коши скорость движения модели v_m определялась из условия:

$$v_n/v_m = \lambda_l^{1/2},$$

v_n — скорость движения натурального судна.

Параметры модельных ИГВ пересчитывались на натуру по зависимостям:

$$\lambda_n/\lambda_m = A_n/A_m = \lambda_b, \quad T_n/T_m = \lambda_l^{1/2},$$

где λ_n — длина натуральных волн; λ_m — длина модельных волн; A_n — амплитуда натуральных волн; A_m — амплитуда модельных волн; T_n — период натуральных волн; T_m — период модельных волн.

Модель ПС была изготовлена на основе теоретического чертежа обобщенного типа современной атомной подводной лодки $L_M = 0,210$ м, $d_M = 0,032$ м. Удлинение корпуса модели составило $L/B = 8$, а водоизмещение соответствовало натурному судну с полным подводным водоизмещением 12 000 т.

В опытах наибольший интерес представляли параметры резонансных ИГВ, поэтому буксировки модели выполнялись в узком скоростном диа-

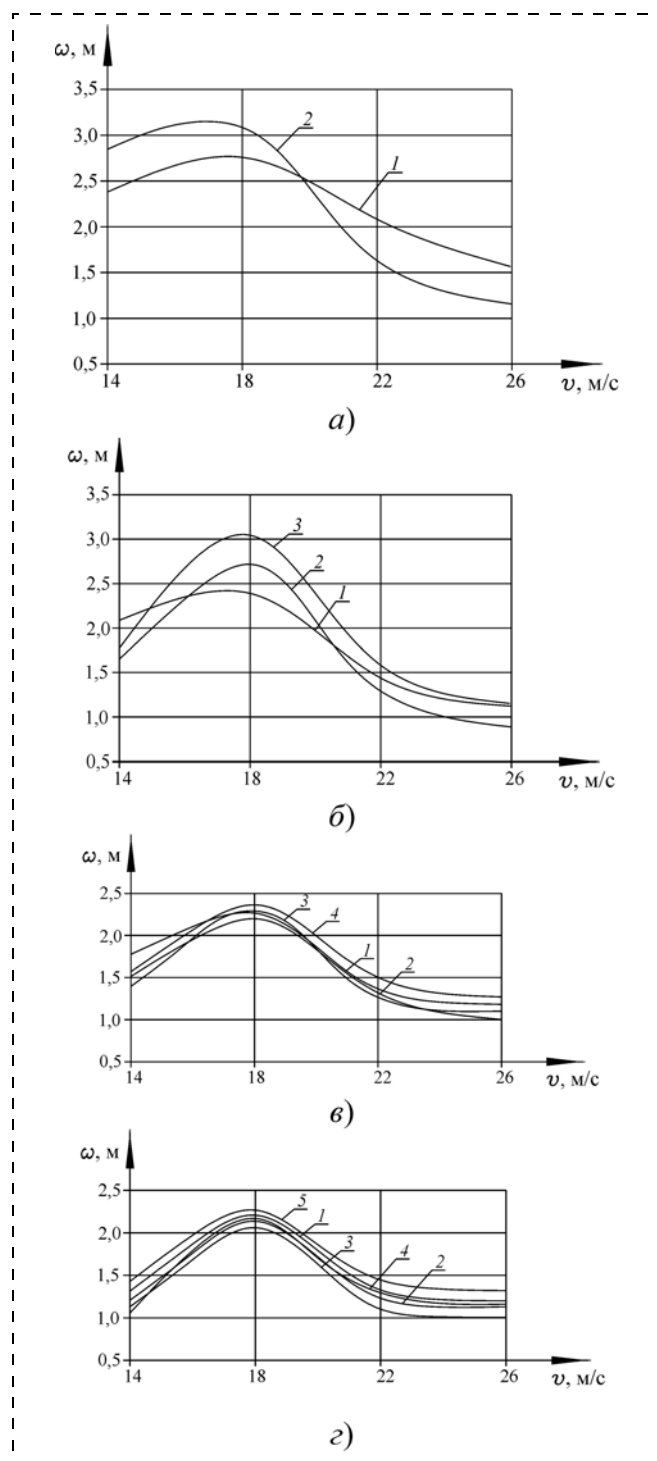


Рис. 2. Графики зависимости максимальных прогибов ω от скорости движения ПС v при относительной глубине акватории \bar{H} : а — $\bar{H} = 0,35$ при относительном заглублении ПС \bar{h} : 1 — $\bar{h} = 0,2$; 2 — $\bar{h} = 0,25$; б — $\bar{H} = 0,45$ при относительном заглублении ПС \bar{h} : 1 — $\bar{h} = 0,2$; 2 — $\bar{h} = 0,25$; 3 — $\bar{h} = 0,3$; в — $\bar{H} = 0,55$ при относительном заглублении ПС \bar{h} : 1 — $\bar{h} = 0,2$; 2 — $\bar{h} = 0,25$; 3 — $\bar{h} = 0,3$; 4 — $\bar{h} = 0,4$; з — $\bar{H} = 0,65$ при относительном заглублении ПС \bar{h} : 1 — $\bar{h} = 0,2$; 2 — $\bar{h} = 0,25$; 3 — $\bar{h} = 0,3$; 4 — $\bar{h} = 0,4$; 5 — $\bar{h} = 0,5$

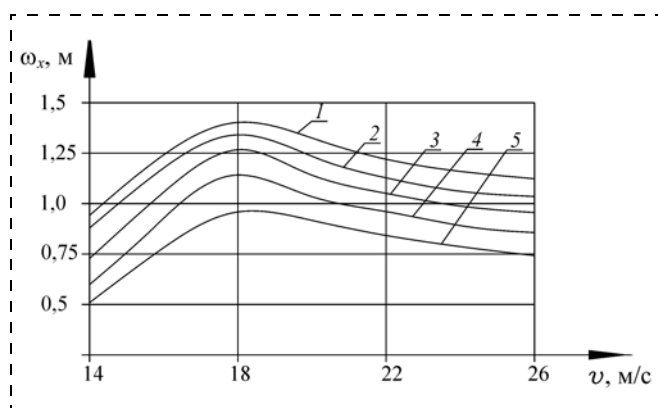


Рис. 3. Графики зависимости прогибов ω_x от скорости движения ПС v при бесконечной глубине дна при относительном заглублении ПС \bar{h} :

1 — $\bar{h} = 0,2$; 2 — $\bar{h} = 0,25$; 3 — $\bar{h} = 0,3$; 4 — $\bar{h} = 0,4$; 5 — $\bar{h} = 0,5$

пазоне. В ходе экспериментов определялись значения амплитуд резонансных ИГВ при различных относительных заглублениях ПС \bar{h} , и глубинах акватории \bar{H} .

По максимумам динамических прогибов ледяной пластины определялись соответствующие значения резонансной скорости ПС, обеспечивающей наибольшую эффективность гидродинамического воздействия на ледяной покров. В ходе экспериментов она составила 18 м/с, причем, как видно из графиков, построенных после пересчета моделируемых параметров на натуру (рис. 2), ее значения не зависели от заглубления модели и глубины акватории.

Данные модельных экспериментов после пересчета на натуру сравнивались с данными движения ПС под поверхностью сплошного ледяного покрова при бесконечном заглублении дна (рис. 3). На основе полученных результатов была построена зависимость относительных максимальных прогибов. Под относительными максимальными прогибами понималось отношение $\bar{\omega} = \omega/\omega_x$, где ω — максимальные значения прогибов в условиях мелкой воды; ω_x — максимальные значения прогибов в сплошном льду при бесконечной глубине (рис. 4).

Из графиков, приведенных на рис. 2, 3, видно, что при движении ПС под поверхностью льда на минимальном заглублении в условиях мелкой воды амплитуды колебаний ледяного покрова резко возрастают, по сравнению с движением на беско-

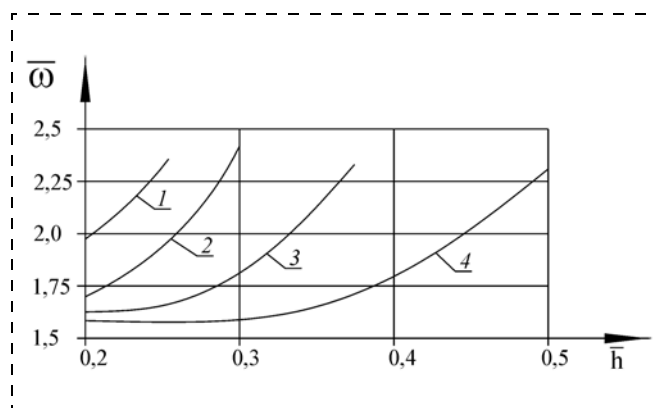


Рис. 4. Графики зависимости относительных максимальных прогибов $\bar{\omega}$ от относительного заглубления ПС \bar{h} при относительной глубине акватории \bar{H} :

1 — $\bar{H} = 0,35$; 2 — $\bar{H} = 0,45$; 3 — $\bar{H} = 0,55$; 4 — $\bar{H} = 0,65$

нечном заглублении дна. Особенно ярко это проявляется при скоростях, близких к резонансным, в этом случае амплитуды увеличиваются в 1,5–2 раза. Однако движение судна вблизи поверхности дна, т. е. с увеличением заглубления, при прочих равных условиях увеличивает максимальные амплитуды до 2,5 раз.

Выполненные модельные исследования позволяют сделать вывод, что эффективное разрушение ледяного покрова резонансным методом происходит при движении ПС с резонансной скоростью вблизи поверхности дна в условиях мелкой воды, что значительно эффективнее и безопаснее, чем движение под поверхностью льда на малых заглублениях.

Список литературы

1. Козин В. М. и др. Ледоразрушающая способность изгибно-гравитационных волн от движения объектов. — Владивосток: Дальнаука, 2005. — 191 с.
2. Козин В. М., Онищук А. В. Модельные исследования волнообразования в сплошном ледяном покрове от движения подводного судна // ПМТФ. — 1994. — № 2. — С. 78–81.
3. Козин В. М., Земляк В. Л. Обеспечение всплытия подводных судов в сплошных льдах в различных ледовых условиях // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2008. — № 6. — С. 27–34.
4. Козин В. М. Обоснование исходных данных для выбора основных параметров СВП, предназначенных для разрушения ледяного покрова резонансным способом // Рукопись диссертации на соиск. уч. степени к. т. н. — Горький: ГПИ им. А. А. Жданова, 1983 г., 314 с.

УДК 621.436.2

Ю. А. Антипов, канд. техн. наук, **И. А. Барский**, канд. техн. наук,
И. К. Шаталов, канд. техн. наук, Российский университет Дружбы народов, Москва
 E-mail: prvm@rambler. ru

Снижение выделения оксидов азота газотурбинными установками

Использование газотурбинных установок в системе парогазовой установки снижает выделение оксидов азота на один кВт в 1,5 раза.

Ключевые слова: оксиды азота, отработавшие газы, ГТУ, ПГУ.

Antipov Yu. A., Barsky I. A., Shatalov I. K.
Reduction of nitrogen oxides emission in gas turbines

The use of gas turbines in combined installation reduces nitrogen oxides emission in 1,5 times.

Keywords: nitrogen oxides, exhaust gas, gas turbine, combined cycle.

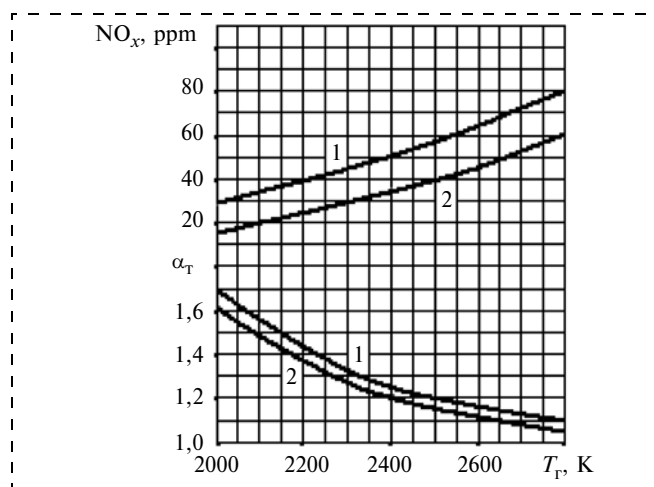
В отработавших газах (ОГ) газотурбинной установки (ГТУ) главными токсичными веществами являются: углерод (сажа) С, оксид углерода СО, углеводороды (бензопирен $C_{20}H_{12}$ и др.), сернистые соединения SO_2 , SO_3 , оксиды азота NO_x . Наиболее опасными для здоровья являются оксиды NO, NO_2 , N_2O_4 , N_2O_5 и др., сокращенно обозначаемые NO_x . Считается, что их токсичность в 10 раз выше, чем у всех других токсичных выбросов ГТУ [1].

Концентрация токсичных веществ оценивается либо в граммах на килограмм израсходованного топлива G_T , либо в миллионных долях токсичного вещества в объеме ОГ (ppm). Расход топлива при заданной мощности N_e обратно пропорционален эффективному коэффициенту полезного действия η_e ГТУ и теплоте сгорания топлива. Расход отработавших газов $G_T = (G_T/3600)(1 + \alpha L_0)$, где G_T — расход топлива; α — коэффициент избытка воздуха; L_0 — стехиометрическое отношение, равное 14,7 для жидкого топлива и 17,1 для природного газа. На расчетном режиме $\alpha = 3...5$. Объемный расход ОГ $Q = G_T/\rho$, где $\rho \approx 0,5...0,55$ кг/м³ — плотность ОГ. Имея в виду, что плотность ОГ и плотность NO_x примерно одинаковы, примем, что концентрацию NO_x в ОГ можно оценивать одной и той же величиной по объему и массе. Далее будем обозначать концентрацию оксидов азота как NO_x и измерять ее в ppm.

Многочисленные исследования показали, что концентрация NO_x зависит от температуры в зоне

горения и времени пребывания в ней горящих частиц, причем первоначально образуется оксид NO, который далее (по мере движения газовой смеси) окисляется, образуя в конце более сложные оксиды. Установлено, что величина NO_x зависит только от температуры в зоне горения T_T , а дальнейшее уменьшение температуры газа, происходящее из-за смешивания продуктов сгорания, образующихся в первичной зоне горения, со вторичным воздухом, заметно не отражается на токсичности. В первичной зоне $T_T = 2200...2400$ К (1927...2127 °С) при коэффициенте избытка воздуха в этой зоне $\alpha_T = 1,1...1,3$. На входе в турбину температура газа снижается до $T_T^* = 1200...1600$ К, а α возрастает до 3...5. Зависимость содержания $NO_x = f(T_T)$ имеет экспоненциальный характер, поэтому на выделения оксидов азота очень сильно влияет температура в зоне горения. Чем меньше размер горячей частицы, тем короче время ее пребывания в зоне реакций, поэтому однородный (гомогенный) состав смеси, когда перемешивание происходит на молекулярном уровне, обеспечивает снижение содержания NO_x .

На рисунке приведена зависимость концентрации NO_x и коэффициента избытка воздуха в зоне горения от температуры. Кривые построены по ре-



Зависимость коэффициента избытка воздуха α в зоне горения и концентрации оксидов азота NO_x от температуры газа T_T

зультатам опытов, проведенных в Московском автотехническом институте (ныне академии). Видно, что при температуре 2300 К при использовании жидкого топлива, т. е. при работе на неоднородной (гетерогенной) смеси NO_x превосходит 30 ppm, а на природном газе (гомогенная смесь) NO_x снижается до 17...19 ppm, т. е. примерно в 1,5 раза.

На токсичность сильно влияет теплонапряженность (т. е. количество теплоты, отнесенное к объему камеры сгорания) и совершенство процесса сгорания. Испытания, проведенные на заводе "Союз" [2], показали, что при работе ГТУ, созданной на базе авиационного двигателя с высокой теплонапряженностью, при переходе на природный газ NO_x достигало 40 ppm, что существенно выше, чем в стационарных ГТУ. Рабочий процесс последних характеризуется высокой полнотой сгорания (до 99 %) и, что главное, равномерностью поля температур $1 - (\Delta T_T / T_{\text{ср}})$. Если последняя величина в авиационных газотурбинных двигателях составляет 0,8...0,9, то в стационарных ГТУ она близка к единице.

Применение нейтрализаторов для уменьшения содержания NO_x в ОГ, как об этом свидетельствует опыт автомобилестроения, связано с большими затратами и трудностями. Кроме того, установка нейтрализатора приводит к значительному повышению сопротивления на выпуске (до 10 % и более). На работу двигателей внутреннего сгорания такое сопротивление практически не влияет. У ГТУ каждый процент повышения давления на выпуске снижает мощность и экономичность на 0,8...1,2 %. Поэтому установка нейтрализатора снизит эти параметры на 5...10 %.

Для кратковременного уменьшения NO_x можно использовать впрыск воды в компрессор, что не только повышает мощность ГТУ, но и снижает содержание NO_x на 25...30 % за счет снижения T_T [3, 4]. Однако это требует очень большого расхода дистиллированной воды, составляющего до 3...4 % расхода воздуха. В ГТУ мощностью 100 МВт расход воздуха составляет около 300 кг/с, что требует затрат воды около 10 кг/с или 36 т/ч. Кроме того, при впрыскивании воды возникают проблемы, связанные с коррозией и эрозией деталей.

В последние годы в энергетике все шире применяются парогазовые установки (ПГУ). Существует полуэмпирическая зависимость между эффективным коэффициентом полезного действия η_e и мощностью N_e ГТУ и теми же величинами для ПГУ: $\eta_{\text{ПГУ}} = 1,5\eta_e$ и $N_{\text{ПГУ}} = 1,5N_e$. Имея в виду, что коэффициент полезного действия (КПД) лучших энергетических ГТУ с учетом сопротивления на входе и выходе достигает 34...36 %, то из этого следует, что $\eta_{\text{ПГУ}} = 0,52...0,54$. Напомним, что эф-

фективный КПД ПГУ, установленных на электростанциях, составляет 0,38...0,42.

Количество оксидов азота, выделяемых ГТУ, кг/ч:

$$G_{\text{NO}} = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{NO}_x G_T.$$

Здесь содержание NO_x приведено в ppm, расход газов G_T — в кг/с.

Удельные выделения оксидов азота, г/(кВт · ч)

$$g_{\text{NO}} = \frac{G_{\text{NO}}}{N_e} = 3,6 \text{NO}_x \frac{G_T}{N_e},$$

где размерность N_e — киловатты.

Следует отметить, что в современных энергетических ГТУ удельная мощность N_e/G_T составляет 200...300 кВт/(кг/с).

В системе Мосэнерго эксплуатируется однавальная ГТУ SGT-800 фирмы Siemens мощностью 45 МВт, имеющая (без сопротивлений на входе и выходе) КПД $\eta_e = 0,37$ при расходе газа 130 кг/с [5]. При работе на природном газе и жидком топливе величины NO_x соответственно равны 15 и 25 ppm. Это значит, что ГТУ выделяет на природном газе $G_{\text{NO}} = 3600 \cdot 15 \cdot 130 \cdot 10^{-3} = 7,02$ кг/ч или $3600 \cdot 15 \times 130/4500 = 0,000156$ кг/кВт · ч и $g_{\text{NO}} = 7,02 \times 1000/45 000 = 0,156$ г/кВт · ч.

Мощность ПГУ в 1,5 раза выше, чем ГТУ, а расход газа и содержание оксидов азота NO_x остается тем же самым. Это значит, что выделение оксидов азота на один кВт и в ПГУ в 1,5 раза меньше, чем в ГТУ.

Выводы

1. В современных энергетических ГТУ концентрация оксидов азота в ОГ составляет 15...20 ppm при работе на газе и 25...30 ppm при работе на жидком топливе.

2. Впрыскивание воды в компрессор может снизить NO_x на 25...30 %.

3. Наиболее эффективный путь снижения выделения оксидов азота в атмосферу является применение ПГУ, у которых выделение NO_x на киловатт · час примерно в 1,5 раза меньше, чем в ГТУ.

Список литературы

1. **Сторожук Я. П.** Камеры сгорания стационарных ГТУ и ПГУ. — Л.: Машиностроение, 1978.
2. **Скибин В. А.** и др. Влияние различных топлив на работу авиационного двухвального ГТД // Транспорт и подземное хранение газов. — 1998. — № 5.
3. **Алексеев А. П.** и др. Влияние впрыска воды на токсичность ГТУ // Транспорт и подземное хранение газов. — 1999. — № 2.
4. **Шаталов И. К., Барский И. А.** Регулируемые характеристики ГТУ. — М.: РУДН, 2003.
5. **Siemens AG Power Generation.** 47053 Duisburg, Germany, 2005.



УДК 662.613.12:662.68

Э. Р. Бариева¹, канд. биол. наук, доц., Э. А. Королев², канд. геол.-минер. наук, доц.,
Е. С. Егорова¹

¹ Казанский государственный энергетический университет

² Казанский государственный университет

E-mail: lenusik88@list.ru

Рециклинг шламовых отходов химводоподготовки тепловых электростанций города Казани в производстве керамического кирпича

Проведено изучение состава шламовых отходов теплоэнергетических комплексов. На основании полученных данных предлагается их использование в строительной промышленности.

Ключевые слова: отходы, шлам химводоподготовки, керамический кирпич.

Barieva E. R., Korolev E. A., Egorova E. S.
Recycling slime waste chemical water-preparation of thermal electromain lines of the city of Kazan in manufacture of the ceramic brick

We examine the composition of shlamе wastes in Kazan thermal electric power plant-2. On the basis of the received data it is offered their uses in a building industry.

Keywords: waste, slime chemical water-preparations, ceramic brick.

В производственном цикле крупных тепловых электростанций в обязательном порядке присутствует процесс водоподготовки. Сущность данного процесса заключается в удалении из природной воды различных водорастворимых солей, способных образовывать накипь на стенках трубопроводов. Обессоливание воды на большинстве предприятий осуществляется с помощью специальных фильтров, на которых селективно осаждаются те или иные микроэлементы, присутствующие в воде. Побочным продуктом технологии обессоливания являются так называемые шламовые отходы, представляющие собой соли извлеченных из воды металлов и реагентов обмывочных жидкостей.

Шламовые отходы химводочистки данных предприятий являются серьезной проблемой в цикле этого производства. В настоящее время шлам практически не используется. В результате этого на электростанциях России скопилось большое его количество. На многих станциях шламонакопители переполнены, что вызывает необходимость строительства новых шламоотстойников большой площади. На сегодняшний день вывоз и утилизация

шламовых отходов является одной из важнейших проблем технологического и экологического плана.

Между тем шламовые отходы химводочистки могут представлять определенный интерес в качестве промышленного сырья для некоторых видов производства. За рубежом этот вид отходов находит применение в производстве керамических изделий, в дорожном строительстве и т. д. В России промышленные отходы, в том числе и шлам, до недавнего времени вообще не рассматривались в качестве возможного вторичного сырья, что, с одной стороны, было обусловлено наличием в больших объемах необходимых природных ресурсов, с другой, устоявшимся отношением к отходам как к никому ненужному материалу. Лишь в последнее десятилетие, в связи с ужесточением экологических требований к хранению и утилизации отходов, многие из них стали рассматриваться в качестве потенциального сырья [2].

Однако, чтобы определить промышленную значимость того или иного вида отходов, необходимо иметь информацию об их составе и свойствах. В связи с этим было проведено изучение шламовых отходов химводочистки казанских тепловых электростанций.

В пределах шламонакопителей шлам представляет собой обводненную густую массу рыжевато-розоватого цвета. После высушивания он приобретает сыпучие свойства порошка, что указывает на отсутствие в нем вяжущих веществ, способных цементировать твердые компоненты шлама. Сухой шлам характеризуется весьма высокой дисперсностью, которая обусловлена присутствием в его составе до 75 % твердых частичек размером 10...25 мкм. Проведенный рентгенографический анализ показал, что шлам практически полностью состоит из карбоната кальция — CaCO_3 . Лишь рыжеватая окраска шлама указывает на присутствие в его составе небольшой механической примеси гидроокислов железа. Судя по тому, что на рентгеновских дифрактограммах нет отражений от этих соединений, можно предположить, что гидроокислы железа присутствуют в шламе в виде частиц коллоидной размерности. Таким образом, можно заключить, что сухой шламовый остаток практически полностью

состоит из карбоната кальция с небольшой примесью гидроокислов железа.

Обычно природные карбонатные материалы с подобным составом используются для производства воздушной извести. Однако в случае со шламом следует учитывать его высокую влажность, которая будет заметно снижать активность полученной извести [1]. По-видимому, только при внедрении на теплоэнергетических комплексах системы обезвоживания шлама его можно будет использовать для производства извести. Сейчас же, при существующем положении вещей, в качестве одного из перспективных направлений использования шлама можно рассматривать производство красного керамического кирпича. Не секрет, что в настоящее время к строительным материалам предъявляют повышенные требования по эстетическим свойствам. В архитектурную моду входят многоцветные композиции, украшающие фасады зданий. В связи с этим перед производителями стоят задачи по повышению цветовой гаммы облицовочного кирпича. Одним из способов расширения существующей номенклатуры красного кирпича является введение в состав керамической шихты солей щелочных металлов, способных изменить окраску изделий. В качестве подобной добавки и предлагается использовать шламовые отходы.

Однако для решения данной проблемы необходим подбор и оптимизация компонентного состава сырьевой смеси и режимов обжига, обеспечивающих направленное фазообразование в процессе спекания керамической шихты. Поэтому первым этапом работы являлось определение оптимального количества добавки шлама в керамическую шихту. Для этого в глину, являющуюся сырьевым материалом для производства красного кирпича, добавляли 10, 20, 30 и 40 % сухого шлама. Подготовленные таким образом шихты тщательно перемешивали до получения однородной массы. Затем полученные смеси замешивали необходимым количеством воды и утрамбовывали в подготовленные формочки в виде куба со сторонами $2 \times 2 \times 2$ см. Одновременно из глины-сырца, не содержащей добавки шлама, изготавливали эталонные образцы. После высушивания кубики извлекались из формочек и помещались в муфельную печь, где в течение 6 ч обжигались при температуре 1000°C . Визуальный осмотр полученных таким образом керамических изделий показал, что все они в процессе обжига сохранили свою заданную форму. Проявление деформаций типа искривления, вздутий и растрескивания не наблюдалось. При этом окраска изделий, содержащих примесь шлама, заметно изменилась по сравнению с эталонными образцами. Интенсивность изменения окраски находится в прямой зависимости от содержания шламовой добавки (табл. 1).

Как видно из таблицы, по мере повышения содержания в керамической шихте тонкодисперсного карбоната кальция происходит последователь-

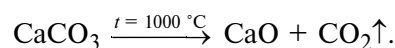
Таблица 1

Изменение окраски полученных керамических изделий в зависимости от состава шихты

Состав керамической шихты	Окраска изделия после обжига
Глина без добавки	Темно-красная, до коричневого
Глина с добавкой шлама, %:	
10	Кирпично-красная, более светлая по сравнению с эталоном
20	Красновато-розовая с желтоватым оттенком
30	Розовато-оранжевая
40	Оранжево-желтая

ное осветление окраски изделий. Однако по мере увеличения относительного содержания шлама в изделиях меняется не только окраска, но их физико-механические свойства. В частности, происходит уменьшение объемной массы и плотности керамических изделий, что одновременно сопровождается повышением их пористости (табл. 2).

Такая тенденция обусловлена свойством карбоната кальция (CaCO_3) разлагаться под действием высоких температур по нижеприведенной реакции:



В результате подобного термического преобразования в керамическом черепке на месте локализации частичек шлама образуются пустоты. Естественно, чем выше содержание шлама в керамической шихте, тем большее количество пустот возникнет в обожженном изделии.

Интересным фактом является то, что, несмотря на достаточно высокую пористость керамических изделий, содержащих 30...40 % шламовой добавки, они, тем не менее, не разваливаются на куски, а держат заданный объем. Возможно, в дальнейшем таким образом можно будет получать высокопористые керамические изделия, обладающие хорошими теплоизоляционными свойствами. Однако для изготовления стеновых керамических кирпичей это недопустимо, что подтверждают результаты испытания прочности керамических изделий на сжатие (рис. 1).

На приведенном графике, отражающем изменение прочностных характеристик изделий в зависимости от относительного содержания шламовой добавки, видно, что оптимальным является введе-

Таблица 2

Изменение физических характеристик полученных керамических изделий в зависимости от относительного содержания в составе шихты шламовой добавки

Состав керамической шихты	Объемная масса, г	Плотность, г/см^3	Пористость, %
Глина без добавки	14,50	0,906	9,0
Глина с добавкой шлама, %:			
10	14,2	0,887	12,0
20	13,67	0,850	18,0
30	12,42	0,776	23,0
40	11,63	0,727	28,0

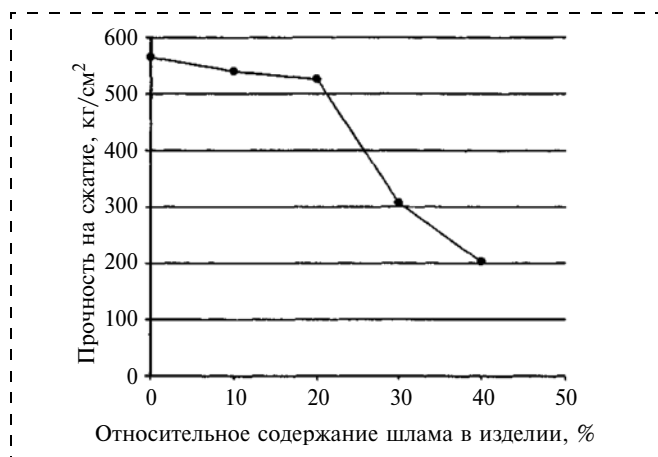


Рис. 1. Изменение прочности керамических изделий на сжатие в зависимости от относительного содержания в них добавки шлама

ние в состав керамической шихты шлама в количестве около 20 %. Именно при таком его содержании прочность изделий соответствует нормам, регламентированным ГОСТ 530—95, т. е. выдерживают нагрузку не менее 500 кг на 1 см². При больших количествах шлама прочностные показатели керамических изделий начинают ухудшаться, что обусловлено уменьшением плотности кристаллизационных контактов между спекшимися минеральными частицами в объеме изделий.

Одна из основных проблем использования шламовых отходов в качестве компонента керамической шихты при производстве красного кирпича заключается в необходимости создания таких условий обжига, при которых оксиды кальция будут связываться в устойчивые долговечные соединения. В противном случае кирпич через какое-то время будет разрушаться под воздействием внешних условий среды. Поэтому следующим этапом работы являлось изучение состава кристаллических фаз керамических черепков, полученных из шихты с различным содержанием шлама. Для этой цели все керамические изделия после проведенных физико-механических испытаний были подвергнуты рентгенографическому анализу.

В результате проведенных исследований было установлено, что в зависимости от относительного содержания шлама в керамической шихте определенным образом меняется не только цвет изделий, но и химический состав. На дифрактограмме эталонного образца, т. е. без шламовой добавки, видно, что основными кристаллическими фазами являются кварц (SiO_2), альбит ($\text{Na}[\text{Al}_2, \text{Si}_2\text{O}_6]$), калиевые полевые шпаты ($\text{K}[\text{Al}_2, \text{Si}_2\text{O}_6]$) и гематит (Fe_2O_3). Помимо кристаллических фаз фиксируется наличие большого количества аморфного вещества, представленного продуктами термической диссоциации глинистых минералов. Очевидно, что кварц, альбит и калиевые полевые шпаты, в силу своей более высокой тугоплавкости, явля-

ются неизменными минералами, изначально присутствующими в глинистом сырье, а вот гематит и аморфная фаза — представляют собой новообразованные соединения. Именно гематит, образовавшийся в результате окисления и собирательной рекристаллизации адсорбированных на поверхности глинистых частичек комплексных соединений железа, и обуславливает темно-красную до коричневого окраску обожженных керамических черепков.

В керамических изделиях, содержащих добавку шлама, в дополнение к имеющимся кристаллическим фазам, прибавляется сложное кристаллохимическое соединение с пироксеновой структурой — геленит ($\text{Ca}_2\text{Al}_3\text{Si}_2\text{O}_7$). Его появление, очевидно, является следствием химического взаимодействия продуктов термической диссоциации карбоната кальция с фрагментами структуры глинистых минералов. Высвобождающийся в процессе реакции термического разложения CaCO_3 оксид кальция (CaO) при существующих в печи физико-химических условиях является высоко реакционным соединением. Поэтому практически сразу он начинает взаимодействовать с комплексными кремнеземистыми и глиноземистыми соединениями разложившихся глинистых минералов. Поскольку в керамическом черепке при обжиге создается избыток реакционноспособных алюмосиликатных комплексов, то практически весь оксид кальция связывается в геленит, не образуя собственную фазу.

На полученных дифрактограммах видно, что по мере увеличения относительного содержания шлама интенсивность рефлексов геленитовой фазы неуклонно возрастает. Одновременно с этим наблюдается синхронное уменьшение интенсивности рефлексов, принадлежащих гематиту. Чтобы наглядно показать эту тенденцию, был построен график, отражающий изменение интенсивности геленитовых и гематитовых рефлексов (рис. 2).



Рис. 2. Изменение интенсивности диагностических рефлексов $d = 2,84$ А геленита (линия с черными точками) и $d = 2,69$ А гематита (линия с белыми точками) в зависимости от относительного содержания шлама в изделии (d — межплоскостное расстояние)

Следует сказать, что интенсивность рефлексов в значительной степени зависит от относительного содержания вещества в образце. Поэтому на графике фактически регистрируется уменьшение в образцах гематитовой составляющей и увеличение геленитовой фазы. Подобная тенденция дает все основания считать, что добавка шлама в керамической шихте подавляет образование Fe_2O_3 , изменяя таким образом окраску керамического изделия.

Как следует из вышеприведенных результатов исследования, добавка шлама к керамической шихте весьма активно участвует в химических процессах, протекающих при термической обработке изделий. Она не только способствует осветлению керамических черепков, но и приводит к образованию новой геленитовой фазы, которая за счет дополнительных кристаллизационных контактов будет увеличивать их прочностные характеристики. Это особенно важно, так как при термической диссоциации $CaCO_3$ в изделиях не образуется такого неустойчивого соединения как оксид кальция, который при взаимодействии с атмосферной средой способен образовывать различные соли, со временем снижающие прочностные характеристики изделий.

Выводы

Шлам, образующийся в результате химводоподготовки на тепловых электростанциях, можно рекомендовать к использованию в качестве модифицирующей добавки при изготовлении керамических кирпичей.

При изготовлении стеновых керамических кирпичей содержание шлама в керамической шихте не должно превышать 20 %.

Шлам активно участвует в процессах термического преобразования кристаллохимических соединений керамической шихты. При этом он подавляет процесс образования гематита, определяющего окраску готовых керамических изделий, и стимулирует образование геленита.

Список литературы

1. Седлов А. С., Шищенко В. В., Жидких В. Ф. и др. Состояние и основные пути решения проблемы утилизации шламов осветлителей ТЭЦ АО "Мосэнерго" // Вестник МЭИ. — 1998. — № 1. — С. 15–18.
2. Яценко Н. Д., Паламарчук А. В. Обеспечение безотходных режимов водопользования химводоочисток ТЭС и АЭС // Экология промышленного производства. — 2002. — № 2. — С. 27–29.

УДК 614:57.022:629.12

Е. В. Касперович, асп., ФГУ "Камчаттехмордирекция", г. Петропавловск-Камчатский
E-mail: kasperovich@mail.ru

Оценка массы сброса загрязняющих веществ со стоками судов в промысловые подзоны Охотского моря

Описана методика определения массы сброса загрязняющих веществ со стоками рыбодобывающих и обеспечивающих судов в промысловые подзоны Охотского моря. Методика направлена на выявление и прогнозирование чрезвычайных экологических ситуаций, обусловленных техногенным загрязнением моря. Показано, что повседневная деятельность рыбопромыслового и обеспечивающего флота сопровождается недопустимо большим сбросом массы загрязняющих веществ.

Ключевые слова: методика, чрезвычайная ситуация, Охотское море, промысловая подзона, сброс, стоки, концентрации, загрязняющие вещества, вредные вещества, морские суда, хозяйственно-фекальные воды, технологические воды, льяльные воды.

Kasperovich E. V. *Mass evaluation of the environment contaminants discharged to sea of Okhotsk fishery subareas in ship's sewage*

Evaluation procedure has to be proposed for mass of contaminants disposed in sewage of fishing ships and supplying ships to the sea of Okhotsk fishery subareas. Procedure is aimed to disclosure and prediction the emergency situations are caused by anthropogenic sea pollution. Routine activity of fishing ships and supplying ships was demonstrated to have intolerable discharge of environment contaminants.

Keywords: procedure, emergency situation, sea of Okhotsk, fishing subarea, discharge, pollution flow, concentration, environment contaminants, harmful contaminants, sea ship, residential sewage, industrial sewage, bilge waters.

Охотское море известно своей уникальной видовой, особо продуктивной экосистемой. В нем сосредоточены места нереста и нагула молоди рыб и морских беспозвоночных, ареалы обитания и лежбища морских млекопитающих, места пролетных скопле-



ний птиц прибрежных экосистем, мигрирующих водоплавающих птиц и птичьих базары. Рыбохозяйственное районирование Охотского моря делит его на промысловые подзоны, включающие внутренние морские воды, континентальный шельф, территориальное море и исключительную экономическую зону Российской Федерации. Во время зимней минтаевой путины в Охотском море на промысле сосредоточено большое количество судов. Так, например, в Северо-Охотоморской и Западно-Камчатской промысловых подзонах Охотского моря число судов может достигать 1000 единиц [2].

В процессе нормальной эксплуатации судна образуются хозяйственно-фекальные, технологические и льяльные стоки, сбрасывать которые разрешено при определенных условиях только в исключительной экономической зоне РФ. Однако суда, ведущие промысел, находятся на значительном географическом удалении от природоохранных органов и не оборудованы современными системами контроля, позволяющими обеспечивать эффективную экологическую безопасность.

Исследование работ, посвященных борьбе с загрязнением поверхности морских акваторий на Дальнем Востоке, показали, что даже в портах складывается неблагоприятная экологическая обстановка. Так, например, в портах Магадан и Петропавловск-Камчатский отсутствуют организации по приему сточных вод и мусора с судов, а также мощности по приему льяльных вод не соответствуют требуемым объемам для сдачи. В районе западного побережья Камчатки отсутствуют портпункты, оборудованные сооружениями для приема и обезвреживания судовых отходов и накопленных стоков. Сложившаяся ситуация дает возможность капитанам судов проводить несанкционированный сброс загрязненных вод в море. Так, например, встречаются сообщения о том, что перед заходом в порт, чаще в темное время суток, в нарушение норм законодательства многие суда, заходящие во Владивосток, стараются освободиться от льяльных вод, отработанных масел и мусора, сбрасывая их за борт [5]. Подобная ситуация наблюдается и в других морских портах Дальнего Востока.

В работе [3] показано, что льяльные воды, даже прошедшие механическую обработку, не могут быть сброшены за борт, потому что представляют экологическую опасность для окружающей среды. В составе льяльных вод присутствуют растворенные нефтепродукты, концентрация которых в 400 раз превышает ПДК. Объемная концентрация нефтепродуктов в льяльных водах составляет, в среднем, $\varphi \cong 0,3$ [3], т. е. примерно 30 % от общего объема образующихся льяльных вод на судне составляют нефтепродукты, которые возможно вторично использовать.

Сочетание фактора высокой концентрации судов в определенных районах Охотского моря в период промысла и фактора удаления судовых сто-

ков без обезвреживания создает опасность возникновения экологической чрезвычайной ситуации, для выявления и прогнозирования которой необходима оценка массы сброса вредных веществ, поступающих со стоками судов. Однако в настоящее время отсутствует методика, позволяющая определить массы сброса загрязняющих веществ, поступающих от передвижных источников в море.

Предлагаемая методика позволяет использовать существующую отраслевую систему мониторинга (ОСМ) водных биологических ресурсов для определения массы сброса загрязняющих веществ с судов. Рассмотрим условия, при которых определяется масса загрязняющих веществ, поступающих в водный объект со сточными водами, для стационарных источников:

$$m_i = VC_i \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где m_i — масса i -го вредного (загрязняющего) вещества, например, нефтепродуктов, кг; величина m_i определяется количеством заходов в промысловый район и временем пребывания там; V — объем сбрасываемых сточных вод, м^3 ; C_i — концентрация i -го вредного (загрязняющего) вещества на сбросе сточных вод, мг/л ; 10^{-3} — единица перевода размерности величин.

Накопление судовых стоков (включая льяльные воды) зависит от интенсивности судоходства [1, 4]. В этом случае формула (1) для передвижных источников сброса принимает вид:

$$m_i = QC_i t \cdot 10^{-3}, \quad (2)$$

где m_i — масса i -го вредного (загрязняющего) вещества, сбрасываемого в составе конкретного стока одного судна, кг; Q — расход воды, поступающей на производственные (технологические) или хозяйственно-бытовые нужды, необходимый для расчета определенного стока, а также накопление льяльных (нефтесодержащих) вод в цистернах, $\text{м}^3/\text{сут.}$; C_i — концентрация i -го вредного (загрязняющего) вещества в сбрасываемом стоке, мг/л ; t — время пребывания судна в определенном промысловом районе, сут.

Для определения суммарной массы сброса i -го загрязняющего вещества, поступающего в водный объект от всех находящихся в промежутке времени в промысловом районе судов по одному виду стока, $m_{\Sigma i}$ (кг) формула (2) примет вид:

$$m_{\Sigma i} = \Sigma QC_{(C)} t_{\eta} \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

где ΣQ — суммарный расход воды, $\text{м}^3/\text{сут.}$; $C_{(C)}$ — усредненная концентрация i -го вредного (загрязняющего) вещества одного вида стока, мг/л ; t_{η} — интенсивность судоходства, т. е. количество заходов в промысловую подзону судов рыбной промышленности за период времени, сут. Один судно-

заход равен нахождению судна в рыбопромысловой подзоне не менее 12 ч.

Во всех стоках судна содержатся практически идентичные загрязняющие вещества (например, взвешенные вещества, фосфаты и т. д.), а также вещества, присущие конкретному виду стока. Поэтому для определения суммарной массы сброса i -го загрязняющего вещества, поступающего в водный объект со всех стоков заданного количества судов в промысловый район, формула (3) примет вид:

$$\Sigma m_i = \sum_{i=1}^{m_{\Sigma i}} \cdot 10^{-3}, \quad (4)$$

где Σm_i — совокупная масса i -го загрязняющего вещества, сброшенная за определенный период времени от всех находящихся в промысловом районе судов, содержащегося во всех видах стока, т.

Суммарный расход воды ΣQ производственных (технологических), хозяйственно-бытовых и льяльных вод определяется как сумма произведений общего накопления (расхода) Q определенного стока на определенном типе судов s в промысловом районе в определенный период времени, $\text{м}^3/\text{сут}$.

$$\Sigma Q = \frac{Q_{s1}n_1 + Q_{s2}n_2 + \dots + Q_{sx}n_x}{K}, \quad (5)$$

где n — количество судов определенного типа, находящихся в промысловом районе в определенный период времени; s — тип (проект) судна, находящегося в промысловом районе в определенный период времени; K — рассматриваемый промежуток (период) времени, ед.

Интенсивность судоходства t_{η} определяется с помощью ОСМ водных биологических ресурсов, наблюдения и контроля за деятельностью промысловых судов.

Для определения интенсивности судоходства использовались данные электронных таблиц, составленных по форме № 2.8. "Диаграмма и анализ работы промысловых судов" Камчатским центром связи и мониторинга. Данные по интенсивности судоходства в Западно-Камчатской рыбопромысловой подзоне за период с 2003 по 2008 г. представлены в табл. 1.

Кроме того, для использования предлагаемой методики были рассчитаны данные по интенсивности судоходства по всем рыбопромысловым участкам Охотского моря за период с 2003 по 2008 г.,

Таблица 1

Данные по интенсивности судоходства в Западно-Камчатской рыбопромысловой подзоне за период с 2003 по 2008 г.

Период, год	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Количество судозаходов, сутки	1710	1707	1983	619	551	526

Таблица 2

Разграничение количества судозаходов в рыбопромысловые подзоны по водоизмещению судна в 2006 г.

Водоизмещение судна, т	Камчатско-Курильская подзона	Северо-Охотоморская подзона	Западно-Камчатская подзона	Охотоморская Южно-Курильская подзона
до 100	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
100...250	2	0	0	52
250...500	67	18	35	24
500...750	2	2	1	0
750...1000	194	228	217	41
1000...1250	11	9	9	2
1250...1500	40	33	43	4
1500...4000	98	96	93	37
4000...10 000	116	109	112	20
10 000...25 000	10	10	11	6
более 25 000	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
ИТОГО за 2006 г.	540	505	521	186

Таблица 3

Концентрация загрязняющих веществ, содержащихся в сбросе сточных вод технологических помещений судна

Наименование загрязняющих (вредных) веществ	Концентрация в пробе, мг/л
Взвешенные вещества	412,5
Ион аммония	0,068
Нитрит ион	155,2
Нитрат ион	0,069
Фосфаты	2,6
Фосфор общий	2,7

а также разграничение количества судозаходов в рыбопромысловые подзоны по типу и водоизмещению судна за период с 2006 по 2008 г.

В качестве примера в табл. 2 представлены результаты обработки установленного на базе ФГУ "Камчаттехмордирекция" электронного интерфейса ОСМ от Камчатского центра связи и мониторинга.

Усредненная концентрация i -го вредного вещества в сбрасываемых стоках, $C_{(C)}$, мг/л ($\text{мг}/\text{дм}^3$), вычисляется как средняя величина между известными значениями загрязняющих веществ, полученных за предыдущие годы. В табл. 3 приведены концентрации загрязняющих веществ, содержащихся в сбросе сточных вод технологических помещений судна, составленные по информации, собранной в различных лабораториях Камчатского края за период с 1998 по 2008 г.

Усредненные показатели загрязняющих веществ, рассчитанные автором как среднее арифметическое содержание загрязняющих веществ за два года по шести выпускам хозяйственно-фекальных вод поселков с учетом особенностей судовых условий (отсутствие очистных, соединенной лив-



Таблица 4

Усредненные показатели загрязняющих веществ хозяйственно-фекальных вод

Наименование загрязняющих (вредных) веществ	Концентрация в пробе, мг/л
БПК ₂₀ (БПК ₅)	100,58 (75,62)
Взвешенные вещества	117,35
Ион аммония	26,49
Нитрит ион	0,39
Нитрат ион	1,90
Фосфор общий	3,26
Хлориды	37,50
Сульфаты	<50
Железо	0,67
АПАВ	1,21
Нефтепродукты	0,56
Сухой остаток	285,19

Таблица 5

Результаты химического анализа льяльных вод

Наименование загрязняющих (вредных) веществ	Значение в пробе, мг/л		
	Минимальное	Усредненное	Максимальное
Взвешенные вещества	55,00	290,79	867,00
Ион аммония	0,00	0,64	1,51
Нитрит ион	0,00	0,02	0,09
Нитрат ион	0,02	0,12	0,40
Фосфор	0,22	0,71	2,41
Хлориды	2454	10 372	16 203
Сульфаты	43,26	157,02	275,70
АПАВ	0,18	2,48	11,27
Нефтепродукты	0,15	7,22	>20
Хлорность, (‰)	6,23	14,23	17,40
Соленость, (‰)	11,28	25,72	31,44

невой канализации, специфических стоков промышленных предприятий и т. д.), даны в табл. 4.

В 2004 и 2005 гг. с целью определения химического состава льяльных вод был проведен отбор и анализ проб более чем на 50 судах рыбной промышленности. Пробы отбирались в стояночном режиме из цистерны льяльных сепарированных вод, подготовленных к сбросу за борт. В табл. 5 показаны результаты химического анализа льяльных вод.

При проведении исследований в области качественного состава судовых стоков, показанного в табл. 3, 4, 5, установлено, что многие показатели загрязняющих веществ превышают на сбросе предельно допустимые концентрации (ПДК), установленные для рыбохозяйственных водоемов.

Так, например, лимитирующий показатель вредности фосфора относится к токсикологическому, т. е. оказывает прямое токсическое действие на водные организмы и имеет 1-й класс опасности, т. е. чрезвычайно опасный. Превышение фосфора зафиксировано в сбросе судовых льяльных, технологических, хозяйственно-фекальных водах в 1,2; 4,4 и 5,3 раза соответственно.

Рассмотрим далее как определять расход воды Q . По данным исследований, проведенных Ленинградским институтом водного транспорта, объемы среднесуточных накоплений хозяйственно-фекальных сточных вод можно определять исходя из следующих показателей [1]: по грузовому флоту 200...250 л/чел, по пассажирскому флоту 250...300 л/чел. Было отмечено также, что накопление сточных вод происходит крайне неравномерно (например, в периоды стоянок судов в портах оно резко снижается), а их состав близок к городским.

В настоящее время для рыбоперерабатывающих заводов и судов нет действующих нормативов по использованию воды. При обработке рыбного сырья на промысловых судах и береговых рыбзаводах используются аналогичные технологии, поэтому для расчета сброса стоков от технологических помещений судов были использованы нормативы, применяемые для разделочно-морозильных участков строящихся рыбоперерабатывающих заводов по СНиП 2.04.01—85 "Внутренний водопровод и канализация зданий".

Данные по водопотреблению разделочно-морозильных участков рыбоперерабатывающих заводов показаны в табл. 6. Было установлено, что при наличии на судне разделочного конвейера на 14 рабочих мест расход воды на обработку рыбы составляет 73,35 м³/сут. Статистика показывает (см. табл. 2), что полученное значение расхода воды является средней арифметической величиной и может быть применимо для расчета сброшенных в море вод от технологических помещений суммарного количества судов различного типа, находящихся в определенном месте в заданное время. Расчет расхода воды, необходимой для обработки рыбного сырья на определенном типе судна, может быть также произведен по данным табл. 6, но с учетом количества рабочих мест разделочного конвейера, характерного для данного типа судна.

Анализ исследований и нормативно-правовой документации в области накопления нефтесодержащих льяльных вод в машинных помещениях судна показал, что последние исследования в этом направлении проходили во второй половине XX века. В табл. 7 показан объем льяльных вод, накапливающихся в машинных помещениях судна за сутки. Таблица составлена в соответствии с отраслевым стандартом ОСТ 5.5064—83 "Суда морские. Предотвращение загрязнения моря нефтью. Технические требования". Было установлено, что данные, показанные в табл. 7, применимы для расчета объема сброшенных льяльных вод за борт определенного типа судна за заданное время по показанным в настоящей работе формулам.

Предложенная в настоящей работе методика была применена для оценки массы сброшенных загрязняющих веществ со стоками судов в Западно-Камчатскую рыбопромысловую подзону Охотского моря



Таблица 6

Данные по водопотреблению разделочно-морозильных участков

Наименование потребителя	Количество потребителей	Режим работы	Расход воды на одного потребителя, м ³ /ч	Время работы в сутки, ч	Расход воды на обработку морских гидробионтов		
					м ³ /сут	м ³ /ч	л/с
Рыбомойка универсальная модернизированная	1	непр.	2,5	15	37,5	2,5	0,7
Конвейер разделочный на 14 рабочих мест	1	непр.	0,18	15	25,2	1,68	0,06
Глазурочное устройство	1	период.	—	2,5	0,45	0,25	0,18
Подпитка	1	период.	—	—	1,4	—	—
Устройство для оттайки противней	1	период.	—	2,5	0,2	0,25	0,18
Подпитка	1	период.	—	—	0,1	—	—
Ванна моечная	1	период.	—	2,5	0,6	0,2	0,2
Ванна для мойки ястыков	1	период.	0,18	3	0,36	0,12	0,1
Санобработка машин	7	период.	600 л/машину	—	4,2	0,6	0,18
Санобработка цеха и площадок	—	после смены 10 л/м ²	—	—	3,16	—	—
Санобработка участка упаковки	—	после смены 5 л/м ²	—	—	0,18	—	—
Итого					73,35	5,6	1,6

Таблица 7

Количество льяльных вод, накапливающихся в машинных помещениях судна

Полное водоизмещение судна, т	Количество льяльных вод, м ³ /сут
До 100	0,1
100...250	0,1...0,25
250...500	0,25...0,4
500...750	0,4...0,6
750...1000	0,6...0,8
1000...1250	0,8...1,0
1250...1500	1,0...2,0
1500...4000	2,0...4,0
4000...10 000	4,0...7,0
10 000...25 000	7,0...12,0
25 000 и выше	12,0 и выше

за период с 2003 по 2008 г. В табл. 8 представлены данные, полученные в результате ее применения.

Найденная с помощью предлагаемой методики масса загрязняющих веществ позволяет рассчитывать размер вреда, причиненного водному объекту эксплуатацией морского флота.

По результатам применения методики можно сделать следующие выводы:

— разработанная методика позволяет оценивать массу сброса загрязняющих веществ со стоками судов в морской водный объект;

— возможно определить уровень техногенного загрязнения, поступающего от морского флота в водный объект;

— выполненная по данной методике оценка показывает, что в окружающую среду промышленных районов Охотского моря со стоками судов сбрасываются в значительных количествах загрязняющие (вредные) вещества;

— масштабы выявленного загрязнения создают реальные предпосылки к возникновению чрезвычайной экологической ситуации не просто в рамках единичных случаев, а в режиме повседневной деятельности рыбопромышленных судов.

Таблица 8

Масса сброшенных загрязняющих веществ со стоками судов в Западно-Камчатскую рыбопромысловую подзону Охотского моря за период с 2003 по 2008 г.

Наименование загрязняющих (вредных) веществ	Масса сброшенных загрязняющих веществ за период, т						Итого за 6 лет
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Взвешенные вещества	25 064	25 020	29 065	9073	8076	7710	102 107
Ион аммония	141	141	164	51	45	43	581
Нитрит ион	9000	8984	10 437	3257	2900	2768	37 346
Нитрат ион	14	14	16	5	4	4	57
Фосфор	173	173	201	63	56	53	713
Хлориды	19 784	19 750	22 943	7162	6375	6086	14 348
Сульфаты	553	552	641	200	178	170	1270
Железо	3	3	4	1	1	1	14
АПАВ	11	11	13	4	4	3	29
Нефтепродукты	17	16	19	6	5	5	21
Сухой остаток	1463	1460	1697	530	471	450	6071

Список литературы

1. Зубрилов С. П., Ищук Ю. Г., Косовский В. И. Охрана окружающей среды при эксплуатации судов. — Л.: Судостроение, 1989. — С. 7—9.
2. Исаков А. Я., Касперович Е. В. О загрязнении нефтепродуктами Охотского моря // Рыбное хозяйство. — 2006. — № 6. — С. 40—41.
3. Исаков А. Я., Касперович Е. В. О химическом составе льяльных вод крупнотоннажных судов флота рыбной промышленности // Рыбохозяйственные исследования мирового океана: Материалы III Международной научной конференции 19—21 мая 2005 г.: в 3 т. — Владивосток: Дальрыбвтуз. — 2005. — Т. 1. — С. 117—120.
4. Исаков А. Я., Статиненко К. В., Дубровина Т. И. О загрязнении Охотского моря нефтепродуктами // Экономические, социальные, правовые и экологические проблемы Охотского моря и пути их решения: Материалы региональной научно-практической конф. 23—25 ноября 2004 г. — Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ. — 2004. — С. 206—212.
5. Щербаков И. Ф. Борьба с загрязнением морской акватории // Проблемы совершенствования системы борьбы с разливами нефти на Дальнем Востоке: Материалы регионального научно-практического семинара. [Электронный ресурс]. — Владивосток: Дальневосточная государственная морская академия имени адмирала Г. И. Невельского. — Режим доступа: <http://seapi.msun.ru/seapi/konf/konf1299.htm>.



УДК 628.4:504.06

Н. Н. Красногорская, д-р техн. наук, проф., **А. Н. Елизарьев**, канд. геогр. наук, доц.,
И. Ю. Кияшко, асп., **Т. Б. Фашевская**, канд. геогр. наук, доц.,
Уфимский государственный авиационный технический университет
E-mail: nk.ufa@mail.ru

Оценка влияния свалочного фильтрата на водные объекты. Количественный аспект

Приведены данные анализа существующих методик оценки объема образования свалочного фильтрата. Предложена методика оценки внутригодовой и межгодовой динамики объема образования фильтрата на основе динамико-стохастического моделирования. Апробация предложенной методики осуществлена для полигона твердых бытовых отходов (ТБО) "Черкассы" города Уфы (Республика Башкортостан).

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, складирование отходов, полигон, урбанизированная территория, фильтрат, экологическая опасность, водные объекты, загрязнение, речной сток.

Krasnogorskaya N. N., Elizariev A. N., Kiyashko I. Yu., Fashchevskaya T. B. Estimation of landfill leachate impact on water objects. Quantitative aspect

The analysis of landfill leachate estimation techniques was conducted. The estimation technique of annual and interannual dynamics of leachate on the base of dynamic-stochastic modeling was proposed. The approvement of suggested technique for municipal solid waste (MSW) landfill "Cherkassy" of Ufa city (Bashkortostan Republic) was carried out.

Keywords: municipal solid waste, landfilling of waste, landfill, urban land, leachate, ecological hazard, water bodies, pollution, River Flow.

Введение

Сохранение качества и количества водных ресурсов является одной из наиболее обсуждаемых проблем в настоящее время. Рациональное управление и охрана поверхностных и подземных вод для обеспечения потребностей человека и природы отмечены в Водной Рамочной Директиве 2000/60/ЕС (с изм. 2009/31/ЕС) [1], в решении V Всемирного водного форума (март 2009 г., Стамбул) [2], а также в Водной стратегии РФ на период до 2020 г. (распоряжение Правительства РФ от 27.08.2009 г.) [3].

Особенностью любой урбанизированной территории является наличие в ее пределах как вод-

ных объектов (ввиду постоянной потребности населения в воде), так и объектов захоронения ТБО (ввиду стремления снизить плату за их вывоз). Такая особенность современных мегаполисов определяет влияние объектов захоронения отходов на водотоки и водоемы урбанизированной территории.

Воздействие объектов захоронения отходов на водные ресурсы обусловлено образованием жидкой фазы отходов (фильтрата), поступающей в поверхностные водные объекты двумя путями: с подземным стоком (из-за наличия гидравлической связи) и в результате поверхностного смыва. Несмотря на то, что объем фильтрата, как правило, составляет незначительную долю в объеме речного стока, поступление фильтрата в водные объекты приводит к деградации естественных экосистем, снижению качества воды за счет высокой загрязненности. Поэтому, для обеспечения безопасности жизнедеятельности необходима разработка систем сбора и обезвреживания свалочного фильтрата, проектирование которых основывается на результатах его количественной и качественной оценки.

В настоящее время исследования в области количественной оценки влияния свалочного фильтрата на гидросферу [4...6] характеризуются отсутствием комплексного подхода, так как заключаются лишь в определении объема образующегося фильтрата без учета климатических особенностей территории и гидродинамических условий в водотоке-реципиенте. В настоящей работе выполнена комплексная оценка влияния свалочного фильтрата на водные объекты, которая условно разбита на два этапа:

— оценка объемов образования свалочного фильтрата с учетом климатических особенностей территории;

— анализ опасности поступления фильтрата в водный объект с учетом происходящих в нем процессов разбавления.

Образование фильтрата на объектах складирования отходов

Образование свалочного фильтрата происходит в результате следующих процессов: инфильтрация атмосферных осадков и других вод через толщу складированных ТБО, их водоотдача под действи-

ем давления вышележащих слоев, биохимическое разложение отходов и др. Количество выпадающих осадков, обусловленное географическим расположением объекта складирования отходов, оказывает основное влияние на объем образующегося фильтрата [4]. Помимо климатических особенностей территории складирования, количество фильтрата определяется характеристиками объекта: морфологическим составом и влажностью ТБО, возрастом объекта захоронения отходов, характером непрерывно протекающих процессов разложения и др. Более подробно механизм образования фильтрата изложен в работах [4...6].

Сложный механизм и многофакторная зависимость образования фильтрата являются основными причинами отсутствия единого методического аппарата оценки объема образующегося фильтрата, в том числе на территории Российской Федерации. В настоящее время существует множество моделей расчета количества фильтрата, в той или иной степени учитывающих многообразие факторов, влияющих на его объем [6...11].

При составлении проектов на строительство полигонов ТБО российские проектные организации, как правило, используют методику, разработанную Самарским научным центром Российской жилищно-коммунальной академии и ГУП "Институт ТеррНИИ-гражданпроект" ТСН 30-310—2003 [7]. Согласно данной методике, объем фильтрата (тыс. м³/год) с площади полигона рассчитывается по формуле:

$$V_{\phi} = 10Fh(1 - k), \quad (1)$$

где F — площадь полигона, га; h — среднегодовая норма осадков, мм/год; k — общий коэффициент поверхностного стока, принимаемый равным 0,3...0,4.

Как видно из формулы, при расчете учитывается только количество осадков, поступающих на территорию. Такой подход не может давать адекватной оценки, поскольку образование фильтрата происходит под влиянием большего числа факторов: количества, влажности отходов, складированных на полигоне, и др.

Существуют методики, предлагаемые рядом исследователей, учитывающие помимо количества осадков и другие факторы. Например, В. В. Разношиком, Н. Ф. Абрамовым [8] предложена формула для расчета объема фильтрата, учитывающая среднегодовую влажность отходов:

$$V_{\phi} = 0,01(h - 100)F + 0,01A(W - 52), \quad (2)$$

где A — среднегодовое поступление ТБО, тыс. м³/год; W — среднегодовая влажность отходов, %.

Очевидно, что данный подход может применяться лишь для ориентировочных расчетов при проектировании [5], так как не учитывает объем

ТБО, накопленный на полигоне на момент расчетов, и более применим для оценки изменения объема фильтрата с учетом динамики поступления отходов на полигон.

В работе [6] предлагается формула для расчета объема образующегося фильтрата, учитывающая сезонность года:

$$V_{\phi} = k_{\text{инф}} h F \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

где $k_{\text{инф}}$ — коэффициент инфильтрации, представляющий разность влагопогложительного коэффициента и коэффициента стока, зависящих от сезона года.

Предложенная в работе [6] методика не позволяет оценить влияние характеристик объекта захоронения отходов на процесс формирования фильтрата. Кроме того, в работе [6] отмечено, что коэффициент $k_{\text{инф}}$ для каждого отдельно взятого объекта необходимо находить экспериментально, что затрудняет использование методики и исключает возможность ее применения на стадии проектирования полигона ТБО, когда $k_{\text{инф}}$ еще не определен.

Существуют методики оценки фильтрата, основанные на составлении водного баланса территории [9...11]. Использование данных методик осложнено тем, что они перегружены исходными данными по послойному заполнению полигона ТБО, требуют проведения изыскательных работ и, как правило, применимы для конкретного санкционированного полигона.

Известна методика, предложенная авторами работы [12], учитывающая основные характеристики полигона (высота складированных отходов, масса складированного массива и плотность отходов):

$$V_{\phi} = \frac{1,3 \cdot 10^{-4} M h}{H \rho_{\text{ср}}}, \quad (4)$$

где M — масса складированных отходов, т; H — высота складированного массива отходов, м; $\rho_{\text{ср}}$ — средняя плотность ТБО, т/м³.

Методика [12] учитывает основные факторы, влияющие на образование фильтрата (количество выпадающих осадков, особенности объекта складирования). Кроме того, согласно "Пособию по оценке эмиссий с полигонов ТБО" [13], данная методика апробирована Агентством по окружающей среде Австралии на действующих объектах захоронения и рекомендована для проектных разработок.

Для оценки объема образующегося фильтрата в настоящей работе проведен расчет по методикам [7, 8, 12] для типичного полигона ТБО мегаполиса (площадь — 100 га, высота — 7 м, масса отходов — 3,5 млн т с плотностью 0,5 т/м³ и влажностью 80 %) средней полосы РФ (среднеголетняя норма



Таблица 1

Величины и доли объема фильтрата от объема выпавших осадков на территории типичного полигона ТБО согласно различным методикам [7, 8, 12]

Методика оценки объема фильтрата	[7]	[8]	[12]
Объем фильтрата, тыс. м ³ /год	376,3	776,3	72,4
Доля объема фильтрата от объема выпавших осадков, %	75	155	14
Объем фильтрата при отсутствии осадков ($h = 0$), тыс. м ³ /год	0	276,3	0

осадков — 500 мм/год, т. е. объем выпавших осадков на 100 га — 500 тыс. м³/год).

Расчет по методике [6] не проводился ввиду отсутствия экспериментальных данных о влагопоглотельном коэффициенте рассматриваемого полигона. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Как видно, величины объемов свалочного фильтрата, рассчитанные по методикам [7, 8, 12], различаются между собой в 2...10 раз. По-видимому, на результаты вычислений повлияли следующие обстоятельства:

- методика [8] завышает роль влажности отходов в образовании фильтрата (до 100 % от объема фильтрата при отсутствии осадков), что противоречит данным в работах [4, 6] (при отсутствии осадков, согласно данной методике, на типичном полигоне ТБО образуется 276,3 тыс. м³ фильтрата в год);

- методика [7] учитывает только количество выпавших атмосферных осадков и не учитывает характеристики полигона.

В связи с этим, методика [12], учитывающая основные факторы образования фильтрата и апробированная на действующих объектах захоронения, является наиболее обоснованной.

Проведенный анализ существующих методик показывает, что основным фактором, влияющим на образование фильтрата, является количество выпадающих осадков. В то же время, ни одна из существующих методик не учитывает внутригодовую и межгодовую неравномерность выпадения осадков (как правило, расчет производится по среднегодовой величине осадков), в том числе их экстремальные значения (в сезоны дождей и активного снеготаяния).

Разработка и апробация методики количественной оценки образования свалочного фильтрата

Для учета вероятностной природы внутригодовых и межгодовых изменений количества осадков здесь применено динамико-стохастическое

моделирование процессов формирования фильтрата на основе вероятностно-статистического метода (анализ статистической однородности временных рядов и построение кривых обеспеченности). В связи с этим, разработана методика количественной оценки образования свалочного фильтрата с усовершенствованием подхода, используемого в работе [12]. При расчете объема свалочного фильтрата предложено использовать не осредненные значения плотности ТБО (согласно методике [12] для несанкционированных свалок — 0,742 т/м³, для санкционированных полигонов — 1,068 т/м³), а рассчитанные с учетом специфики морфологического состава отходов полигона ТБО:

$$V_{\phi} = \frac{1,3 \cdot 10^{-4} M h}{H \sum_{i=1}^n \delta_i \rho_i}, \quad (5)$$

где ρ_i — плотность i -го компонента принимаемых ТБО согласно данным о морфологическом составе отходов, т/м³; δ_i — доля i -го компонента принимаемых ТБО.

Алгоритм выполнения расчетов по разработанной методике интерпретирован в виде блок-схемы на рис. 1.

Согласно представленному алгоритму, внутригодовая и межгодовая динамика объемов свалочного фильтрата определяется с учетом количества

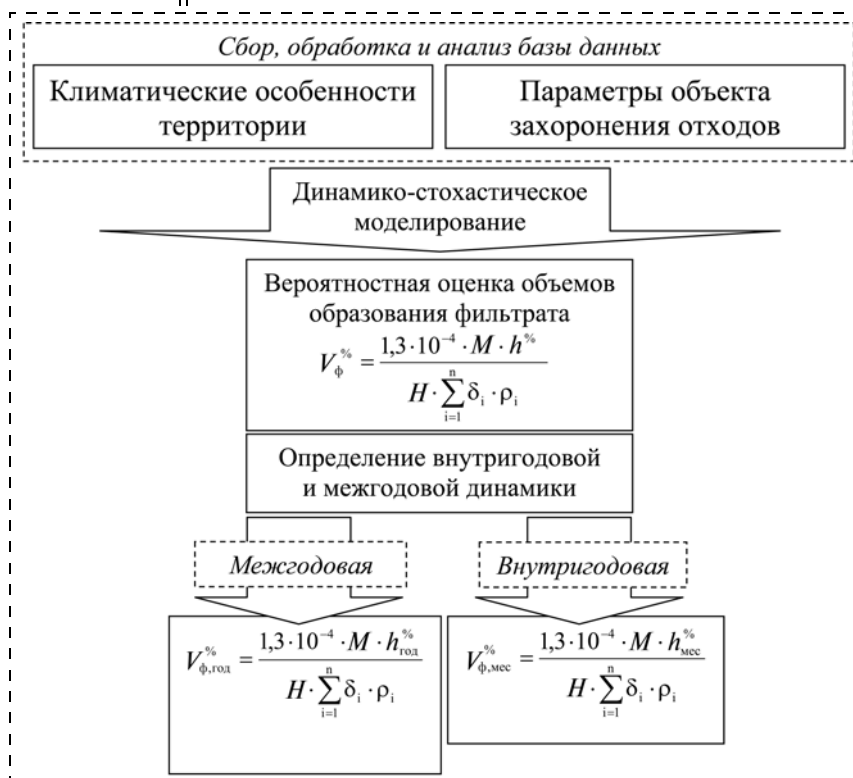


Рис. 1. Алгоритм оценки внутригодовой и межгодовой динамики объемов свалочного фильтрата



Рис. 2. Схема расположения полигона ТБО "Черкассы" г. Уфы

осадков различной обеспеченности ($h^{\%}$), что позволяет выявить как внутригодовую, так и многолетнюю неравномерность образования фильтрата.

Апробация предложенной методики проведена для полигона ТБО "Черкассы" г. Уфы (Республика Башкортостан). Этот полигон (рис. 2) расположен в северо-восточной части г. Уфы (население более 1 млн человек) и является типичным объектом складирования отходов крупного промышленного центра.

Как видно из рис. 2, в зоне влияния полигона находятся несколько поверхностных водотоков — река Шугуровка, ручей Стеглянка, ручей Фирсов овраг, которые являются притоками реки Уфа — городского питьевого водоисточника.

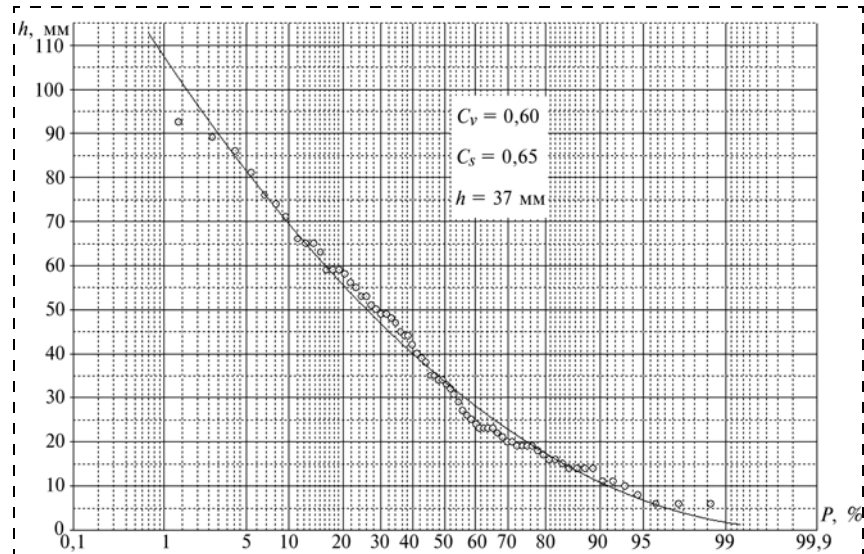


Рис. 3. Пример теоретической кривой обеспеченности атмосферных осадков за январь месяц (h , мм) в период 1937–2008 гг. на территории г. Уфы

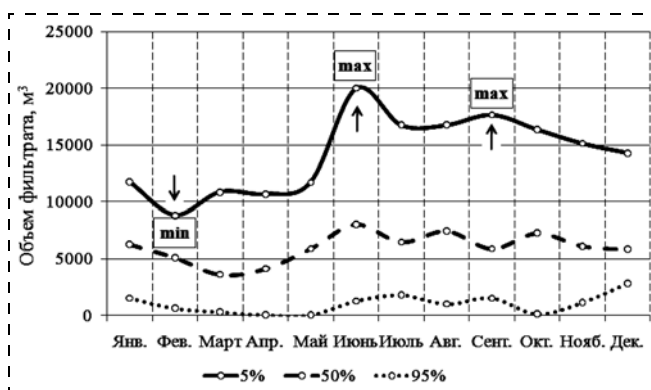


Рис. 4. Внутригодовая и межгодовая динамика объемов образования фильтрата полигона ТБО "Черкассы" при среднемесячных осадках 5, 50 и 95 % обеспеченности

Для оценки негативного воздействия полигона ТБО "Черкассы" на водные объекты, согласно предложенной методике, проведен вероятностно-статистический анализ временных рядов данных о выпадении осадков на станции "Уфа-Дема" за период 1937–2008 гг. (по данным БашУГМС). С помощью программы "StokStat 2.0" построены теоретические кривые обеспеченности среднемесячных значений количества осадков в г. Уфе для каждого месяца, а также рассчитаны среднеегодовые значения (h_{cp}), коэффициенты вариации (C_v) и асимметрии (C_s). В качестве примера на рис. 3 представлена кривая обеспеченности атмосферных осадков, выпавших в январе. Из рисунка видно, что значения выпадающих осадков варьируются от 82 мм (в год 5 % обеспеченности) до 7 мм (в год 95 % обеспеченности).

По полученным кривым обеспеченности, согласно алгоритму (см. рис. 1), рассчитаны среднемесячные объемы образования фильтрата на полигоне ТБО "Черкассы". На рис. 4 приведена графическая интерпретация внутригодовой и межгодовой динамики объема фильтрата при среднемесячной величине осадков 5, 50 и 95 %-ной обеспеченности.

Как видно из рисунка, вне зависимости от обеспеченности осадков экстремально высокие объемы фильтрата наблюдаются в июне и сентябре, в то время как с февраля по май наблюдаются экстремально низкие объемы фильтрата. Также из рис. 4 видно, что среднемесячные значения объема фильтрата в дождливые годы (5 %-ной обеспеченности) в среднем до 10 раз превышают значения объема фильтрата в засушливые годы (95 %-ной обеспеченности).

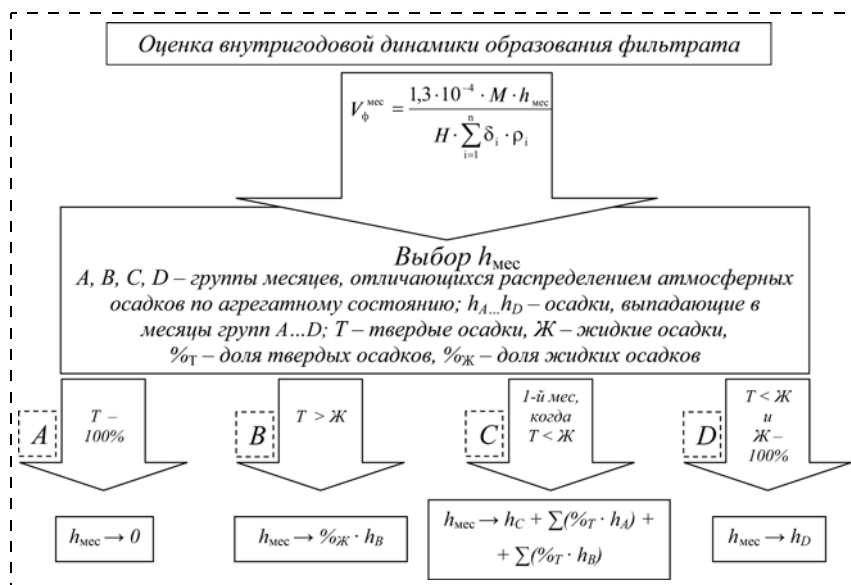


Рис. 5. Алгоритм оценки внутригодовой динамики образования фильтра с учетом агрегатного состояния атмосферных осадков

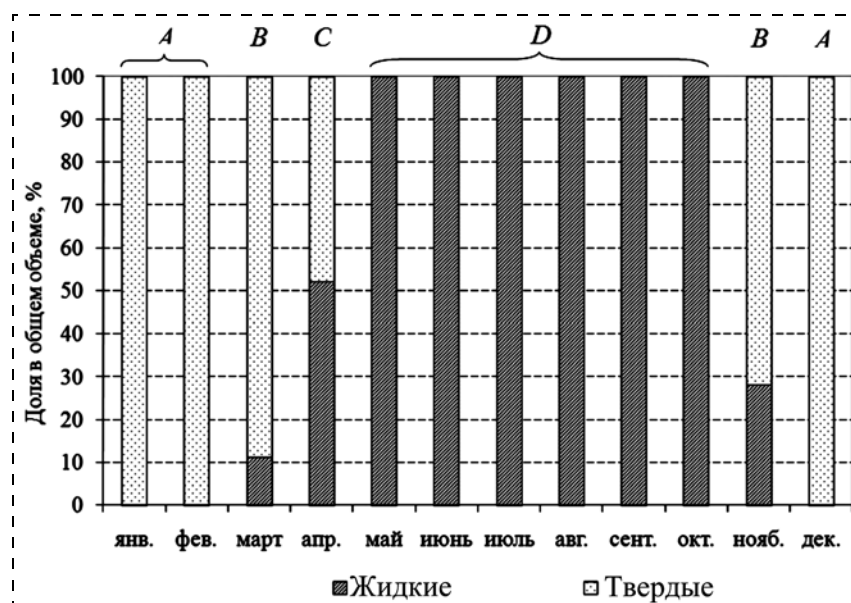


Рис. 6. Распределение выпадающих на территории г. Уфы осадков по агрегатному состоянию, % [14]

Полученные с помощью разработанной методики значения объемов образующегося фильтра предложено условно считать "потенциальными", так как при оценке внутригодовой динамики не учитывается агрегатное состояние выпавших осадков в различные сезоны года. Например, анализ данных [4] и опыт эксплуатации полигона ТБО "Черкаassy" показывают, что в зимний период, характеризуемый выпадением осадков в твердом виде, образование фильтра не наблюдается. В связи с этим, при вероятностной оценке внутригодовой динамики образования фильтра по разработанной методике предложено определять

$h_{\text{мес}}^{\%}$ по следующему алгоритму, графически интерпретированному на рис. 5.

В зависимости от вида выпадающих осадков месяцы года условно разделены на четыре группы (A, B, C, D), из которых месяцы группы A характеризуются отсутствием фильтра (см. рис. 5). Для оценки влияния процессов снеготаяния на образование фильтра выделен месяц группы C, в котором дополнительно с осадками данного месяца учитываются осадки месяцев групп A и B, выпавшие в твердом виде. Для территории г. Уфы характерно следующее распределение месяцев по группам A, B, C, D с учетом агрегатного состояния выпавших осадков (рис. 6).

На основе предложенного алгоритма (см. рис. 5) и в соответствии с распределением по агрегатному состоянию, характерным для территории г. Уфы (см. рис. 6), проведена корректировка "потенциальных" объемов фильтра полигона ТБО "Черкаassy". Рассчитана внутригодовая динамика "скорректированных" объемов образования фильтра с учетом характера выпадения осадков в твердом или жидком виде (рис. 7).

Как видно из рис. 7, зимние месяцы характеризуются отсутствием фильтра. Анализ "потенциальных" (см. рис. 4) и "скорректированных" (см. рис. 7) объемов образования фильтра показал, что в течение года, вне зависимости от обеспеченности осадков, в июне наблюдаются экстремальные значения объема фильтра (8 тыс. м³ при осадках 50 % обеспеченности). В то же время внутригодовая динамика скорректированных объемов фильтра отличается экстремумом в апреле, который превосходит более чем в 3 раза экстремум в июне (30 тыс. м³ при осадках 50 %-ной обеспеченности). Это обусловлено интенсивным образованием свалочного фильтра вследствие весеннего таяния снежного покрова, накопившегося на участке складирования.

Таким образом, при количественной оценке влияния образующегося свалочного фильтра на водные объекты необходимо учитывать агрегатное состояние атмосферных осадков, что позволяет определить внутригодовые и межгодовые изменения объемов фильтра. Полученные результаты

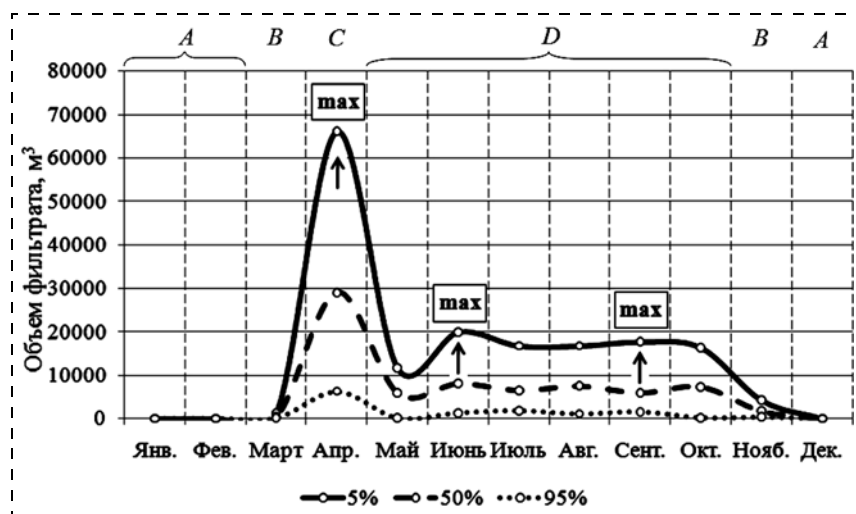


Рис. 7. Внутригодовая и межгодовая динамика объемов образования фильтрата полигона ТБО "Черкасы" при среднемесячных осадках 5, 50 и 95 % обеспеченности с учетом агрегатного состояния осадков

необходимо сопоставлять с динамикой объемов водного стока, поскольку несовпадение экстремальных значений данных величин во времени влияет на степень разбавления фильтрата, которая играет важную роль в процессах самоочищения.

Анализ опасности поступления объемов фильтрата в водный объект с учетом процессов самоочищения

При количественной оценке влияния полигонов ТБО на водные объекты необходим учет не только объема фильтрата, но и способности водотока-

реципиента к самоочищению. Среди физических, химических и биологических факторов самоочищения важную роль играют такие, как перемешивание поступающих загрязнений и их разбавление, растворение и осаждение. Эффективность самоочищения, таким образом, будет зависеть от гидродинамических условий в водотоке (режима и скорости течения, глубины и ширины русла, объема водного стока). Для реки величина стока является также и средообразующим фактором, поэтому данная величина наиболее объективно отражает самоочищающую способность водотока. Таким образом, при количественной оценке влияния фильтрата полигона ТБО на гидросферу необходимо учитывать особенности водного режима водотока, т. е. межгодовую и внутригодовую динамику объема водного стока.

Водный режим реки Шугуровка, находящейся в зоне влияния полигона ТБО "Черкасы" (см. рис. 2), характеризуется четко выраженным весенним половодьем, которое длится в среднем с 6 апреля по 9 мая. Площадь водосбора реки составляет 94 км². Средний уклон водотока не превышает 6,8 %, а средняя скорость течения изменяется в диапазоне 0,2...0,8 м/с. Среднегодовой расход воды составляет 0,69 м³/с в многоводный год (5 %-ной обеспеченности) и 0,13 м³/с в маловодный год (95 %-ной обеспеченности) [14, 15].

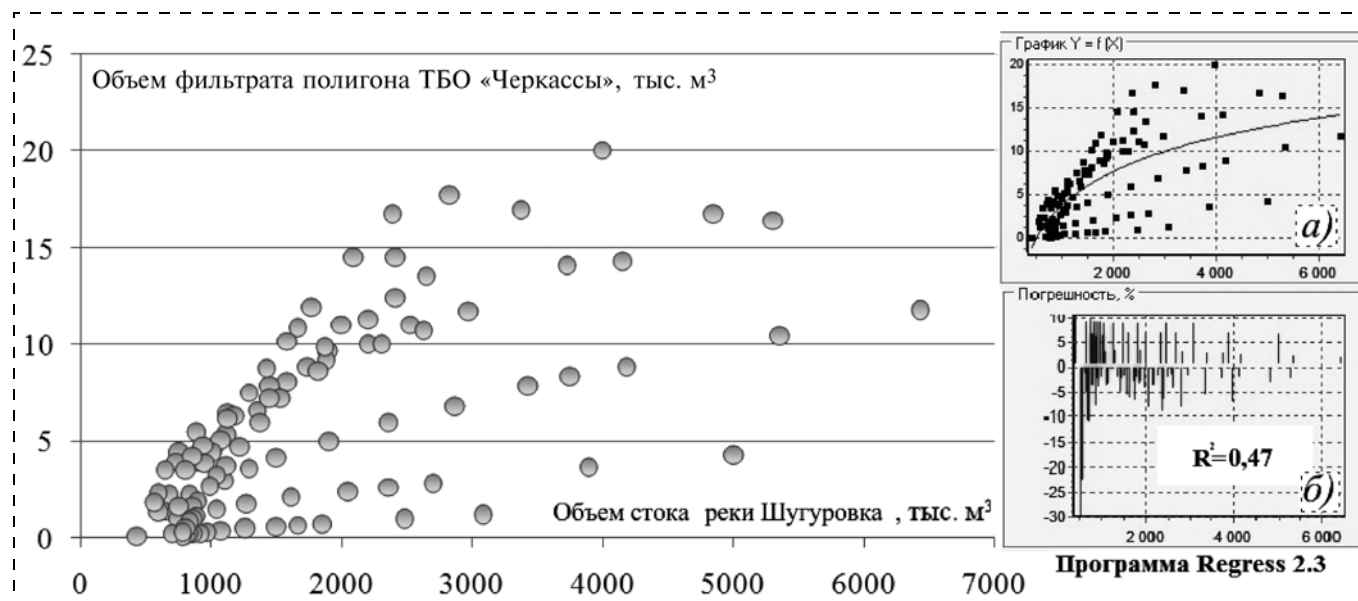


Рис. 8. Результаты анализа взаимосвязи объема фильтрата полигона ТБО "Черкасы" с объемом стока реки Шугуровка: а — функция вида $y = a \lg(x) + b$, где x — объем стока реки Шугуровка; y — объем фильтрата полигона ТБО "Черкасы"; б — погрешности при определении взаимосвязи объема фильтрата с объемом стока при помощи полученной функции



Для выявления внутригодовой и межгодовой неравномерности речного стока реки Шугуровка проведен вероятностно-статистический анализ временных рядов объемов стока этой реки в створе г. Уфы за период 1980–2008 гг. (по данным БашУГМС). Построены теоретические кривые обеспеченности среднемесячных значений объемов стока реки Шугуровка, а также рассчитаны среднемноголетние значения, коэффициенты вариации и асимметрии.

На основе полученных результатов проведен корреляционный анализ взаимосвязи объема образования фильтрата полигона ТБО "Черкассы" с объемом стока р. Шугуровка, обеспеченность которых одинакова. Результаты анализа графически интерпретированы на рис. 8.

Как видно из рис. 8, величины объема фильтрата полигона "Черкассы" и объема стока реки Шугуровка находятся в умеренной (неярко выраженной) зависимости, о чем свидетельствует и коэффициент детерминации, определенный с помощью программы "Regress 2.3" ($R^2 = 0,47$). Такая умеренная зависимость объясняется сложным механизмом сезонных изменений процессов выпадения осадков и питания водного объекта. Тем не менее, анализ рис. 8 показал, что зависимости объемов фильтрата и объемов стока для каждого отдельного месяца симбатны. По-видимому, это объясняется единими факторами, влияющими на процессы формирования речного стока и фильтрата.

При анализе взаимосвязи многолетних значений объемов стока реки Шугуровка и объемов фильтрата полигона ТБО "Черкассы" для каждого месяца (в диапазоне варьирования 5...95 %-ной обеспеченности) наблюдается ярко выраженная взаимосвязь среднемесячных величин объема фильтрата и объема водного стока (рис. 9).

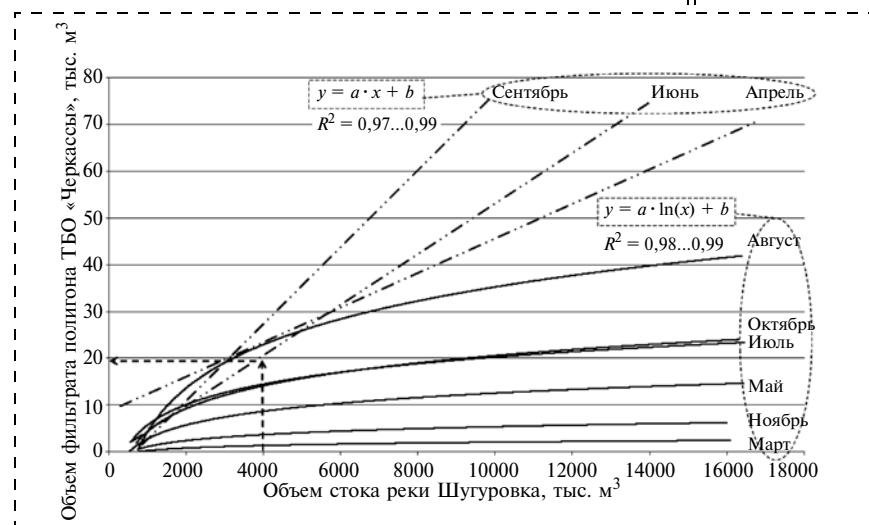


Рис. 9. Зависимости между объемом фильтрата полигона ТБО "Черкассы" и объемом стока реки Шугуровка

Таблица 2

Результаты корреляционного анализа взаимосвязи среднемесячных объемов фильтрата (y) и объемов стока (x)

№	Месяц	Уравнение аппроксимации	Коэффициент детерминации (R^2)	Примечание, при x, тыс. м ³
1	Март	$y = 783,1 \ln(x) - 10\,523$	0,99	>626,2
2	Апрель	$y = 0,0037x + 8636,8$	0,97	>0
3	Май	$y = 4231,6 \ln(x) - 55\,635$	0,98	>469,2
4	Июнь	$y = 0,0054x - 946,0$	0,99	>175,2
5	Июль	$y = 6287,9 \ln(x) - 81\,088$	0,99	>365,4
6	Август	$y = 13\,392 \ln(x) - 180\,615$	0,99	>657,2
7	Сентябрь	$y = 0,0082x - 5361,1$	0,99	>653,8
8	Октябрь	$y = 7029,4 \ln(x) - 92\,707$	0,98	>488,7
9	Ноябрь	$y = 1844,7 \ln(x) - 24\,332$	0,98	>489,5

Как видно из рисунка, несмотря на незначительный вклад фильтрата в сток реки Шугуровка (0,1...0,7 %), корреляционный анализ позволил установить зависимости между объемом стока реки Шугуровка и объемом фильтрата полигона ТБО "Черкассы". На основе подбора функции по максимальному коэффициенту детерминации установлено, что полученные зависимости обладают высокой достоверностью аппроксимации с $R^2 = 0,97...0,99$ (табл. 2).

Все установленные зависимости, приведенные в табл. 2, аппроксимируются уравнениями вида $y = ax + b$ и $y = a \ln(x) + b$, причем зависимости вида $y = ax + b$ наблюдаются в апреле, июне и сентябре, т. е. в месяцы, характеризующиеся максимальными объемами фильтрата (см. рис. 7). В периоды летне-осенней межени взаимосвязь объема фильтрата полигона с объемом стока реки Шугуровка описывается уравнениями вида $y = a \ln(x) + b$, а в периоды весеннего половодья и осенних паводков — уравнениями вида $y = ax + b$. По-видимому, это объясняется тем, что в летний период (малый объем водного стока) питание реки Шугуровка обусловлено преимущественно подземными источниками, а в весенний и осенний периоды (экстремально большой объем речного стока) обусловлено поверхностным стоком: в весеннее половодье — талым стоком, в осенние паводки — дождевым.

Полученные уравнения адекватно описывают взаимосвязь при среднемесячном объеме стока реки Шугуровка более 657,2 тыс. м³, что соответствует среднемесячным значениям речного стока 90 %-ной обеспеченности (см. табл. 2). В противном случае объем фильтрата, определяемый по уравнениям, имеет отрицательные значения.

Выявленная взаимосвязь объемов фильтрата и речного стока позволяет оценить возможность самоочищения водного объекта, определяемую процессами разбавления. Например, в июне, как показано на рис. 9, при объеме стока, равном 4000 тыс. м³ и объеме фильтрата равном 20 тыс. м³, степень разбавления фильтрата (согласно методике, приведенной в работе [16]) составит 201 раз. Полученная величина степени разбавления при наличии информации о качественном составе фильтрата определяет выбор системы сбора и обезвреживания фильтрата.

Выявленная взаимосвязь также является эффективным инструментом оперативной оценки объемов фильтрата при отсутствии системы мониторинга на полигоне ТБО "Черкассы" по данным поста БашУГМС в створе реки Шугуровка г. Уфы.

Выводы

1. Анализ существующих методик оценки объема образования свалочного фильтрата, по которым проведены расчеты для типичного полигона ТБО мегаполиса средней полосы РФ, показал, что результаты расчетов различаются между собой в 2...10 раз. На основе проведенного анализа выявлено, что подход, описанный в работе [12], представляется наиболее объективным.

2. Предложена методика оценки внутригодовой и межгодовой динамики объема образования свалочного фильтрата на основе динамико-стохастического моделирования, которая учитывает сезонное распределение осадков по агрегатному состоянию.

3. Проведена апробация разработанной методики для полигона ТБО "Черкассы" г. Уфы (Республика Башкортостан). Выявленная внутригодовая и межгодовая динамика объемов образующегося фильтрата исследуемого полигона показала наличие экстремальных значений: максимумы в апреле, июне и сентябре и минимумы (отсутствие фильтрата) в зимние месяцы.

Полученные уравнения, описывающие взаимосвязь рассчитанных объемов образования фильтрата полигона ТБО "Черкассы" с объемами стока реки Шугуровка, позволяют с высокой достоверностью ($R^2 = 0,97...0,99$) определить степень разбавления фильтрата в водотоке-реципиенте и оперативно определять объем образования фильтрата исследуемого полигона. Описанный подход может быть применен для любого водного объекта, находящегося в зоне влияния полигона ТБО.

Список литературы

1. **Directive** 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000. — 2000. — 72 p.
2. **Final report** of the 5th World Water Forum, Istanbul. — 2009. — 192 p.
3. **Водная стратегия** Российской Федерации на период до 2020 г. // Распоряжение правительства Российской Федерации от 27 августа 2009 г. № 1235-р. — 2009. — 44 с.
4. **Потапов П. А., Пупырев Е. И., Потапов А. Д.** Методы локализации и обработки фильтрата полигонов захоронения твердых бытовых отходов. — М.: АСВ, 2004. — 168 с.
5. **Глушанкова И. С.** Моделирование состава фильтрационных вод санитарных полигонов захоронения твердых бытовых отходов // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. — 2004. — № 4. — С. 334—341.
6. **Артемьев Н. И., Середя Т. Г., Костарев С. Н., Низамутдинов О. Б.** Технологии автоматизированного управления полигоном ТБО. — Пермь: НИИУМС, 2003. — 266 с.
7. **ТСН 30-310—2003** "Мусороудаление и устройство полигонов по утилизации твердых бытовых отходов сельских населенных пунктов". Утв. распоряжением департамента по строительству, архитектуре, жилищно-коммунальному и дорожному хозяйству администрации Самарской области от 2 октября 2001 г. № 348-р. — 2002. — 36 с.
8. **Методические указания** по расчету количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ от полигонов твердых бытовых отходов. — М.: АКХ им. К. Д. Памфилова, 1995. — 17 с.
9. **ДБН В.2.4-2—2005** "Полигоны твердых бытовых отходов. Основные положения проектирования". Утв. приказом Госстроя Украины от 17.06.2005 г. № 101. — 2005. — 68 с.
10. **Методика** расчета водного баланса полигонов захоронения твердых бытовых отходов. Пермь: ПГТУ, 2002. — 19 с.
11. **Schroeder P. R., Dozier T. S., Zappi P. A., McEnroe B. M., Sjostrom J. W., Peyton R. L.** The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) model. Engineering documentation for ver.3. Interagency Agreement № DW21931425, 1994. — 178 p.
12. **White P. R., Franke M., Hindle P.** A Lifecycle Inventory. Integrated Solid Waste Management. — UK: Blackie Academic and Professional, 1995. — 167 p.
13. **Emission estimation technique manual for Municipal Solid Waste (MSW) landfills.** Ver.1.1. — Australia: Environment Australia, 2002. — 48 p.
14. **Зайнуллин Х. Н., Абдрахманов Р. О., Савичев Н. А.** Утилизация промышленных и бытовых отходов (на примере Уфимской городской свалки). — Уфа: УНЦ РАН, 1997. — 235 с.
15. **Кияшко И. Ю., Елизарьев А. Н., Фашевская Т. Б., Красногорская Н. Н.** Разработка методики комплексной оценки загрязненности фильтрационных стоков захоронений отходов // Вестник ИрГТУ. — 2010. — № 2. — С. 6—11.
16. **Красногорская Н. Н., Фашевская Т. Б.** Расчет разбавления в водотоках загрязняющих веществ, содержащихся в сбросах промышленных предприятий: Учебное пособие. — Уфа: УГАТУ, 2009. — 133 с.



УДК 666.127

И. Г. Степанчикова, канд. техн. наук, **А. В. Деревянко**, ГУП "ЭКОТЕХПРОМ", Москва
В. А. Зайцев, д-р техн. наук, РХТУ им. Д. И. Менделеева, Москва
E-mail: irinax@list.ru

Актуальные вопросы обращения с отходами стекла в России

Рассмотрен обобщенный отечественный опыт обращения с отходами стекла, приведены количественные и качественные показатели образующегося стеклобоя, проведен анализ существующих технологий переработки стеклобоя и качественный анализ материалов, получаемых на основе отходов стекла.

Ключевые слова: стекло, отходы, стекольная промышленность, сбор, транспортирование, переработка, утилизация.

Stepanchikova I. G., Derevyanko A. V., Zaycev V. A. Pressing questions of handling wastes of glass are in Russia

In article the generalised domestic experience of the reference with a glass waste is resulted, are resulted quantitative and quality indicators formed — waste of glass, the analysis of existing technologies of processing a stack-loboja and the qualitative analysis of the materials received on the basis of a waste of glass is carried out.

Keywords: class, wastes, glass industry, collection, transporting, processing, utilization.

Количество стеклянной упаковки, поступающей на российский рынок в последнее десятилетие, растет значительными темпами. Например, выпуск стеклянных бутылок, составляющих более 80 % всей стеклотары, только в 2001—2004 гг. увеличился почти в два раза. По данным экспертов ОАО "Институт стекла", уже в 2007 г. объем российского рынка пищевой стеклянной тары составлял около 8...10 млрд шт., а к концу 2010 г. стекольная промышленность должна выйти на объем около 12 млрд шт. изделий в год, т. е. на уровень производства 1985 г. всего Советского Союза.

При этом по сравнению с другими странами проблема переработки и утилизации стеклобоя в нашей стране стоит особенно остро, поскольку его содержание в муниципальных бытовых отходах доходит до 12...18 %, тогда как в США — до 9 %, а в Японии — до 5 %.

С экологической точки зрения стекло считается наиболее трудно утилизируемым отходом. Оно не

подвергается разрушению под воздействием атмосферных осадков, солнечной радиации, перепада температур. Изделия из стекла устойчивы к коррозии и не разрушаются в присутствии подавляющего большинства сильных и слабых кислот, солей, а также грибов и бактерий. Поэтому если органические отходы (бумага, пищевые отходы и т. п.) при захоронении на полигоне полностью разлагаются уже через 1—3 года, полимерные материалы — через 5—20 лет, то стекло способно сохраняться без особых разрушений десятки и даже сотни лет. С другой стороны, производство нового стекла требует огромных энергозатрат, а каждая тонна используемого стеклобоя позволяет экономить 1,2 т первичного сырья и 0,25 % топлива на 1 % стеклобоя в шихте.

По оценкам специалистов ГУП "Экотехпром", только в Москве ежегодно образуется около 150 тыс. т стеклянных отходов, из них в жилом секторе — 117 тыс. т (78 %), в виде коммерческих отходов — 19,5 тыс. т (13 %), в виде промышленных отходов — 13,5 тыс. т (9 %). Реальный же объем собираемых отходов стекла составляет ориентировочно 57 тыс. т/год, т. е. не более 38 %.

Главная проблема вторичного использования стеклобоя связана с трудностью его выделения из твердых бытовых и промышленных отходов, что является следствием несовершенной системы сбора отходов, существующей в настоящее время в Российской Федерации. При сборе отходов стекла на предприятиях, выпускающих стекольную продукцию, такой проблемы нет, поскольку практически весь собственный стеклобой используется заводами стекольной промышленности (за исключением боя армированного стекла, триплекса, зеркал и некоторых излишков сортовой посуды из бесцветного стекла).

Состав собранного стеклобоя регламентируется национальным стандартом Российской Федерации ГОСТ Р 52233—2004 Тара стеклянная. Стеклобой. Общие технические условия [1], распространяющимся на весь собираемый и поставляемый стеклобой внутри страны, а также завозимый по импорту в качестве сырья для производства стеклянной тары. Согласно данному ГОСТу [1]



стеклобой подразделяют на 1-й и 2-й сорт и на марки, имеющие соответствующий цвет:

БС	Бесцветный
ПСТ	Полубелый тарный
ПСЛ	Полубелый листовой
ЗС	Зеленый
КС	Коричневый

Размеры фракций битого стекла 1-го сорта должны составлять от 10 до 50 мм. Допускается содержание в партии фракций размером >50 мм не более 5 %, размером <10 мм — не более 1 %. Размер фракций стеклобоя второго сорта не нормируют, при этом масса фракций не должна составлять более 2 кг. В стеклобое нормируются также некоторые примеси (табл. 1). Вышеуказанный ГОСТ регламентирует также методы контроля качества, приборы и приспособления для такого контроля, транспортировку и хранение битого стекла.

Несмотря на очевидные преимущества использования стеклобоя (экономия тепловой энергии, так как стеклобой плавится при температуре 900...1200 °С, а стекольная шихта — при 1450...1550 °С), российские стекольные заводы не очень охотно используют стеклобой, собранный в сфере потребления, для производства новой тары, поскольку он всегда содержит загрязнения, и существует опасность ухудшения однородности стекломассы и качества готовой продукции. Следовательно, для повышения объемов вторичного стекла, добавляемого в стекломассу, требуется более тщательное удаление из него загрязняющих примесей, обеспечиваемое новыми технологиями сортировки стеклобоя по цвету и составу. Сортированное стекло принимается по договорной цене в зависимости от марки и сорта стеклобоя. Ориентировочные цены при покупке/продаже стеклобоя в течение 2009 г. приведены в табл. 2.

Технология обращения с отходами стекла включает в себя сбор, транспортировку, обработку (которая в зависимости от получаемой продукции

Таблица 2

Цены на покупку/продажу различных видов стеклянных отходов по состоянию на февраль-октябрь 2009 г. [5]

Отходы	Цена	Регион
Покупка		
Отходы и бой белого листового стекла	2000 руб/т	Вологодская область
Продажа		
Бесцветный стеклобой	3100 руб/т	Брянская область
Оборотная водочная бутылка 0,5 л с этикеткой	1,3 руб	Новосибирская область
Стеклобой тарный, листовой	3500 руб/т	г. Санкт-Петербург
Стеклобой сортированный	1000 руб/т	Челябинская область
Отходы стеклобоя бесцветного листового стекла	1500 руб/т	Чувашская республика
Стеклобой электрических изоляторов (от 130 т/мес.)	1200 руб/т	Курская область
Стеклобой микс	1800 руб/т	Московская область
Стеклобой, отсортированный по цветам	2200 руб/т	Московская область
Тарное стекло (бутылки пивные, водочные)	2000 руб/т	Московская область
Стеклобой ламп накаливания, чистый без цоколя	2,4 руб/кг	Пензенская область

может состоять из различных стадий: сортировки, сепарации, очистки от примесей, отмывки), дробление, помол, получение конечной продукции в виде фракционированного стеклопорошка (фракции 3—20 мм, 0,5—3 мм и 0—0,5 мм), а также изделий и стройматериалов. Физические свойства фракционированного стеклобоя и стеклопорошка зависят от источника отходов и регламентируются документом ТУ 21-РСФСР-137—89 "Стеклобой для стеклянной тары. Технические условия". Как показывает практика, наиболее оперативными и действенными документами являются технические условия, разработанные и согласованные поставщиком и потребителем, поэтому нормативная документация для товарных продуктов до их широкой продажи может представлять собой лишь проект.

В настоящее время в РФ отходы дробленого стекла в виде стеклопорошка применяются в основном в производстве стекломозаичной плитки, штапельного стекловолокна, облицовочной плитки, кровельных материалов, плиток для полов, искусственного шифера, мрамора и т. д. При этом технологии получения строительных материалов на основе промышленных и бытовых отходов становятся все актуальнее и, в частности, особый интерес вызывают способы утилизации стеклобоя, позволяющие получать такие стройматериалы.

В целом потребности Московского промышленного региона в стеклопорошке удовлетворяются не более чем на 10...15 %. Предприятия, нуждающиеся в готовом дробленном стеклобое или стеклянном порошке, вынуждены организовывать собственные службы по сбору отходов стекла и их

Таблица 1

Допустимое количество примесей в стеклобое по ГОСТ Р 52233—2004 [1]

Наименование примесей	Группа	Допустимое количество примесей
А. Триплекс, стекло, армированное металлической сеткой; металлические предметы и пробки, тугоплавкие стекла, зеркала, керамика, фарфор, шлак, уголь, кирпич, камень, щебень, бетон, асфальт	1-го сорта 2-го сорта	Не допускается Не более 2 %
Б. Корковые пробки, бумага и другие органические примеси	1-го сорта 2-го сорта	Не более 0,5 % Не более 10 %
В. Песок, глина	1-го сорта 2-го сорта	Не более 0,2 % Не более 5 %



подготовке для технологического процесса. Некоторые фирмы самостоятельно занимаются сбором стеклобоя и переработкой его в легкие гранулы, используемые в качестве наполнителя при производстве строительных блоков, а также в качестве эффективной теплоизоляционной засыпки. В их числе компания ООО "Пеностек", специализирующаяся на производстве гранулированного пеностекла — пористого теплоизоляционного материала с замкнутыми стеклянными ячейками, который получают из смеси тонкоизмельченного стекла и газообразователя (торговое название "пеностек"). По своей структуре материал "пеностек" напоминает отвержденную мыльную пену.

Следует отметить, что впервые пеностекло было создано в 1930-е гг. в Советском Союзе в МХТИ им. Д. И. Менделеева (Москва) и в начале 1940-х в США, но в нашей стране оно не нашло широкого применения в отличие от США, где после войны корпорацией "Питсбург Корнинг" было запущено первое в мире производство пеностекла под торговой маркой "фоамглас", которое в настоящее время в качестве теплоизолирующего материала активно используется на объектах энергетики, на предприятиях газодобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, в строительстве [2] и т. п. Например, во многих странах блоки из пеностекла используются для защиты дымовых труб теплоэлектростанций, что является наиболее оптимальным инженерным решением подобной теплотехнической задачи. Основными достоинствами пеностекла в этом случае являются: широчайший

температурный диапазон его эксплуатации, небольшая плотность, способствующая уменьшению массы конструкции при высокой механической прочности, устойчивость к химическому воздействию продуктов горения углеводородного топлива, в том числе соединений серы, разрушающих прочие теплоизоляционные материалы.

Технология производства пеностекла состоит из нескольких стадий. Сначала стеклобой дробят до частиц размером меньше миллиметра, затем перемалывают до получения стеклопорошка с заданной удельной поверхностью, после чего полученный порошок смешивают с газообразователем и получают стеклянные гранулы, которые направляются во вращающуюся печь для получения гранулированного пеностекла или в туннельную печь для получения блоков. Отличительной особенностью технологии ООО "Пеностек" является реализация процессов механохимической активации компонентов смеси, гранулирование смеси с последующим вспучиванием гранул стекломассы в пластично-вязком состоянии и их контролируемым затвердеванием.

Производимые компанией ООО "Пеностек" пеностекляные материалы являются альтернативой широко распространенным в настоящее время материалам на основе фенольных связующих, применение которых при строительстве жилых домов из-за деления фенола вызывает большие опасения экологов. Пеностекло обладает высокими эксплуатационными характеристиками: негорючее, нетоксичное, с низкой теплопроводностью, долговечное (табл. 3). Этот материал также сравнитель-

Таблица 3

Сравнительные характеристики теплоизоляционных материалов [2]

Характеристика теплоизоляционных материалов	Пенополиуретан	Пенополистирол	Плиты из минеральной ваты	Газобетон автоклавный	Пеностекло Пеностек
Природа материала	Органический материал	Органический материал	Неорганический материал на органическом связующем	Неорганический материал	Неорганический материал
Плотность, кг/м ³	40...80	40...150	50...350	350...700	100...400
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,03...0,04	0,04...0,05	0,04...0,09	0,08...0,1	0,04...0,1
Стабильность размеров	Изменяет размеры	Дает усадку	—	Удовлетворительная	Не изменяет размеры
Прочность на сжатие, кгс/см ²	—	2...10	—	8...50	5...20
Сопrotивление непродолжительному воздействию теплоты, °С	180	100	250	450	700
Водопоглощение	Зависит от срока пребывания материала в контакте с жидкостью		Большое водопоглощение		Не более 5 % от объема за счет накопления влаги в поверхностном слое разрушенных ячеек
Верхний температурный предел эксплуатации, °С	120	80	200	400	500
Огнестойкость конструкций с применением материала	Неогнестойкие!		Огнестойкие!	—	Огнестойкие!
Стабильность при эксплуатации (разрушение от времени)	Через 10...15 лет наблюдается охрупчивание и разрушение материала	Через 5...10 лет	В сухом состоянии ограничено	время эксплуатации неограничено	Время эксплуатации неограничено

но недорог (5,0...6,0 тыс. руб. за 1 м³), поскольку производится из отходов стекла без связующих компонентов. Таким образом, переработка стеклобоя в пеностеклянные теплоизоляционные материалы актуальна как с экологической, так и экономической точек зрения.

В прошлом году пористый теплоизоляционный материал "пеностек" после заключения рабочей комиссии Научно-технического совета Москомархитектуры и Экспертной комиссии по новой технике, применяемой в московском строительстве, был рекомендован к применению в чердачных перекрытиях и при утеплении полов, кровель зданий и сооружений в качестве засыпного гранулированного материала.

Еще одним продуктом, который можно получить из стеклобоя, является блочное пеностекло (торговая марка "пеноситал"), производимое российским предприятием ЗАО "Пеноситал" (Пермь), осуществляющим научные разработки и опытное производство пеностеклянных материалов с использованием нанотехнологий.

Суть предлагаемой технологии состоит в том, что измельченный стеклобой (с размером зерен менее 50 мкм) в скоростном реакторе-смесителе смешивают с раствором специально подготовленных жидких реагентов, которые обеспечивают модификацию поверхности стеклянных гранул, образуя на ней наноразмерные пленки толщиной 100...120 нм. Полученный модифицированный стеклянный порошок гранулируется и подвергается гидротермальной обработке без применения газообразователя, который необходим при классической технологии производства подобных продуктов. Энергозатраты на производство 1 м³ гранулированного пеностекла составляют около 200...250 кВт·ч, блочного — 500...600 кВт·ч, поскольку в первом случае отсутствует необходимость нагрева форм и системы транспортировки.

Конечной продукцией являются теплоизоляционные материалы, которые можно применять как при жилищном строительстве, так и для промышленной теплоизоляции. Отличительные особенности этих материалов:

- конструкционная устойчивость, позволяющая снижать затраты на монтаж;
- износостойчивость, обеспечивающая срок службы более 50 лет и, как следствие, отсутствие необходимости замены теплоизоляции в течение срока эксплуатации здания;
- способность выдерживать широкий спектр температур (от -250 °С до +650 °С);
- негорючесть;

— возможность использования материалов в агрессивных средах;

— экологическая безопасность.

Одним из преимуществ рассматриваемой технологии является возможность создания подобных производств на местном сырье в любом регионе.

Другим перспективным направлением применения блочного пеностекла могут стать облицовочные материалы. Готовые пеностеклянные изделия имеют белый цвет, а при использовании широкого спектра пигментных добавок можно получать любые цвета и оттенки. Увеличение плотности пеностекла также расширяет его эксплуатационную нишу. Доказано, что с точки зрения строительного материаловедения стеновой штучный материал с кажущейся плотностью ниже 1000 кг/м³ востребован современными строительными технологиями [3]. В качестве альтернативы применяемому сегодня пустотелому кирпичу предлагается блочное пеностекло с плотностью выше 400 кг/м³, которое уже достигает требуемых характеристик по прочности и значительно превосходит пустотелый кирпич по теплоизоляционным свойствам.

Проект широкомасштабного производства теплоизоляционного материала "пеноситал" был представлен на Втором международном форуме по нанотехнологиям в октябре 2008 г. и получил грант государственной корпорации "Роснано". Предполагается, что к 2013 г. будет запущено полномасштабное производство новых материалов на основе пеноситала с объемом выпуска 106 тыс. м³ блочного пеностекла в год. По словам управляющего директора Госкорпорации "Роснано" Д. Лысенкова, "уникальность проекта заключается в том, что базовая технология, получившая название "Пеноситал", является единственной на сегодня реализованной в опытно-промышленном масштабе технологией производства блочного пеностекла в России и одной из лучших в мире по совокупности характеристик конечного продукта, в том числе по экологической составляющей [4].

Список литературы

1. ГОСТ Р 52233—2004. Тара стеклянная. Стеклобой. Общие технические условия.
2. <http://www.penostek.ru>
3. Кетов А. А., Конев А. В., Пузанов И. С. // Строительные материалы. — 2007. — № 9.
4. <http://www.rusnano.com>
5. <http://www.solidwaste.ru>



УДК 674:658.567

Н. А. Филина, С. Я. Алибеков, д-р техн. наук, проф.,
Марийский государственный технический университет, г. Йошкар-Ола
E-mail: nata-filina@yandex.ru

Технология утилизации древесных и нефтесодержащих отходов с целью получения тепловой энергии

Рассмотрена технология утилизации древесных отходов, пропитанных нефтепродуктами, и получения достаточно калорийного топлива, представлен процесс горения на древесных гранулах и на опиле различных пород деревьев как чистых, так и пропитанных нефтепродуктами, приведена рассчитанная теплота сгорания этих образцов.

Ключевые слова: древесные и нефтесодержащие отходы, сорбция, тепловая энергия, брикеты.

Filina N. A., Alibekov S. J. *The technology of wood and oily wastes utilization for the purpose of obtaining the thermal energy*

We tried to suggest some oil rich wood scrap utilize technology, and make quite calory fuel. The process of combustion is studied on wood-particles of different tree species, both oil rich and oil free. Also the combustion warmth was calculated.

Keywords: wood and oil products waste, sorption, heat energy, briquettes.

В России в последнее время стремительно развивается лесопромышленный комплекс, в связи с этим встает вопрос об утилизации образовавшихся отходов в связи с пожароопасностью, захламлением территории и т. д.

Целью описываемого исследования является утилизация и использование отходов деревообработки.

Получение готовой продукции из древесины сопряжено с огромными потерями, которые принято называть отходами. Древесные отходы (в дальнейшем — отходы) — технологическая неизбежность деревообрабатывающего предприятия. Выход отходов при деревообработке в отдельных случаях может достигать 50...80 %.

Отходы на этапе заготовки леса могут достигать нескольких десятков процентов (пни, сучья, хвоя и т. д.). Типичная лесопилка превращает около 60 % древесины в доски, при этом 12 % уходит в опил, 6 % — в концевые обрезки и 22 % — в горбыль и обрезки кромок. Объем опила, и стружки на этапе деревообработки достигает 12 % от исходного сырья.

Анализ структуры отходов столярных, мебельных и других деревообрабатывающих производств пока-

зал следующее. Объем отходов, образующихся при переработке сухих пиломатериалов и заготовок, достигает 43 % величины объема сырья и больше — при этом объем кусковых отходов (реек, обрезков брусьев, забракованных заготовок) составляет около 20... 30 % величины объема сырья. Влажность последних находится в пределах 6...15 %.

Многие деревообрабатывающие предприятия в настоящее время используют различные способы реализации отходов:

- вывоз на свалки твердых бытовых отходов;
- отпуск населению для садоводческих участков;
- использование в сельском хозяйстве, т. е. в качестве подстилки, кормовых добавок и удобрений;
- использование при производстве древесностружечных плит (ДСП), древесно-волоконистых плит (ДВП), древесно-слоистых пластиков, древесно-цементной массы;
- использование при производстве баркслаита — твердой массы черного цвета с блестящей поверхностью; выпускается в виде прессованных изделий (шкивов, ручек, панелей, тормозных колодок и пр.);
- производство гранул и брикетов для получения тепловой энергии;
- сжигание на предприятии в топках котлов с целью получения горячей воды или пара требуемых параметров для нужд производства (самый распространенный способ);
- в качестве сырья для производства целлюлозно-бумажной продукции.

Основные направления использования древесных отходов представлены в табл. 1.

В современной деревообрабатывающей промышленности как отечественной, так и зарубежной, накоплен большой опыт, разработаны и реализованы многочисленные технологические проекты по переработке различных видов древесного сырья в основном по трем направлениям — в качестве строительных материалов, источника для химических продуктов и топлива.

В настоящее время активно внедряется технология сжигания опилок, щепы, старой древесины. Этот процесс прямого использования отходов лесопиления и деревообработки имеет ряд недостатков. Во-первых, для повышения эффективности сгорания опилки и щепа должны быть сухими, что требует дополнительных технологических процессов.

Таблица 1

Направление использования древесных отходов

Группы и виды отходов	Направление использования — производство					
	целлюлозно-бумажное	плитное	химическое	кормовое	топливо	прочие
1. Кусковые отходы: горбыли, рейки, отрезки пиломатериалов, обрезки досок и т. д.	+	+	+	-	+	+
2. Мягкие отходы: опилки, стружки, древесная пыль	-	+	+	+	+	+
3. Кора	-	+	+	+	+	+

Во-вторых, требует решения проблема складирования. Помимо необходимости больших складских площадей, свежие опилки и щепа подвержены самовоспламенению. В-третьих, мелкофракционные древесные отходы ввиду их малой насыпной плотности экономически невыгодно перевозить на расстояния более 20...40 км.

Некоторой альтернативой прямого использования древесных отходов в виде топлива является изготовление брикетов.

Известны сорбционные свойства древесных материалов [3, 7], поэтому были исследованы адсорбирующие свойства древесных опилок, с целью ликвидации последствий аварий, связанных с разливом нефтепродуктов на водных объектах. Проведены эксперименты по изучению растекания нефтяных пленок по поверхности воды:

— эксперименты проводили в лотке, нефть растекается во все стороны одинаково, образуя круг, радиус которого изменяется во времени (рис. 1, а);

— при движении воды, наличии ветра нефтяное пятно приобретает вытянутую форму по направле-

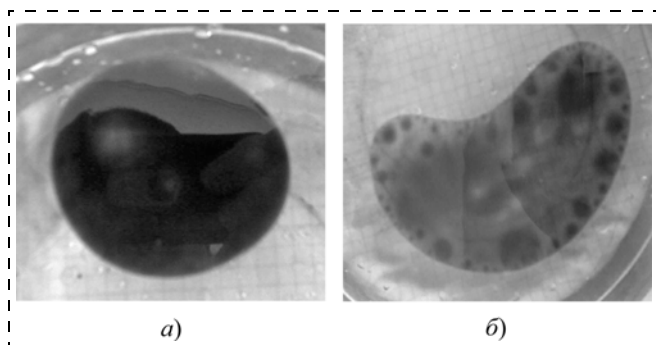


Рис. 1. Формы нефтяных пленок на поверхности воды

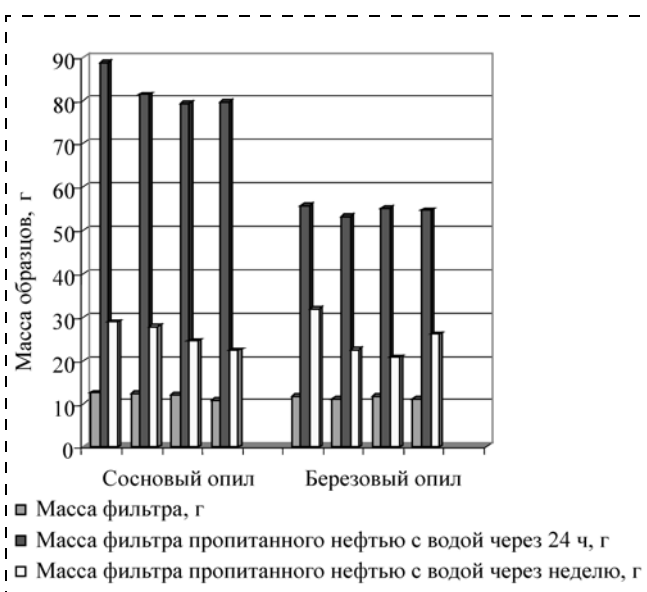


Рис. 2. Сравнительная характеристика сорбционной способности березового и соснового опила

нию суммарного вектора скоростей ветра и течения (рис. 1, б).

Разлившаяся на поверхности воды нефть перемещается в том же направлении и с той же скоростью, что и поверхностный слой воды.

Процесс ликвидации аварийного разлива нефти или нефтепродукта условно состоит из трех стадий:

- локализации разлива;
- собственно сбора и удаления нефти или нефтепродукта с поверхности воды;
- переработки и утилизации собранного продукта.

Поэтому особенно важным становится процесс оперативного удаления нефтяного загрязнения с поверхности воды [4].

Анализ известных принципов удаления плавающей нефти с водных поверхностей (механическое удаление, глобулирование, сорбция, химическое и микробиологическое разложение и др.) [7, 8] показывает, что наиболее эффективными средствами являются физико-химическая сорбция и микробиологическое разложение.

В качестве сорбентов были использованы сосновый, березовый, липовый опил. Опил не распыляли по поверхности, а для легкости сбора с поверхности воды его помещали в капроновые мешочки (боны). Полученные результаты сорбции нефтепродуктов бонами, содержащими опил, представлены на рис. 2. Как видно из рисунка, сосновый опил после 24 ч выдерживания обладает большей сорбционной способностью по сравнению с березовым опилом. Масса бонов, состоящих из капроновых мешочков, заполненных опилом, после недельной выдержки уменьшается на 50...70 %



по сравнению с массой после суточной сушки. С течением времени масса образцов изменялась, так как происходило испарение воды из образцов.

Опыты проводились в двух режимах: *статическом* и *динамическом*.

Статический режим имитирует использование сорбентов в превентивных средствах, используемых при ликвидации аварий с разливом нефти и нефтепродуктов. Примерами могут служить боновые заграждения, сорбирующие рукава, подушки, полотна.

Для опытов были подготовлены опытные образцы бонов с сосновыми и березовыми опилами. Образцы березового и соснового опила были взяты на пилораме Марийской лесотехнической школы. После предварительной просушки до относительной влажности 10 % опил был расфасован в бонны массой от 8,55 до 12 г. После этого в двух кюветах были приготовлены одинаковые смеси из 400 мл воды и 50 мл нефти, имитирующие нефтяное загрязнение. В каждую из кювет поместили по одному бону, содержащему березовый и сосновый опил, соответственно. Целью данного опыта было исследование сорбционных свойств березы и сосны. Образцы были оставлены на 24 ч. После извлечения бонов из кюветы, бонны взвесили и определили массу образцов, пропитанных нефтепродуктами и водой. Далее в мензурке определяли количество нефтепродуктов и воды, оставшихся в кювете после сорбции древесными отходами. Полученные данные по сорбции древесными отходами нефтепродуктов и воды представлены в табл. 2.

Анализ представленных результатов показывает, что сосновый опил обладает большей сорбционной способностью по сравнению с березовым опилом.

Для исследования сорбционной способности древесных отходов в динамических режимах сконструировали установку. Емкость сконструирован-

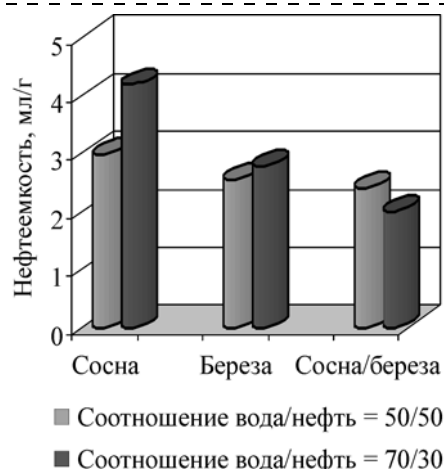


Рис. 3. Гистограмма нефтеемкости опила в динамическом режиме

ной установки заполняли опилом из сосны, березы, их смеси в соотношении 1 : 1 и липы для очистки воды от нефтяного загрязнения.

В установку заливали смесь, приготовленную путем смешивания 50 мл нефти и 50 мл воды. Была проведена серия опытов с различным соотношением смеси нефти и воды 30 и 70 мл. Смесь, проходя через фильтр, в качестве которого выступал опил, разделялась на две фракции (сначала проходила вода, а затем фракция нефти). Результаты опытов сведены в гистограмму, представленную на рис. 3. Как показали опыты, хуже всего сорбционная способность у липы, поэтому липовый опил в дальнейшем в эксперименте не использовали.

Установлено, что сорбционная способность древесных отходов при использовании синтетических тканей увеличивается на 15 %. Синтетическую ткань обычно использовали для изготовле-

Таблица 2

Результаты исследования сорбционных свойств древесного опила в статическом режиме

Материал	Масса вещества, г	Первоначальный объем, мл		Конечный объем (вышедший), мл		Поглощение, %		Нефтеемкость, мл/г
		воды	нефти	воды	нефти	воды	нефти	
Сосновый опил	12,00	400	50	361	8	9,75	84	3,5
	11,20	400	50	370	10	7,5	80	3,57
	12,00	400	50	362	9	9,5	82	3,41
	11,50	400	50	364	9	9	82	3,56
	12,10	400	50	372	7	7	86	3,55
Березовый опил	12,00	400	50	384	10	4	80	3,33
	11,80	400	50	385	10	3,75	80	3,39
	11,50	400	50	380	11	5	78	3,39
	11,90	400	50	383	12	4,25	76	3,20
	11,70	400	50	381	10	4,75	80	3,42
Сосновый опил + березовый опил	9,55	400	50	368	12	8	76	3,9
	9,8	400	50	365	11	9,5	78	3,9
	8,55	400	50	374	14	6	72	4,2

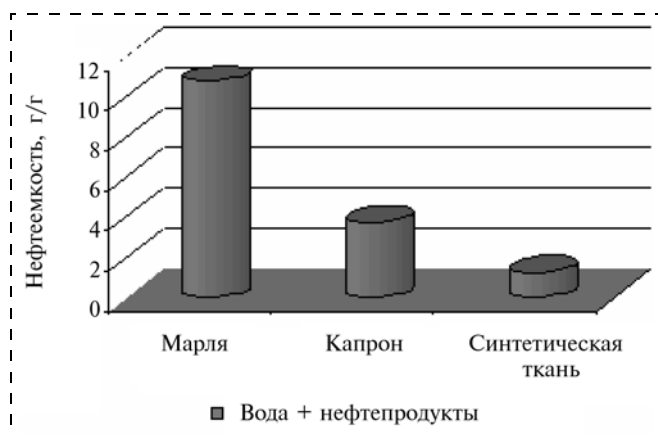


Рис. 4. Гистограмма нефтеемкости материалов в статическом режиме

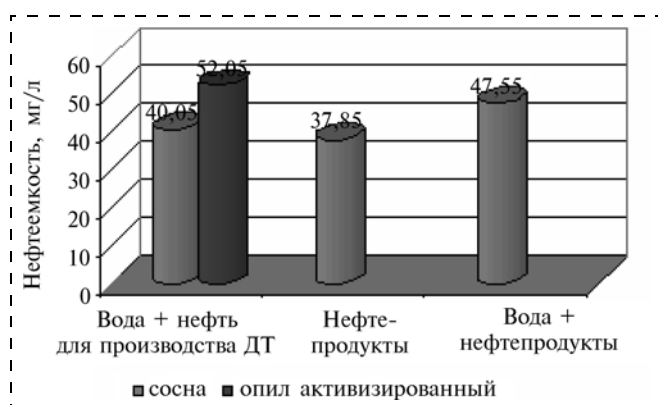


Рис. 5. Гистограмма нефтеемкости опила (ДТ — дизельное топливо)

ния бонов. На рис. 4 представлены сорбционные способности материалов, использованных для изготовления бонов.

Сосновые опилки с целью исследования сорбционной способности подвергли активации (термической обработке в печи при $t = 120...130\text{ }^{\circ}\text{C}$) в течение 1 ч. Активация показала, что при удалении влаги из опила его сорбционная способность увеличивается на 28 % (рис. 5).

Таким образом, для уменьшения вероятности растекания нефтяных пятен можно использовать древесные отходы в качестве сорбентов. Боны, заполненные древесными опилками, по сорбционным свойствам не уступают используемым сорбентам (например, резиновая крошка, текстильный горошек, пенополиуретан, перлит), а во многих случаях превосходят применяемые, поскольку не только ограждают пятно, но одновременно сорбируют различные загрязнения, препятствуя их проникновению за пределы границ разлива. Одновременно древесные опилки можно утилизировать в качестве топлива для

различных нужд. Поэтому можно считать процесс очистки водных объектов от нефтяных загрязнений безотходным.

Следующим этапом наших исследований было определение теплоты сгорания опила и гранул, полученных из разных пород деревьев, насыщенных нефтепродуктами.

Сжигание образцов древесных опилок и гранул проводили по ГОСТ 12.1.044—89 [1]. Были подготовлены опытные образцы березовых, сосновых опилок и древесных гранул. Рассмотрены процессы горения как чистых опилок и гранул, так и пропитанных в течение 48 ч нефтепродуктами.

Исследования проводили на приборе ОТМ [1]. Регистрация температуры проводилась на потенциометре КСП-2. Для измерения температуры газообразных продуктов горения использовали термоэлектрический преобразователь с электродами диаметром 0,5 мм, рабочий спай которого располагали в центре зонда на расстоянии 15 мм от его верхней кромки. Регистрирующий температуру прибор потенциометр КСП-2 имеет диапазон измерения от 0 до 600 °С, класс точности не ниже 0,5. Секундомер СОСпр-26-2-000 с погрешностью измерения не более 1 с. Весы аналитические лабораторные — с наибольшим пределом взвешивания 500 г, погрешностью измерения не более 0,1 г.

Испытания проводили в мешочках из стеклоткани, сшитых металлическими скрепками, весом 4,1 г каждый. Мешочки заполняли как чистыми, так и загрязненными нефтепродуктами, березовыми, сосновыми опилками и гранулами с относительной влажностью 12 %. Масса готовых образцов по 50 г каждый.

Предварительно подготовленные образцы выдерживали в вентилируемом сушильном шкафу при температуре $(60 \pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 24 ч, затем охлаждали до температуры окружающей среды, не вынимая их из шкафа. Образцы высушивали для более точного определения теплоты сгорания.

Внутренняя поверхность реакционной камеры перед испытанием была покрыта двумя слоями алюминиевой фольги толщиной до 0,2 мм, которую по мере прогорания или загрязнения продуктами горения заменяли на новую.

Подготовленные образцы закрепляли вертикально в держателе с помощью металлической проволоки. Держатель с испытуемым образцом вводили в камеру за 5 с до начала испытания и выдерживали до достижения максимальной температуры отходящих газообразных продуктов горения опилок, затем горелку выключали. Образец выдерживали в камере до полного остывания (20 °С). Остывший образец извлекали из камеры и взвешивали, определяя зольный остаток.

Полученные результаты представлены на рис. 6.

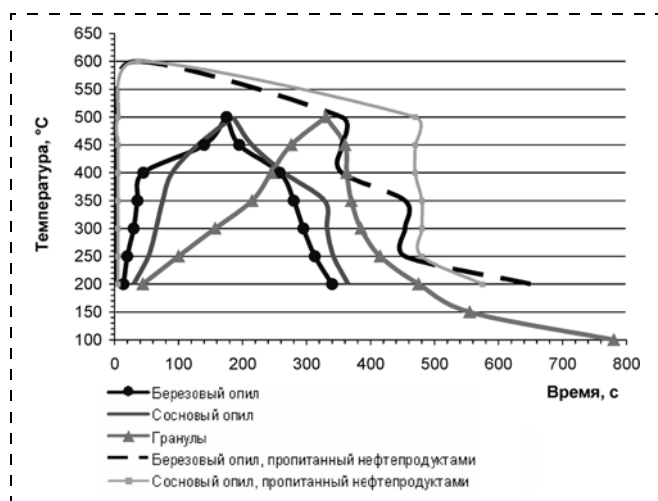


Рис. 6. Зависимость температуры от времени сжигания древесных отходов

Особенности процессов горения опила изучены ранее и рассмотрены в работах [3, 6].

При температуре 200 °С начинается плавление и конденсация ароматических ядер лигнина. При температуре 180...300 °С происходит дегидрата-

ция целлюлозы с образованием несопряженных двойных связей и появление при 220 °С ароматических и конденсированных структур. При нагревании конденсация происходит параллельно с деструкцией, выделением летучих веществ (газообразных продуктов, смолы). Скорость выделения летучих веществ увеличивается с повышением температуры. Этот процесс может быть несколько растянут во времени из-за большого разнообразия летучих веществ, различных по своему химическому составу и температуре воспламенения. Сначала происходит разложение гемицеллюлозы (200...260 °С) и затем, при более высокой температуре, разложение целлюлозы (240...350 °С) и лигнина (280...500 °С). За пределом 300 °С обычная структура древесины исчезает, уступая место конденсированным системам с известной степенью ориентации. При дальнейшем нагревании до 350 °С унифицированных структур образуется уголь.

При температуре 400...500 °С наблюдается низкая скорость выхода летучих веществ, определяемая процессом разложения лигнина, происходящим в пределах всего температурного диапазона,

Таблица 3

Результаты расчета образцов, пропитанных нефтепродуктами

Материал	Масса вещества, г	Кол-во нефтепродуктов, мл	Масса образцов через 48 ч, г	Содержание нефтепродуктов в образце, %	Масса золы, г	Нижшая теплота сгорания Q_n^p , МДж/кг	Теплота сгорания, МДж/кг [5]
Образцы, пропитанные нефтепродуктами							
Березовый опил	45,9	105	133,15	65,5*	2,10	32,13	13,8
	45,9	105	134,05	65,8*	2,30		
	45,9	105	132,80	65,4*	1,80		
Сосновый опил	45,9	130	166,30	72,4*	1,55	34,20	13,8
	45,9	130	165,70	72,3*	1,35		
	45,9	130	166,90	72,5*	1,85		
Сосновый опил : березовый опил (1:1)	45,9	130	159,1	71,2*	1,95	33,83	13,8
	45,9	130	159,85	71,3*	2,10		
	45,9	130	158,70	71,1*	1,80		
Древесные гранулы	45,9	65	64,40	28,7	0,25	23,41	17,5
	45,9	65	63,90	28,2	0,20		
	45,9	65	64,70	29,1	0,30		
Образцы, пропитанные бензином марки А92							
Березовый опил	45,9	65	51,50	10,9**	0,25	14,74	13,8
	45,9	65	51,75	11,3**	0,35		
	45,9	65	51,40	10,7**	0,15		
Сосновый опил	45,9	75	67,40	31,9**	0,55	22,00	13,8
	45,9	75	67,80	32,3**	0,65		
	45,9	75	67,20	31,7**	0,45		
Древесные гранулы	45,9	30	58,85	22,0***	0,1	21,72	17,5
	45,9	30	59,05	22,3***	0,15		
	45,9	30	58,80	21,9***	0,12		

* Нефтепродукты содержат воду, которая после сушки испаряется.

** Бензин с течением времени испаряется.

*** Древесные гранулы из-за высокой плотности лучше удерживают бензин.

но вызывающего наибольшие потери основной массы при более высоких температурах.

Наибольшую температуру горения имеют твердые компоненты топлива, которые остаются после удаления летучих веществ. Как правило, эти компоненты имеют углеродную основу и сгорают при температурах 650...700 °С. Процесс горения твердых компонентов сопровождается большим количеством выделяемой теплоты.

Максимальная температура отходящих газообразных продуктов горения березовых и сосновых опилок, древесных гранул составляет 500 °С, опила, пропитанного нефтепродуктами, — 600 °С.

С выключением горелки происходит самостоятельное горение образца, постепенное затухание процесса во времени с образованием зольного остатка.

При сжигании образца с березовыми опилками масса образовавшейся золы составляет 0,2 г или 0,44 % от первоначальной массы образца; опилок, пропитанных нефтепродуктами, — 2,1 г или 1,58 %.

При сжигании образца с сосновыми опилками масса образовавшейся золы составляет 0,45 г или 0,98 % от первоначальной массы образца; опилок пропитанных нефтепродуктами 1,55 г или 0,93 %.

Процесс горения древесных гранул в 1,3 раза дольше по времени, чем горение опилок. Это связано с высокой удельной плотностью древесных гранул (1300...1400 кг/м³) по сравнению с плотностью сосновых (500 кг/м³) и березовых (630 кг/м³) опилок. Масса образовавшейся золы 0,3 г.

Теплота сгорания опила, пропитанного нефтепродуктами, была определена по следующей формуле с учетом теплоты сгорания нефтепродуктов $Q_H^p = 41,87$ МДж/кг и опила ($W = 14$ %) $Q_H^p = 13,8$ МДж/кг [5]:

$$Q = \frac{m_{\%} Q_H^p}{100}, \quad (1)$$

где $m_{\%}$ — процентное содержание массы нефтепродуктов в смеси; Q_H^p — низшая теплота сгорания, МДж · кг⁻¹.

Так же была определена теплота сгорания опила, пропитанного бензином марки А92.

Результаты расчета представлены в табл. 3.

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что древесные гранулы плохо впитывают нефтепродукты по сравнению с опилом различных фракций.

Выводы

1. В ходе исследований было установлено, что для уменьшения вероятности растекания нефтяных пятен можно использовать древесные отходы в качестве сорбентов (бонов).

2. Установлено, что теплота сгорания опила, пропитанного нефтепродуктами и бензином марки А92, в 2,5 и 1,5 раза соответственно выше, чем у чистого опила.

3. Температура сгорания опилок березы и сосны как пропитанных, так и непропитанных нефтепродуктами, совпадают, и время сгорания составляет 35 с и 180 с соответственно, а у гранул время сгорания — 350 с.

4. Опил можно использовать как сорбент для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов и как вторичный ресурс для получения тепловой энергии.

5. Время сгорания гранул в 2 раза больше, чем у опила как пропитанного, так и непропитанного нефтепродуктами. Поэтому для получения большего количества теплоты из опила необходимо изготавливать брикеты.

Список литературы

- ГОСТ 12.1.044—89 Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
- Джон Вос. Применение энергии биомассы для отопления и горячего водоснабжения в Республике Беларусь. Методические рекомендации по применению передовой практики // Электронный журнал энергосервисной компании "Энергетические системы". — 2006. — № 2.
- Древесный уголь. Получение, основные свойства и области применения древесного угля / О. В. Бронзов, Г. К. Уткин, А. Н. Кислицын и др. — М.: Изд-во Лесн. пром-сть, 1979. — 137 с.
- Киреева Н. А., Кузяхметов Г. Г. Способы ускорения биологического разрушения нефтяных углеводородов в почве // Тез. докл. Научн. конф. "Университеты России". — Уфа, 1995. — С. 61—62.
- НПБ 105—95 ГУГПС МВД России Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности (приказ № 32 от 31.10.95 г.).
- Попова Л. Г. Исследование некоторых вопросов механизма образования древесного угля: автореферат. — Л.: Лесотехническая академия им. Кирова, 1970. — 15 с.
- Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов / Ю. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов. — М.: Иноктаво, 2005. — 368 с.
- Шарипов А. У., Бочкарев Г. П., Андресон Б. А. Методы борьбы с нефтяными загрязнениями пресных и морских водоемов // Экспресс-информ. Сер. Защита от коррозии и охрана окружающей среды. — М.: ВНИИОЭНГ, 1991. — 50 с.



УДК 613.11.6

Ю. В. Цветкова, асп., Тульский государственный университет
E-mail: tsvetkova_vv@business.beeline.ru

Существующие модели атмосферной дисперсии загрязняющих веществ и их анализ

Проанализированы основные модели атмосферной дисперсии загрязняющих веществ, которые применяются в мировой практике, рассмотрены основные характеристики данных моделей для разработки оптимальной модели для одной из областей России.

Ключевые слова: атмосферная дисперсия, загрязняющие вещества, шлейф, математическое моделирование, гауссова модель, эйлерова модель, лагранжева модель.

Tsvetkova J. V. Existing models atmospheric dispersion of polluting substances and their analysis

In article the existing air pollution dispersion models which are applied in the world are considered, the basic characteristics of the given models are specified. A main objective article is consideration of the basic characteristics of models for the further choice of the optimal model for using in Russia.

Keywords: air dispersion, pollutants, plume, mathematical modeling, Gaussian model, Eulerian model, Lagrangian model.

Каждый промышленный российский город удручает экологов повышенной концентрацией в атмосфере побочных продуктов деятельности предприятий и объектов теплотехники, дорожного движения и пригородного сельского хозяйства. Математическое моделирование распространения загрязняющих веществ в атмосфере — одна из наиболее важных практических задач математической экологии.

Дисперсия промышленных выбросов происходит за счет их переноса воздушными массами и диффузии, обусловленной турбулентностью воздуха. Дымовой шлейф из трубы увлекается воздушным потоком и постепенно разбухает по мере удаления от источника вследствие мелкомасштабной турбулентности. Шлейф имеет форму конуса, вытянутого в сторону движения воздушных масс. Впоследствии шлейф распадается на изолированные вихревые образования, увлекаемые на большие расстояния от источника. Тяжелые примеси осаждаются на поверхность Земли под действием гравитационного поля, легкие — в результате диффузионного процесса. Загрязнение атмосферы и подстилающей поверхности пассивными и активными примесями оценивается с помощью математических моделей [1].

Модели загрязнения атмосферного воздуха можно классифицировать следующим образом:

- **эйлеровы модели**, позволяющие численно решать уравнения атмосферной диффузии;
- **гауссовы модели**, в соответствии с которыми распределение концентраций характеризуется как гауссовское в горизонтальном и вертикальном направлениях;
- **лагранжевы модели**, в которых либо отслеживаются процессы в движущихся массах воздуха, либо используются условные частицы для имитации процессов рассеивания;
- **полуэмпирические модели**, базирующиеся, главным образом, на эмпирической параметризации;
- **стохастические модели**, базирующиеся на полуэмпирических или статистических методах и ориентированные на проведение анализа соотношения между качеством атмосферного воздуха и измерениями атмосферных параметров или на прогнозирование случаев повышенного загрязнения воздуха;
- **рецепторные модели**, которые рассматривают измеренные концентрации загрязнителей в рецепторной точке и оценивают процентный вклад различных источников в этой концентрации [2].

Модели атмосферной дисперсии описывают процессы турбулентной диффузии в атмосфере. К ним можно отнести эйлеровы, гауссовы и лагранжевы модели и отчасти полуэмпирические модели из приведенной выше классификации.

В состав эйлеровых и лагранжевых моделей, как правило, входят субмодели сухого и мокрого осаждения, химического превращения и других процессов. Составной частью гауссовых моделей могут быть субмодели, в частности характеризующие подъем дымового шлейфа и оседание потока, процессы осаждения и химического превращения.

Эйлеровы и лагранжевы модели традиционно определяются как описывающие процессы в фиксированной системе координат или в потоке жидкости соответственно [3].

В гауссовых моделях предполагается, что рассеяние нейтрально плавающей примеси в трехмерном пространстве происходит по нормальному закону распределения при условии сохранения термодинамических условий атмосферы и постоянства вектора скорости ветра. Учет ряда иных факторов, влияющих на перенос, рассеяние и осаждение примеси, выполняется введением различных поправок, которые позволяют учесть, например, отражение примеси от границ слоя рассеяния, взаимодействие при-

меси с поверхностью, сухое и влажное осаждение, химические превращения и прочие эффекты [4].

Преимущества гауссовой модели перед другими заключается в объеме используемого экспериментального материала и опробованности ее практически во всем мире. Именно она рекомендована многими международными организациями, включая Всемирную метеорологическую организацию (ВМО), Всемирную организацию здравоохранения (ВОЗ), Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ). Однако эта модель имеет ряд серьезных недостатков и в некоторых случаях неприменима [5].

Несмотря на некоторые преимущества лагранжевых моделей при воспроизведении структуры турбулентности, они обладают существенными ограничениями при моделировании процессов рассеивания большого числа реагирующих примесей. Эйлеровы модели позволяют описать процесс рассеивания нескольких десятков или сотен реагирующих примесей и учесть их трансформацию. В эйлеровых моделях достаточно качественно описывается поведение всплывающей примеси. Использование лагранжевых моделей в этих случаях затруднено необходимостью пересчета некоторых величин на эйлерову сетку [6].

По масштабам атмосферных процессов модели атмосферной дисперсии могут быть классифицированы следующим образом:

- **макромасштабные** (масштаб протяженности >1000 км), при котором атмосферный поток ассоциируется с синоптическими явлениями;
- **мезомасштабные** (1 км < масштаб протяженности <1000 км), при котором воздушный поток отчасти находится в зависимости от синоптических явлений и отчасти от гидродинамических эффектов (например, от шероховатости подстилающей поверхности и препятствий) и от неоднородностей энергетического баланса;
- **микромасштабные** (масштаб протяженности <1 км), при котором воздушный поток в основном зависит от характеристик поверхности [3].

По масштабам времени модели атмосферной дисперсии могут быть классифицированы следующим образом:

- **локальные** (масштаб времени менее нескольких минут);
- **локально-региональные** (несколько часов);
- **регионально-континентальные** (несколько дней);
- **глобальные** (несколько недель или более) [7].

Перечислим существующие модели дисперсии и дадим каждой из них краткую характеристику:

1. **AERMOD-HNS, AEROPOL, CAR-FMI, HNS-COUNTRYWIDE, HNS-ROAD, HNS-TRANSMISSION, STACKS, SYMOS97, MODIM, MODLAC, NORMAL, ODOR-TRANSMISSION, ONM9440, OML, PLUME, POLGRAPH, PROKAS_V** — Гауссовы модели.

2. **ADMS 4, ADMS-Airport, ADMS-Roads, ADMS-Screen, ADMS-Urban, EK100W** — Трехмерные гауссовы мезомасштабные локальные модели.

3. **CALINE4** — Двухмерная гауссова микромасштабная модель.

4. **DISPERSION21** — Гауссова полуэмпирическая локальная модель.

5. **IFDM, PLUME-Plus** — Гауссовы локальные модели.

6. **AUSTAL2000, DIPCOT, SLP-2D, SMOG, TAMOS** — Лагранжевы модели.

7. **FLEXPART** — Лагранжева модель частиц.

8. **MILORD, SPRAY** — Лагранжевы стохастические модели.

9. **FLEXTRA** — Лагранжева траекторная модель.

10. **HARM** — Лагранжева траекторная регионально-континентальная модель.

11. **INPUFF-U** — Лагранжева локальная модель.

12. **IVL** — Лагранжева траекторная мезомасштабная регионально-континентальная модель

13. **KFZ.LAG, KKW.LAG, LASAT, LASPORT, NAME, RADM, STOER.LAG** — Трехмерные лагранжевы модели.

14. **LED** — Лагранжева модель с эйлеровой дисперсией клубов.

15. **OPS** — Лагранжева траекторная модель, гауссова модель шлейфа.

16. **STOCHEM** — Трехмерная лагранжева глобальная модель.

17. **VADIS** — Лагранжева модель с использованием вычислительной гидродинамики.

18. **AURORA, BeEUROS, EMAP FARM, GLEMOS, Hilatar, IMSM, MCCM, REMOTA, STEM, TCAM** — Трехмерные эйлеровы модели.

19. **AUTOMOD** — Трехмерная эйлерова диагностическая локальная модель.

20. **CALGRID** — Трехмерная эйлерова фотохимическая локально-региональная модель.

21. **CAMx, TROPOS** — Эйлеровы фотохимические модели.

22. **CHIMERE** — Эйлерова региональная мультимасштабная модель.

23. **EMEP Unified Model** — Эйлерова глобальная модель.

24. **EURAD, LOTOS-EUROS, REM_Calgrid** — Трехмерные эйлеровы регионально-континентальные модели.

25. **EUROS** — Эйлерова химическая транспортная модель.

26. **MARS, MATCH, UDM-FMI** — Трехмерная эйлеровы локально-региональные модели.

27. **MEMO** — Трехмерная эйлерова прогнозная мезомасштабная локально-региональная модель.

28. **MERCURE** — Трехмерная эйлерова локально-региональная модель с использованием вычислительной гидродинамики.

29. **MM5** — Трехмерная эйлерова прогнозная метеорологическая модель.

30. **MOGUNTIA** — Трехмерная эйлерова глобальная модель.

31. **MUSE** — Многослойная эйлерова фотохимическая модель.



32. **OFIS, TNO-Isaksen** — Двухмерные эйлеровы модели.
33. **RAMS-CEAM** — Трехмерная эйлерова негидростатическая мезомасштабная локально-региональная модель.
34. **METRAS** — Трехмерная негидростатическая эйлерова мезомасштабная модель.
35. **WinMISKAM** — Трехмерная эйлерова прогнозная модель.
36. **BUO-FMI** — Эйлерова модель, дополненная гауссовой моделью шлейфа и переносом градиента (К-теория).
37. **ADREA-HF** — Трехмерная прогнозная локальная модель с использованием вычислительной гидродинамики.
38. **AIPOC** — Статистическая прогнозная модель.
39. **AirQUIS-EPISODE, SILAM, SIMAIR-road** — Трехмерные комбинированные эйлерова-лагранжевы модели.
40. **CAR-International** — Полуэмпирическая локальная модель.
41. **ENVI-met** — Трехмерная модель с использованием вычислительной гидродинамики.
42. **EPISODE** — Трехмерная комбинированная эйлерова-лагранжева локально-региональная модель.
43. **Fluidyn-PANAIR** — Трехмерная модель для имитации выбросов от промышленных предприятий с использованием вычислительной гидродинамики.
44. **GEOS-Chem** — Трехмерная глобальная химическая транспортная модель.
45. **GRAL** — Комбинированная эйлерова-лагранжева микро- и мезомасштабная модель.
46. **MAP** — Трехмерная негидростатическая прогнозная мезомасштабная модель.
47. **METPHOMOD, MIMO, SAFE_AIR_II, CFX-TASCflow** — Трехмерные прогнозные мезомасштабные модели.
48. **MLTT** — Трехмерная глобальная модель.
49. **OND-86** — Аналитические формулы.
50. **OPANA** — Трехмерная негидростатическая прогнозная модель.
51. **OSPM** — Блочная локальная модель.
52. **PEARL** — Простая эмпирическая модель.
53. **PolluMap** — Эмпирическая двухмерная модель.
54. **ScaleXNeuro** — Модель на основе нейронной сети.
55. **SKIRON/Dust** — Трехмерная негидростатическая метеорологическая модель.
56. **SMOGSTOP** — Статистическая непараметрическая модель, дополненная искусственной нейронной сетью.
57. **TAPM** — Трехмерная прогнозная метеорологическая, химическая, транспортная модель [7, 8].
- Современная математическая экология представляет собой междисциплинарную область, включающую всевозможные методы математического и компьютерного описания экологических систем. Построение глобальных моделей позволяет оценить глобальные и локальные изменения кли-

мата, температуры, типа растительного покрова при разных сценариях развития человечества.

На основе представленного обзора проведем анализ перечисленных моделей.

В табл. 1 приведен перечень существующих моделей в соответствии с их классификацией по загрязнению атмосферного воздуха.

Как видно из таблицы, большинство современных моделей относятся к эйлеровым.

В табл. 2 приведен перечень существующих моделей в соответствии с их классификацией по масштабам атмосферных процессов [3].

В табл. 3 приведен перечень существующих моделей в соответствии с их классификацией по масштабам времени.

Основное назначение **локальных** моделей атмосферной дисперсии — получение количественных характеристик концентраций загрязняющих веществ. Иногда локальные модели используются для изучения вопросов осаждения загрязняющих веществ и их влияния на флору и фауну. Большинство локальных моделей, базирующихся на гауссовских распределениях концентраций, было разработано в целях нормативно-правового регулирования. Принцип построения таких моделей основан на классификации устойчивости Пасквилла—Гиффорда. Подобные модели позволяют учитывать структуру атмосферного пограничного слоя и влияние зданий и препятствий, явления стекания потока и подъема дымового шлейфа. Последнее поколение локальных моделей дополнено метеорологическими препроцессорами. Задачи, которые могут быть решены с их помощью: обработка данных химического превращения и осаждения; моделирование подъема дымового шлейфа, явлений стекания потока и дисперсии твердых частиц; описание дисперсии приме-

Таблица 1

Эйлеровы модели	Гауссовы модели	Лагранжевы модели
ADREA, AURORA, AUTOMOD, BelEUROS, BUO-FMI, CALGRID, CAMx, CHIMERE, EMAP, EMER Unified Model, EURAD, EUROS, FARM, GLEMOS, Hilatar, IMSM, LOTOS-EUROS, MARS, MATCH, MCCM, MEMO, MERCURE, METRAS, MM5, MOGUNTIA, MUSE, OFIS, RAMS-CEAM, REM Calgrid, REMOTA, STEM, TCAM, TNO-Isaksen, TROPOS, UDM-FMI, WinMISKAM	ADMS 4, ADMS-Airport, ADMS-Roads, ADMS-Screen, ADMS-Urban, AERMOD-HNS, AEROPOL, CALINE4, CAR-FMI, DISPERSION21, EK100W, HNS-COUNTRYWIDE, HNS-ROAD, HNS-TRANSMISSION, IFDM, MODIM, MODLAC, NORMAL, ODOR-TRANSMISSION, OML, ONM9440, PLUME, PLUME-Plus, POLGRAPH, PROKAS V, STACKS, SYMOS97	AUSTAL2000, DIPCOT, FLEXPART, FLEXTRA, HARM, INPUFF-U, IVL, KFZ.LAG, KKW.LAG, LASAT, LASPORT, LED, MILORD, NAME, RADM, SLP-2D, SMOG, SPRAY, STOCHEM, STOER.LAG, TAMOS, VADIS

Таблица 2

Макромасштабные модели	Мезомасштабные модели	Микромасштабные модели
GRAL	ADMS 4, ADMS-Airport, ADMS-Roads, ADMS-Screen, ADMS-Urban, ADREA, GRAL, IVL, MAP, MEMO, METPHOMOD, METRAS, RAMS-CEAM, SAFE_AIR_II	CALINE4, CFX-TASCflow, MIMO

Таблица 3

Локальные модели	Локально-региональные модели	Регионально-континентальные модели	Глобальные модели
ADMS 4, ADMS-Airport, ADMS-Roads, ADMS-Screen, ADMS-Urban, ADREA-HF, AUTOMOD, CAR-FMI, CAR-International, DISPERSION21, IFDM, INPUFF-U, PLUME-Plus	CALGRID, EPISODE, MARS, MATCH, MEMO, MERCURE, RAMS-CEAM, UDM-FMI	EURAD, HARM, IVL, LOTOS-EUROS, REM_Calgrid	EMER Unified Model, GEOS-Chem, MLTT, MOGUNTIA, STOCHEM

сей, выбрасываемых автомобильным транспортом. Для моделирования воздушных потоков в условиях городской окружающей среды используются сложные гидродинамические трехмерные модели [3].

Локально-региональные модели атмосферной дисперсии предназначены для решения следующего круга задач: определение количественных характеристик концентрации загрязняющих веществ и параметров осаждения различных химических соединений. Подобные модели позволяют также анализировать дисперсию тяжелых металлов, стойких органических соединений, взвешенных частиц, радиоактивных и химически опасных материалов.

Обычно требования к локально-региональным моделям заключаются в следующем:

- наличие параметризации атмосферного пограничного слоя;
- учет соответствующих погодных условий (в частности, влияние орографических особенностей и неоднородностей энергетического баланса поверхности);
- учет процессов сухого и мокрого осаждения и физико-химического превращения.

Составной частью локально-региональных моделей загрязнения атмосферного воздуха могут являться субмодели ветра и диффузии. Субмодель ветра может быть диагностической или прогностической. В неко-

торых локально-региональных моделях используются результаты прогона траекторных метеорологических моделей. В системы моделирования данного типа входят крупные блоки параметризации процессов сухого и мокрого осаждения и химических превращений (фотохимические диффузионные модели) [3].

Регионально-континентальные модели атмосферной дисперсии по назначению частично совпадают с моделями локально-регионального масштаба. Большинство регионально-континентальных моделей (моделей дальнего переноса) ориентированы на получение количественной оценки концентраций примесей и осаждения различных химических соединений, фотооксидантов и радиоактивных материалов.

Для получения адекватных оценок дальнего переноса необходимо учитывать:

- адвекцию (поле ветра);
- условия атмосферной диффузии;
- облачность и количество осадков;
- характеристики поверхности;
- физико-химические превращения.

Например, процессы сухого и мокрого осаждения зависят от погодных условий, химических превращений и структуры поверхности. Как правило, период, для которого проводится оценка подкисляющих нагрузок или фотохимической экспозиции, составляет месяцы или годы. Такие требования накладывают определенные ограничения на степень сложности моделей [3].

В настоящей статье была предпринята попытка разобраться в многообразии существующих моделей атмосферной дисперсии. Проведенный анализ в дальнейшем послужит теоретической базой для определения целей и задач построения оптимальной модели для Тульской области. В следующей статье автор планирует сформулировать требования к этой модели с учетом специфики региона.

Список литературы

1. **Ризниченко Г. Ю.** Экология математическая. <http://www.library.biophys.msu.ru/MathMod/EM.HTML>
2. **Zannetti P.** Numerical simulation modelling of air pollution: an overview // In: Zannetti P. et al., ed. Air pollution. Southampton, Computational Mechanics Publications. — 1993. — P. 3–14.
3. **Мониторинг** качества атмосферного воздуха для оценки воздействия на здоровье человека // Региональные публикации ВОЗ. Европейская серия. — № 85. <http://www.med.by/who/E67902R.pdf>
4. **Степаненко С. Н., Волошин В. Г.** Анализ функции плотности распределения концентрации в гауссовых моделях рассеяния примесей в атмосфере // Украинський гідрометеорологічний журнал. — 2008. — № 3. [http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/Uggi/2008—3/Stepanenko %20Voloshin.pdf](http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/Uggi/2008—3/Stepanenko%20Voloshin.pdf)
5. <http://www.ecoguild.ru/members/garant.htm>
6. **Воздействие** на окружающую среду кратковременных выбросов большой мощности: Учеб. пособие / В. М. Суслинов, Н. Г. Максимович, В. Н. Иванов, В. А. Шкляев; Перм. ун-т. — Пермь, 2005. — 126 с. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0287.pdf
7. **Moussiopoulos N.** et al. Ambient air quality, pollutant dispersion and transport models. Copenhagen, European Environment Agency, 1996 // Topic Report N 19 (Air Quality).
8. <http://pandora.meng.auth.gr/mds/strquery.php?wholedb>

УДК 621.039.73

А. П. Варлаков, канд. техн. наук, **А. В. Германов**, ГУП МосНПО "Радон"
E-mail: varlakov_a@mail.ru

Исследование методов цементирования жидких органических радиоактивных отходов

Представлены результаты исследований цементирования жидких радиоактивных органических отходов. Рассмотрены различные методы для их цементирования совместно с водными солевыми отходами (традиционный и метод с предварительным приготовлением суспензии), а также пропитки готовых пористых цементных матриц. Приведены параметры технологических процессов, цементных композиций и свойства продукта цементирования.

Ключевые слова: радиоактивные отходы, радиоактивные органические отходы, цементирование.

Varlakov A. P., Germanov A. V. Research of cementation methods of liquid organic radioactive waste

Results of researches of cementation of liquid radioactive organic waste are submitted. Various methods for it cementation together with water salt waste (traditional and a method with preliminary preparation of suspension), and also impregnation of prepared porous cement matrixes are considered. Parameters of technological processes, cement compositions and properties of a product of cementation are presented.

Keywords: radioactive waste, radioactive organic waste, cementation.

Введение

Вместе с развитием атомной промышленности происходит увеличение количества радиоактивных отходов (РАО). В настоящее время большой класс РАО представлен жидкими органическими отходами. Это масла, смазочные материалы, гидравлические жидкости, сцинтилляционные растворы, растворители, экстрагенты и их смеси. Жидкие отходы подлежат переработке, которая заключается в концентрировании радионуклидов с последующим отверждением продуктов переработки и кондиционированием. Кондиционирование представляет собой сумму операций, конечной целью которых является перевод радиоактивных отходов в форму, обеспечивающую безопасное транспортирование и (или) захоронение. Так как органические вещества, содержащиеся в отходах, несовместимы с окружающей средой, то задачей переработки и кондиционирования, помимо локализации

радионуклидов, должно быть их разрушение, либо перевод в стабильную форму.

Для каждого вида органических отходов могут быть применены соответствующие методы переработки, позволяющие разрушить органические компоненты и значительно уменьшить объем отходов. Широко распространены термические методы. Сжигание является процессом организованного подконтрольного горения и одним из основных методов переработки, в процессе которого органические вещества окисляются до простых оксидов [1]. В процессе сжигания образуются вторичные радиоактивные отходы: конденсат, фильтры после очистки отходящих газов, сажа, зольный остаток, содержащий основное количество радионуклидов. Пиролиз представляет собой термическое неполное окисление при недостатке кислорода. Процесс протекает при более низких температурах, чем сжигание, при этом уменьшается коррозия оборудования и унос радионуклидов в газовую фазу [2].

Для отходов, содержащих преимущественно растворимые в воде органические вещества, предлагаются методы химического [3] и электрохимического окисления [4] в жидкой фазе. Процессы реализуются при более низких температурах, чем сжигание, и не требуют сложной системы очистки отходящих газов. Однако в процессах используются дорогие химические реактивы и оборудование.

Для некоторых отходов применим метод кислотного растворения [5] в смеси азотной и серной кислот при температуре 250 °С. Для процесса требуются оборудование из дорогих коррозионно-стойких материалов и сложные системы очистки агрессивных газов, так как во время процесса образуются диоксиды серы и азота.

Для очистки отходов может быть использован гидролизный процесс, при котором радионуклиды переходят из органической фазы в водную [6]. Для некоторых отходов может быть использована дистилляция, в результате которой образуется очищенный дистиллят и кубовый остаток, концентрирующий в себе радионуклиды [7]. Очищенные смеси органических веществ представляют собой промышленные отходы и требуют дальнейшей переработки.

Все перечисленные методы требуют сложного и дорогостоящего оборудования и высокой квалификации персонала. Переработка отходов сопровождается образованием вторичных радиоактивных и часто

Характеристики органических радиоактивных отходов

Наименование по паспорту	Внешний вид	Плотность, г/см ³	Удельная активность, Бк/м ³
Смесь жидких отходов: масло, вода, органические вещества, бензин, ацетон, керосин	Жидкость с ярко выраженной границей раздела фаз: верх — масляная фракция темно-коричневого цвета (2/3 объема), низ — прозрачная бесцветная жидкость (1/3 объема). Запах ацетона	0,79	$\Sigma\beta = 3,0 \cdot 10^7$
Масло нефтяное	Масляная жидкость темно-коричневого цвета	0,84	$\Sigma\beta = 1,75 \cdot 10^6$ $\Sigma\alpha = 3,8 \cdot 10^7$
Смесь жидких отходов: масло, вода, примесь песка		0,89	
Раствор трибутилфосфата в синтине	Масляная жидкость темно-коричневого цвета, примеси воды, осадки, резкий запах керосина	0,84	$\Sigma\beta = 1,6 \cdot 10^8$; $\Sigma\alpha = 8,9 \cdot 10^7$

химически вредных отходов. С учетом того, что методы направлены, как правило, на переработку отходов определенного состава, их применение может быть экономически целесообразным только при больших объемах отходов. Кроме того, необходимо учесть, что в течение многих лет органические отходы накапливались без переработки на атомных предприятиях и представляют собой смеси различных веществ, переработка и кондиционирование которых является сложной технической задачей. Характеристики нескольких видов отходов, рассматриваемых в статье и являющихся объектом кондиционирования, приведены в табл. 1.

При сравнительно небольших объемах отходов целесообразно применение более простых методов, которые хотя и приводят к увеличению объема конечного продукта кондиционирования, однако обеспечивают качество упаковок, предназначенных для хранения или захоронения.

Таким методом является цементирование, которое может осуществляться различными способами. Простое цементирование, при котором органические отходы вводят напрямую без предварительной подготовки в цементный раствор, малоэффективно, так как не позволяет включать отходы в конечный продукт в количестве более 4...5 % масс. из-за их отрицательного влияния на приготовление и твердение цементного компаунда. Большее наполнение может быть получено при предварительном эмульгировании отходов в воде, а также при предварительной их адсорбции различными твердыми материалами, которые затем смешиваются с цементным раствором (глина, вермикулит, песок, земля, натуральное и синтетическое волокно) [8]. В зависимости от сорбирующих материалов и состава органические отходы могут быть переведены в форму от желеобразной до твердой.

Метод цементирования широко применяется для отверждения жидких водных солевых отходов, образующихся на атомных предприятиях в десятки и сотни раз большем количестве. Поэтому одним из вариантов решения проблемы переработки органических отходов может быть их цементирование при введении в небольших количествах совместно с водными солевыми отходами с применением традиционных методов. Наполнение цементного компаунда по органическим

отходам в таком случае должно быть оптимальным, т. е. достаточным для переработки имеющегося объема таких отходов, но максимально возможным для повышения эффективности последующей переработки именно солевых отходов.

Требования к кондиционированному конечному продукту и цементной матрице регламентируются рядом документов [9, 10, 11]. Одними из основных требований для цементной матрицы являются: прочность на сжатие — не менее 4,9 МПа в возрасте твердения 28 суток, а также скорость выщелачивания радионуклида ^{137}Cs — менее 10^{-3} г/см² · сутки.

Методы цементирования различаются составом цементных композиций и способом приготовления цементных компаундов. Состав цементных композиций для кондиционирования жидких отходов зависит от их вида. Цементный компаунд готовят непосредственно в контейнере или смесителях. Приготовление в контейнере может быть проведено с использованием мешалок, в смесителе — в порционном и непрерывном режиме, что определяет их конструктивные особенности.

Надежное проведение технологического процесса цементирования при максимальном наполнении цементного компаунда отходами и сохранении его регламентированных свойств в значительной степени определяется соблюдением комплекса параметров приготовления, который включает: приемлемое качество перемешивания, время схватывания, расслаивание и растекаемость цементного компаунда. Растекаемость — один из основных параметров для определения возможности использования соответствующего метода и оборудования для приготовления цементного компаунда, который должен обладать достаточной подвижностью, чтобы его можно было перемешать или слить из смесителя.

Обсуждение

Были испытаны технологические установки для цементирования отходов: 1) установки периодического действия с приготовлением цементного компаунда непосредственно в контейнере объемом 200 л с помощью рамной мешалки [12] (рис. 1); 2) установки периодического действия с емкостным смесителем объемом 500 л [13] (рис. 2) и комбинированной мешалкой; 3) установки с комбинированным смесителем

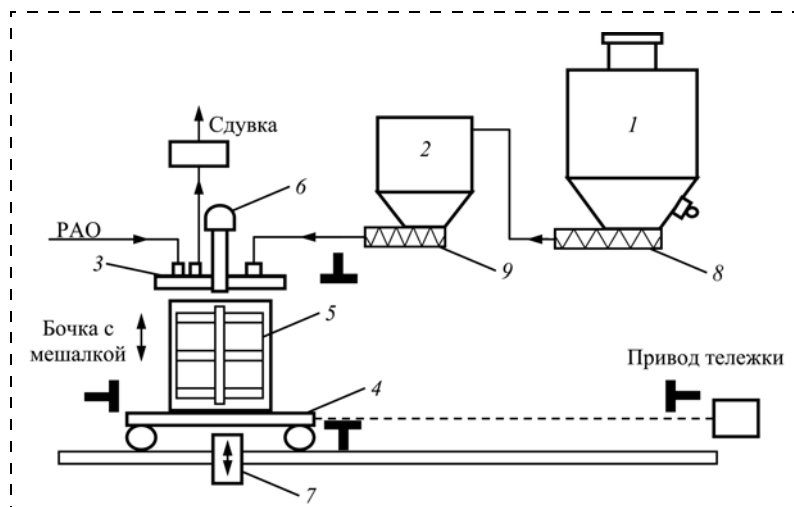


Рис. 1. Схема установки с приготовлением цементного раствора в контейнере:
 1 — бункер цемента; 2 — дозатор цемента; 3 — крышка технологическая; 4 — тележка транспортная; 5 — мешалка; 6 — привод мешалки; 7 — домкрат; 8 — шнек для подачи цемента в дозатор; 9 — шнек для подачи цемента в бочку

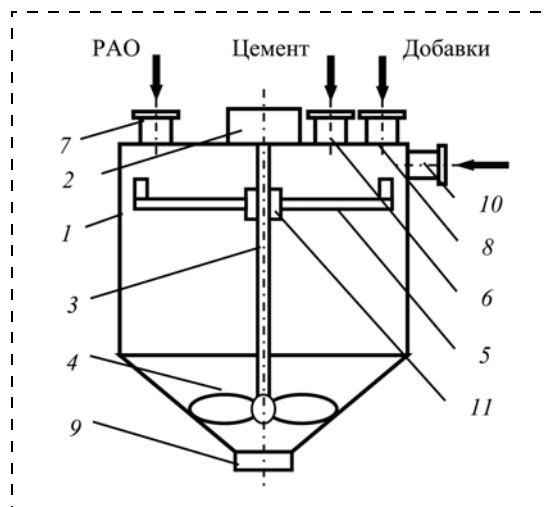


Рис. 2. Схема емкостного порционного смесителя объемом 500 л с комбинированной мешалкой:
 1 — емкость; 2 — привод мешалки; 3 — вал; 4 — пропеллерная мешалка; 5 — дополнительная мешалка; 6 — патрубок подачи цемента; 7 — патрубок подачи жидких радиоактивных отходов; 8 — патрубок подачи сыпучих добавок; 9 — сливное устройство; 10 — патрубок подачи дезактивирующего раствора; 11 — крепежное устройство

лем [14], имеющем в своем составе емкостной смеситель объемом 60 л с рамной мешалкой и размещенный под ним электромагнитный вихревой смеситель с объемом смесительной камеры 3 л (рис. 3). При испытании их было определено, что при удовлетворительных других параметрах приготовления граничные минимальные значения растекаемости цементных компаундов для проведения цементирования на данных установках составляют, соответственно: 1) 90...100 мм, 2) 110...130 и 3) 190...210 мм.

Традиционный метод цементирования заключается в том, что жидкие органические отходы подают в смеситель вместе с водными соевыми отходами, портландцементом, добавками и перемешивают. В табл. 2 представлены результаты, полученные при традиционном цементировании маслосодержащих отходов (далее "масла"). Содержание неорганических солей в водных отходах составляло до 300 г/л.

Из представленных в таблице данных видно, что при традиционном приготовлении цементного компаунда с "маслами" с использованием портландцемента не удается получить продукт регламентированного качества при включении "масла" свыше 4 % масс. Применение специальных добавок, таких как бентонитовая глина или композиционная добавка, содержащая тонкомолотый цемент и бентонитовую глину, позволяет несколько улучшить качество цементного компаунда, повысив включение "масла" до 5 % масс. при раствороцементном отношении 0,7. При увеличении содержания "масла" наблюдается его значительное отслаивание при перемешивании и выдержке цементного компаунда, а также снижение

растекаемости и прочности ниже регламентированной величины.

Таким образом, цементные компаунды с содержанием "масла" до 5 % масс. обладают достаточной растекаемостью, принимая во внимание определенные граничные минимальные значения, и другими параметрами, при которых обеспечивается надежное проведение технологического процесса цементирования как на установках с приготовлением непосредственно в контейнере, так и с емкостными смесителями.

При традиционном приготовлении цементного компаунда с раствором трибутилфосфата в синтине в количестве свыше 2 % масс. не удалось получить

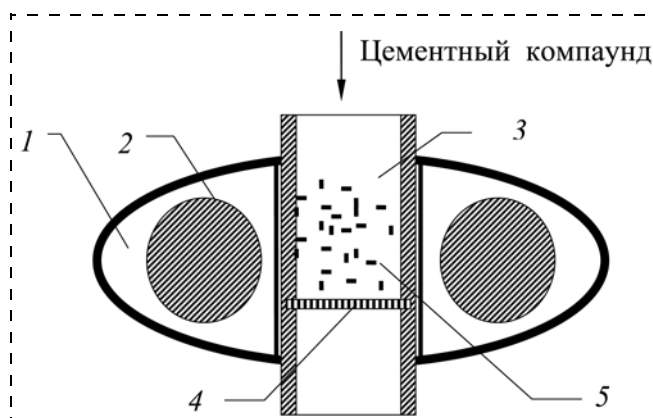


Рис. 3. Схема вихревого смесителя:
 1 — индуктор вихревого аппарата; 2 — обмотка индуктора; 3 — смесительная камера; 4 — разделительная решетка; 5 — ферромагнитные частицы



Таблица 2

Характеристики цементных компаундов при традиционном цементировании органических отходов

Состав компаунда			Свойства раствора			Прочность на сжатие цементного компаунда, МПа				
Растворо-цементное отношение*	Содержание отходов, % масс.	Цементный материал, % масс.	Схватывание, ч	Растекаемость, мм	Расслаивание, % об.	Сутки твердения		30 циклов замораживания—оттаивания	90 суток в воде	
						7	28			
"Масла"										
0,5	0	Портландцемент, 100	2	182	0	10,4	19,6	22,2	20,6	
	4		3	171	0,4	4,1	8,8	10,5	12,8	
	5		3	164	1	4,0	7,8	10,2	12,0	
	10		4	145	5	1,8	2,7	0,8	3,1	
0,7	0	Портландцемент, 90	>4	>240	3	7,6	11,3	15,5	11,8	
	4		>4	>240	3	3,9	5,9	5,1	5,4	
	5		>4	>240	3	3,8	4,5	5,0	5,1	
		Бентонит, 10	3	193	0,2	5,3	6,4	8,0	8,3	
	10		Портландцемент, 80 Бентонит, 10	>4	>240	5	1,2	2,5	0,9	2,8
				3	183	0,5	3,9	4,5	4,4	4,4
		Бентонит, 5. Тонко-молотый цемент, 5	3	190	0,7	4,1	4,3	4,5	4,2	
Раствор трибутилфосфата в синтине										
0,5	2	Портландцемент, 90 Бентонит, 10	>24	180	0,5	1,9	6,5	—**	—	
	3		>48	180	0,5	0	2,5	—	—	

* Весовое отношение солевых водных отходов к цементу и добавкам.

** Испытания не проводились.

продукт регламентированного качества с использованием портландцемента и бентонита.

На установке с комбинированным смесителем емкость с мешалкой используется для предварительного перемешивания компонентов, а электромагнитный

смеситель — для окончательного перемешивания, механической и магнитной активации цементного раствора ферромагнитными частицами, хаотично двигающимися под действием вращающегося электромагнитного поля. При испытаниях было определено, что обработка

Таблица 3

Влияние электромагнитной обработки на свойства цементных компаундов

Растворо-цементное отношение	Содержание "масла", % масс.	Время обработки в электромагнитном смесителе, с	Свойства раствора			Прочность на сжатие цементного компаунда, МПа			
			Схватывание, ч	Растекаемость, мм	Расслаивание, % об.	Сутки твердения		30 циклов замораживания—оттаивания	90 суток в воде
						7	28		
0,7	0	—*	>4	>240	3	7,6	11,3	15,5	11,8
		30	2	>240	0	16,0	25,8	21,3	30,8
	5	—	>4	>240	3	3,8	4,5	7,0	7,0
		30	3	193	0	5,3	11,4	10,0	9,0
	10	—	>4	>240	5	1,2	2,5	0,9	2,8
		30	3	183	0	3,9	11,0	8,4	13,4
15	—	>4	>240	7	1,1	1,4	0,8	1,7	
	30	3	152	2	2,1	5,6	4,9	5,4	
20	—	>4	230	16	0	0	0,5	4,3	
	30	>4	110	1	1,9	4,2	4,4	4,7	
25	—	>4	211	20	0	0	0,4	0,6	
	30	>4	103	0	1,3	3,2	1,7	2,0	

* Перемешивание раствора проводилось вручную.



раствора с маслосодержащими отходами в количестве до 15 % масс. в электромагнитном смесителе позволила получать компаунды с удовлетворительными характеристиками (табл. 3), предотвратила расслаивание цементного раствора, сократила сроки схватывания, но значительно снизила растекаемость. Электромагнитная обработка практически не оказывает влияния на свойства цементного компаунда с раствором трибутилфосфата в синтине.

В процессе испытаний на установке с комбинированным смесителем потребовалась растекаемость не менее 190 мм для надежного проведения процесса, для этого растворцементное отношение должно было составлять более 0,7, а содержание "масла" — не более 10 % масс.

Было определено, что при интенсивном перемешивании происходит более равномерное распределение "масла" в цементном компаунде, предотвращается образование масляной гидрофобной пленки вокруг частиц цемента, что способствует ускорению процессов гидратации минералов цемента, более быстрому твердению и повышению прочности.

Для повышения степени включения маслосодержащих отходов за счет интенсивного перемешивания при проведении цементирования на установке с емкостным смесителем, позволяющей надежно проводить цементирование при низкой растекаемости, был разработан технологический процесс и устройство, в состав которого входит диспергатор [15] (рис. 4) для предварительного приготовления суспензии из "масла", цемента, добавок и солевых отходов, которая затем вводится в остальную часть цементного раствора, приготовленного в смесителе установки. В качестве добавки используются бентонитовая глина, способная сорбировать органические вещества и радионуклиды.

В табл. 4 представлены результаты, полученные при цементировании маслосодержащих отходов с использованием стадии приготовления суспензии. Содержание неорганических солей в водных отходах составляло до 100 г/л. Из представленных данных видно, что цементные компаунды, полученные с предварительным приготовлением суспензии, удовлетворяли регламентированным требованиям при доле наполнения

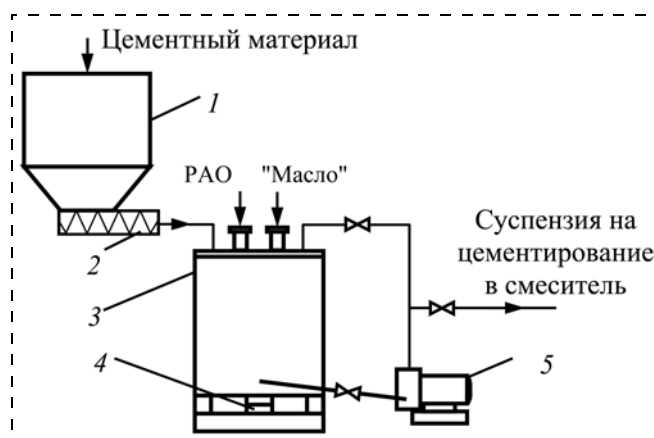


Рис. 4. Схема установки для приготовления предварительной суспензии:

1 — бункер добавки; 2 — шнек добавки; 3 — приготовительный бак; 4 — тензодатчик; 5 — диспергатор

"маслом" 10...15 % масс. В процессе приготовления и твердения цементного раствора отслаивания масляной и водной фазы не наблюдалось.

Применение тонкомолотого цемента с удельной поверхностью около 10 000 см²/г вместо традиционного портландцемента повышает прочность и стойкость цементного компаунда на 10...20 %, ускоряет схватывание и скорость твердения, но вместе с тем снижает растекаемость на 30...40 %.

Динамика процесса выщелачивания радионуклида ¹³⁷Cs из компаундов с маслом имеет отличия от традиционной. Из зависимостей, представленных на рис. 5, видно, скорость выщелачивания ¹³⁷Cs составляет менее 10⁻³ г/(см²·сутки), отсутствует смыв радионуклидов с поверхности цементного камня в первые дни, при котором скорость составляет около 10⁻² г/(см²·сутки), "масло" гидрофобизирует цементный компаунд. В период до 28 суток выщелачивание ¹³⁷Cs происходит скачкообразно, так как выщелачивание радионуклидов происходит из внешних слоев с выходом масляных конгломератов, а внутри цементного компаунда радиоактив-

Таблица 4

Характеристики цементных компаундов, приготовленных методом с предварительным суспензированием*

Состав компаунда		Свойства раствора		Прочность на сжатие цементного компаунда, МПа			
Содержание "масла", % масс.	Цементный материал, % масс.	Растекаемость, мм	Расслаивание, % об.	Сутки твердения		30 циклов замораживания—оттаивания	90 суток в воде
				7	28		
10	Портландцемент, 90	210	0	4,4	6,8	6,3	6,9
15	Бентонит, 10	200	0	2,9	5,4	5,0	5,1
15	Портландцемент, 89. Бентонит, 10. Эмульгатор, 1	>220	0	2,7	5,2	5,1	5,4
15	Тонкомолотый цемент, 90 Бентонит, 10	160	0	3,7	8,1	7,2	6,5

* Растворцементное отношение цементных компаундов 0,7.

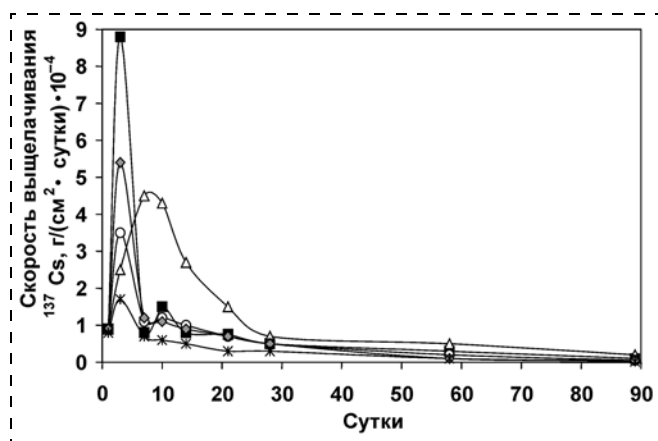


Рис. 5. Зависимость скорости выщелачивания ^{137}Cs от состава цементного компаунда и метода его приготовления:

(■) — "масло" 10 % масс., без суспензирования; (▲) — "масло" 10 % масс., бентонит" 10 % масс., без суспензирования; (●) — "масло" 10 % масс., бентонит" 10 % масс.; суспензирование; (◆) — "масло" 15 % масс., бентонит" 10 % масс.; суспензирование; (*) — "масло" 15 % масс., бентонит" 10 % масс., поочередное суспензирование

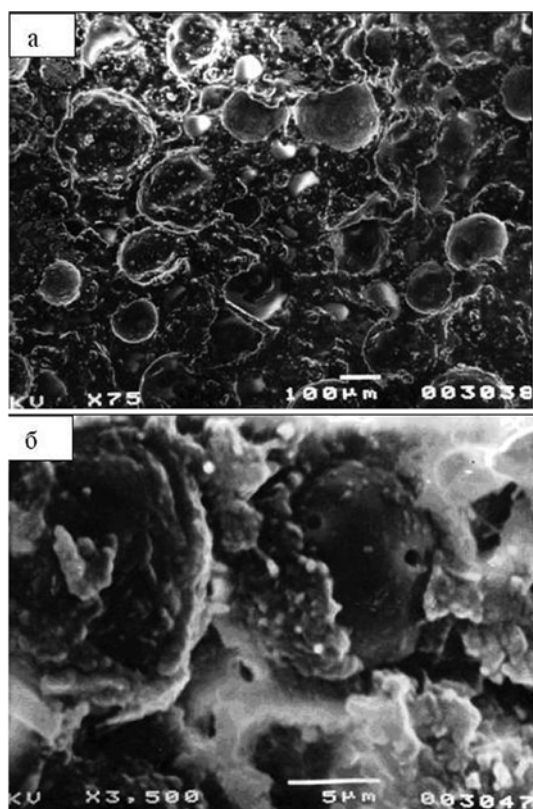


Рис 6. Микрофотографии структуры цементных образцов, содержащих 15 % масс. "масла", в возрасте твердения 10 месяцев:

a — гидрофобная масляная пленка, обволакивающая цементные частицы и продукты их гидратации, в образце, приготовленном без предварительного суспензирования; *b* — отсутствие масляной пленки, адсорбция "масла" частицами бентонитовой глины в образце, приготовленном с предварительным суспензированием с 10 % масс бентонита

ное "масло", стабилизированное бентонитом, надежно окружено цементной матрицей.

Такой характер микроструктуры подтверждается микрофотографиями (рис. 6) цементных компаундов, содержащих 15 % масс. "масла", на которых видно, что бентонит сорбирует "масла", чем предотвращает образование гидрофобной пленки вокруг частиц цемента. Это способствует процессам гидратации основной части цементных минералов и лучшему набору прочности конечного компаунда. Для снижения выщелачивания необходимо использовать методику поочередного приготовления суспензии, в которой вместо одновременного смешения солевых отходов, бентонита и "масла" необходимо первоначально приготовить суспензию состава солевые отходы-бентонит и только после этого вводить в нее масло. Такой метод позволяет снизить скорость выщелачивания из цементных компаундов в 1,5–3 раза.

Смешанные органические отходы, содержащие большое количество поверхностно-активных веществ, отличаются высоким пенообразованием при перемешивании и транспортировании. Пена значительно затрудняет технологические процессы дозирования отходов и приготовления цементного раствора. Цементный компаунд характеризуется высокой пористостью и замедленными сроками схватывания и твердения. Для предотвращения пенообразования необходимо использовать антивспениватели, предназначенные для строительных цементных растворов.

Итак, при цементировании вредное влияние органических отходов на образование цементного компаунда проявляется в обволакивании частиц цемента гидрофобными пленками, предотвращающими их гидратацию, расслаивании и вспенивании цементного раствора.

Увеличить степень наполнения цементного компаунда органическими отходами можно, включая отходы в уже сформировавшуюся структуру затвердевшего бетона, достаточно пористого, чтобы применить метод пропитки. Пустотное пространство пористого бетона, которое можно заполнить органическими отходами, составляет до 70 % об.

В МосНПО "Радон" разработана технология пропитки пористых цементных матриц жидкими радиоактивными отходами, которые цементируются трудно и степень их включения в конечный продукт мала [16]. Сущность технологии заключается в следующем. Прежде всего, готовится бетон с пористостью около 70 % и средним размером пор 0,01...0,05 мм и помещается в первичную упаковку — контейнер объемом 100 или 200 л. Бетон затвердевает в контейнере, прочность его составляет более 5 МПа. В возрасте твердения не менее 28 суток, когда основные процессы гидратации цемента заканчиваются, отходы закачиваются в поровое пространство бетона через заранее установленное в контейнере питающее устройство. Затвердевшая пористая цементная матрица пропитывается отходами. Для органических отходов степень включения составляет около 60 % об. После пропитки прочностные показатели уже затвердевшей матрицы не снижаются, поэтому ее каче-



ство соответствует всем регламентированным требованиям. Закрепление отходов в матрице надежно. Так, было проведено центрифугирование цементных образцов цилиндрической формы с объемом до 120 см³, пропитанных органическими отходами, которое показало, что выход отходов из матрицы не происходит, как минимум, при относительной центробежной силе до 90 м/с² и времени испытания 1,5 ч.

Выводы

Анализ результатов исследований позволяет заключить, что для органических отходов может быть использовано цементирование с соевыми водными отходами с применением традиционных способов и оборудования. Необходимая степень включения органических отходов определяется их видом и объемом, а также эффективностью переработки, собственно, солевых отходов.

Традиционное цементирование позволяет включать до 4...5 % масс. органических отходов. Надежное проведение технологического процесса может быть как на установках с приготовлением цементного компаунда непосредственно в контейнере, так и с емкостными смесителями. Для повышения степени включения до 10...15 % масс. необходимо предварительно суспензировать отходы с материалами, способными сорбировать органические вещества. Для цементирования используются традиционные материалы, такие как портландцемент и бентонитовая глина. С целью повышения качества цементного компаунда вместо портландцемента или в качестве добавки может быть использован тонкомолотый цемент, а также эмульгаторы и антивспениватели, предназначенные для строительных растворов.

Способ пропитки не предусматривает пропитку с соевыми отходами, требует изготовления первичных упаковок с пористым бетоном, но имеет ряд преимуществ: значительно большую степень включения, отходы не вводятся в цементный компаунд при приготовлении и соответственно отрицательно не влияют на гидратацию цемента, приготовление и твердение цементного компаунда, а также возможность отверждения наиболее трудных для цементирования отходов, таких как раствор трибутилфосфата в синтине. Технологический процесс прост, позволяет проводить цементирование непосредственно в местах образования отходов без использования установок цементирования.

В МосНПО "Радон" используются все перечисленные способы цементирования органических отходов, применение которых определяется технологическими условиями: видом и количеством органических и солевых отходов. В качестве вяжущего материала, обеспечивающего необходимые регламентированные свойства конечному продукту, помимо портландцемента с добавками бентонитовой глины и антивспенивателя, используется специальный композиционный материал на основе тонкомолотого цемента.

Список литературы

1. **Dirks F., Hempelmann W.** Incineration of Radioactive Waste (Proc. CEC Sem. Arnhem, 1984). Rep. CEC-EUR-9621. The Incineration Plant of the Karlsruhe Nuc. Resea. Cent. Graham and Trotman. London, 34—47 (1985).
2. **Luyckx P., Deckers J.** Pebble bed pyrolysis for the processing of alpha contaminated organic effluents, — WM'99, Conference "HLW, LLW, Mixed Wastes and Environmental Restoration — Working Towards a Cleaner Environment", Feb. 28—Mar. 4 1999, Tucson, Arizona, CD-ROM Proceedings, 37-3.
3. **Aly H. F.** Wet-oxidation of spent organic waste tributylphosphate/diluents // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. — Volume 249. — Number 3. — Sep. 2001. — P. 643—647.
4. **Steele D. F.** A novel approach to organic waste disposal. — Atom 393. — July. — 1989. — P. 393—396.
5. **Wieczorek H., Oser B.** Development and active demonstration of acid digestion of plutonium-bearing waste // Spectrum '86 (Proc. ANS Conf. Niagara Falls, 1986). American Nuclear Society. Hinsdale. — IL. — 1986. — P. 49—55.
6. **Drobnik S.** Rep. AED-Conf-78-274-000. Fachinformationszentrum Energie. Physik, Mathematic GmbH. Eggenstein-Leopoldshafen, 1978. — P. 6—9.
7. **Dellamano J. C.** Distillation as a pre-treatment process of waste scintillation solutions // Radioactive Waste Management 2. BNES. London, 1989. — P. 1—7.
8. **Greenhalgh W. O.** Immobilisation of Organic Liquid Wastes. — Rep. HEDL-SA-3377-FA. Hanford Engineering Development Lab. Richland. WA, 1985. — P. 7.
9. **Сбор**, переработка, хранение и кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требования безопасности. НП — 019 — 2000. — М.: Госатомнадзор России, 2000. — С. 11—14.
10. **Сбор**, переработка, хранение и кондиционирование твердых радиоактивных отходов. Требования безопасности. НП — 020 — 2000. — М.: Госатомнадзор России, 2000. — С. 21, 25.
11. **Отходы радиоактивные цементированные.** Общие технические требования. ГОСТ Р 51883—2002. — М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. — С. 1—3.
12. **Дмитриев С. А., Варлаков А. П., Карлин С. В.** и др. Установка для цементирования жидких радиоактивных отходов. — Патент RU № 2374706, МКИ 6 G 21 F 9/16, заявл. 14.04.2008, № 2008113970, опубл. 20.10.2009 // Бюллетень "Изобретения и полезные модели". — № 33. — Ч. 4. — С. 830.
13. **Варлаков А. П., Невров Ю. В., Карлин С. В.** и др. Смесительное устройство для приготовления цементного раствора на основе радиоактивных отходов. — Патент RU № 2218619, МКИ 6 G 21 F 9/16, заявл. 11.06.2002, № 2002115435/06, опубл. 10.12.2003 // Бюллетень "Изобретения и полезные модели". — № 34. — Ч. 2. — С. 606.
14. **Соболев И. А., Дмитриев С. А., Лифанов Ф. А., Варлаков А. П.** и др. Устройство для цементирования жидких радиоактивных отходов. — Патент RU № 2132095, МКИ 6 G 21 F 9/16, заявл. 03.12.1997, № 97120065/25, опубл. 20.06.1999 // Бюллетень "Изобретения". — № 17. — Ч. 2. — С. 417.
15. **Варлаков А. П., Горбунова О. А., Невров Ю. В., Дмитриев С. А., Баринов А. С.** Способ цементирования жидких радиоактивных отходов, содержащих минеральное масло и/или органические жидкости, и устройство для его осуществления. — Патент RU № 2317605, G 21 F 9/16, заявл. 04.07.2006, № 2006123654/06, опубл. 20.02.2008 // Бюллетень "Изобретения и полезные модели". — № 5. — Ч. 3. — С. 724.
16. **Варлаков А. П., Горбунова О. А., Гетманов А. В., Дмитриев С. А., Баринов А. С., Васедин Д. Р.** Способ кондиционирования жидких радиоактивных отходов. — Патент RU № 2361300 C1, G 21 F 9/16, заявл. 19.11.2007, № 2007142455/06, опубл. 10.07.2009 // Бюллетень "Изобретения и полезные модели". — № 19. — Ч. 2. — С. 812.

УДК 37.01:371.13

В. И. Томаков, д-р. пед. наук, проф., **М. В. Томаков**, канд. техн. наук, доц.,
Курский государственный технический университет
E-mail: tomakov_v_i@rambler.ru

Экологическая компетентность — ключевое профессиональное качество выпускника инженерного вуза

Аргументирована правомерность и необходимость введения в научный оборот определения "экологическая компетентность будущего инженера". Разработана и обоснована модель экологической компетентности будущего инженера, являющаяся структурной частью его профессиональной компетенции в системах различных отношений человека с природой и обществом, как инновационная не только для современного производства, охраны окружающей среды, но и для модернизации отечественного инженерного образования.

Ключевые слова: компетентность, инженерное образование, модель экологической компетентности.

Tomakov V. I., Tomakov M. V. Ecological competence — key professional values of final-year students of higher engineering institution.

The article proves lawfulness and necessity for introducing the definition "ecological competence of future engineer" into scientific use, which is the structural part of this professional competence when interacting with the nature and society. There has been also developed and motivated the model of ecological competence of a future engineer as the innovative one the native engineering education.

Keywords: competence, engineering education, model of ecological competence.

Требования к обеспечению безопасности жизнедеятельности

Согласно документам Европейской федерации национальных инженерных организаций (Federation Europeenne d'Associations Nationales d'Ingenieurs, FEANI), представляющей интересы инженерной профессии в Европе более 80 национальных инженерных ассоциаций из 27 европейских стран, результаты инженерного образования должны быть выражены не только профессиональными компетенция-

ми, но и готовностью выпускника осуществлять свою профессиональную деятельность в ее синтетической сложности. От инженера, в частности, требуется проектирование и решение сложных инженерных задач, разработка систем, компонентов или процессов, которые удовлетворяют заданным требованиям производства и учитывают вопросы охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности, культурные, социальные и экологические аспекты в среде обитания.

Российские федеральные государственные образовательные стандарты высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) в области техники и технологии, представляют собой совокупность требований к выпускникам основных образовательных программ бакалавриата, в которых итоговая (оцениваемая) профессиональная компетенция выпускника включает личностный, познавательный, деятельностный и общекультурный аспекты. В ракурсе проблем в сфере безопасности жизнедеятельности и охраны окружающей среды выпускник с квалификацией "бакалавр" при осуществлении конкретных видов своей профессиональной деятельности должен обладать готовностью:

— анализировать социально значимые проблемы и процессы и осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности;

— находить организационно-управленческие решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность;

— использовать на практике основные методы защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий;

— использовать традиционные и новые технологические процессы, операции, оборудование, нормативные и методические материалы по технологической подготовке производства, качеству, стандартизации и сертификации изделий и процессов с элементами экономического анализа и учетом правил техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и норм охраны труда;



— использовать принципы механизации и автоматизации процессов производства, выбора и эксплуатации оборудования и оснастки, методы и приемы организации труда, обеспечивающие эффективное, экологически и технически безопасное производство;

— участвовать в организации и техническом оснащении рабочих мест, разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, оценке рисков и определении мер по обеспечению экологической и технической безопасности разрабатываемых материалов, техники и технологий.

Экологическая компетентность как одно из ключевых профессиональных качеств выпускника инженерного вуза

Система профессионального образования исторически развивается соответственно изменениям производства, общества и самого человека, а также в результате процессов саморазвития образовательной системы. Из исторического ракурса развития инженерного образования можно проследить:

— вначале внимание уделялось специальным и познавательным качествам инженера, что дало свой положительный результат в развитии техники и технологий;

— вовлечение в производственную деятельность значительных людских ресурсов вызвало необходимость дополнить качества инженера социальными и коммуникативными качествами;

— нынешние инженерные проекты, наряду с техническими аспектами, стали включать экономические, управленческие, социальные, международные и многие другие аспекты, что существенно повлияло на их сложность и потребовало к имеющимся качествам добавить информационные качества.

Эти профессиональные качества инженера выражают соответствие его подготовки своему назначению, предъявляемым требованиям, они составляют группу ключевых компетентностей: познавательные, специальные, коммуникативные, социальные, информационные, а также включают основы современного научного знания, принципы и закономерности множества основных производств. Ключевые компетентности многофункциональны, надпредметны и междисциплинальны. Это компетентности широкого круга (спектра) приложения и обеспечивают продуктивность различных видов деятельности.

Однако стали весьма заметными и ощутимыми инженерные просчеты в сфере безопасности жизнедеятельности и охраны окружающей среды, что привело к известным негативным последствиям (сокращению продолжительности жизни, к высокой младенческой смертности, высокой смертности на производстве, росту инвалидизации и пр.).

В выступлениях В. В. Путина и Д. А. Медведева на заседании Совета безопасности, состоявшемся 30 января 2008 года, подчеркивалось, что в России настоятельно необходимо создать систему экологической безопасности, которая должна эффективно справляться с имеющимися техногенными и антропогенными факторами загрязнения. Особенно было отмечено, что современные инженерные проекты приводят к негативным для их участников (и социума в целом) последствиям в жизнедеятельности человека. В выступлениях была озвучена мысль о необходимости развивать в стране экологические новации, позволяющие разрешать экологические противоречия в хозяйственной деятельности, прогнозировать и предупреждать техногенные угрозы.

Поскольку инженер является ключевым субъектом современного производства, а его профессиональная деятельность приобрела многофункциональный характер и интегрированное научно-техническое и социальное содержание, то формирование экологической компетентности как одного из ключевых качеств позволит гарантировать необходимый уровень безопасности жизнедеятельности человека.

Как в инженерном образовании на самом деле обстоят дела с экологической компетентностью? Исследование отношения специалистов и студентов к понятию "профессиональная компетентность", выполненная Н. Н. Костиной [1], позволила выявить, что наибольшее значение в структуре профессиональной компетентности современного инженера, представленной семнадцатью компонентами, имеют технологическая, управленческая, экономическая и правовая компетентность. Наименее значимыми для профессиональной деятельности инженера считаются экологическая, культурологическая, историческая, философская и политологическая компетентность. Таким образом, есть основание утверждать, что сегодня в системе инженерного образования проблема формирования экологической компетентности является актуальной, и необходима определенная организационно-педагогическая работа по приведению системы инженерного образования в соответствие с международным и отечественными образовательными стандартами, требования которых предполагают готовность выпускников к безопасной профессиональной деятельности и охране окружающей среды.

Конкретным направлением в рассматриваемом контексте является формирование экологической компетентности будущего инженера с опорой на научное и образовательное направление, возникшее в России в конце XX века — безопасность жизнедеятельности. Создатели данного направления С. В. Белов, О. Н. Русак, В. Л. Лапин, Б. Е. Прусенко и др. предложили рассматривать безопасность жизнедеятельности в качестве составной части экологии — области на-

Группы взаимодействия (по Е.А. Климову [3])	Содержание
«Человек – человек»	Организация, управление коллективом, принятие решений, нахождение компромисса, проявление сопряженности личных интересов с потребностями производства и общества, межличностная коммуникация, толерантность и др.
«Человек – техника»	Знание техносферы, экобиозащитной техники и технологии и умение её применять
«Человек – природа»	Умение предвидеть воздействие, прогнозировать последствия и принимать решения с учетом экологических рисков
«Человек – знак»	Информационная грамотность, умение воспринимать, перерабатывать и использовать информацию

+

Готовность к профессиональной деятельности в соответствии со служебным статусом

Экологическая компетентность в профессиональной деятельности инженера

учного знания о взаимодействии живых организмов между собой и с окружающей их средой. Целью безопасности жизнедеятельности является сохранение здоровья и жизни человека, защита его от опасностей техногенного, антропогенного и природного происхождения, создание комфортных условий его жизни и деятельности в среде обитания. Цель образования в области безопасности жизнедеятельности заключается в формировании у человека культуры безопасной жизни. Одним из уровней становления такой культуры выступает компетентность в этой области. Отсюда возникает необходимость формирования экологической компетентности на ступени среднего, высшего и послевузовского профессионального образования. Конкретным направлением в рассматриваемом контексте является формирование экологической компетентности будущего инженера.

Экологическая компетентность будущего инженера: структура, понятие

Из ряда работ, посвященных теоретическому анализу подходов к пониманию сущности компетентности и исследованию профессиональных компетентностей (В. И. Байденко, В. А. Болотова, А. А. Вербицкого, Б. С. Гершунского, А. А. Деркача, Э. Ф. Зеера, И. А. Зимней, А. К. Марковой, С. Н. Митина, В. В. Серикова, Ю. Г. Татура, В. Д. Шадрикова и др.),

можно сделать обобщающий вывод: экологическая компетентность будущего инженера определяется не только базовыми (научными) знаниями и умениями, опирающимися на специфические атрибуты будущей профессиональной деятельности, но и ценностными ориентациями, мотивами его деятельности, пониманием им себя и окружающего мира ("картин мира"), стилем взаимоотношений с людьми, с которыми он работает, его общей культурой, способностью к развитию своего творческого потенциала. Природа экологической компетентности такова, что она может проявляться лишь в органическом единстве с ценностями человека, т. е. при наличии ценностно-смыслового отношения, глубокой личностной заинтересованности в данном виде деятельности. Экологическая компетентность в этом смысле выступает как способ поведения будущего инженера, в котором интегрируются его познавательные и деятельностные способности, профессионально значимые качества личности, к которым относятся: гуманитарная культура; гуманистическая ориентация личности и деятельности; способность к эффективным действиям в нестандартных, новых ситуациях; способность к интеграции положительно значимых компонентов исторического и современного опыта. К перечисленным качествам следует добавить профессиональную ответственность специалиста.



Таким образом, в качестве инвариантных признаков экологической компетентности будущего инженера выступают:

— профессиональные возможности (знания, умения, навыки), позволяющие принимать участие в разработке и решении определенного круга инженерных задач, которые удовлетворяют заданным требованиям производства; анализировать и оценивать социально-экологические риски внедрения новых технологий, производственных циклов и оценивать действия по их минимизации;

— профессионально-личностные качества (мотивированное стремление к системному видению целостности и взаимосвязанности различных процессов, последствий профессиональной деятельности для человека и окружающей среды; готовность находить решения, обеспечивающие безопасность жизнедеятельности и охрану окружающей среды; готовность к непрерывному самосовершенствованию, склонность к профессиональной рефлексии);

— владение нравственными ценностями и приоритетами (готовность к эмпатии, уважение к другому человеку, толерантность, ответственность и т. п.).

Таким образом, *экологическая компетентность будущего инженера* — характеристика личности инженера, выраженная в единстве его мотивов, теоретических знаний, практических умений осуществления всех видов своей профессиональной деятельности, которые удовлетворяют заданным требованиям производства, обеспечивают безопасность жизнедеятельности человека и охрану окружающей среды, учитывают культурные, этические и правовые аспекты.

В основу данного понятия положена осведомленность в элементах социального и профессионального опыта, определяющая сущность субъективных знаний выпускников, а само понятие рассматривается в единстве когнитивного, аксиологического и праксеологического аспектов, обеспечивающих гармонизацию профессиональных интересов личности и требований постиндустриального общества к личности инженера.

Это определение устанавливает также специфические признаки заявленной компетентности, позволяющие отличить ее от других, и это дает возможность приступить к разработке модели специалиста и модели обучения, т. е. ответить на вопросы: "чему учить" и "как учить" выпускников инженерных программ в современных условиях.

Место экологической компетентности в профессиональной деятельности инженера

Компетентности специалиста должны соответствовать определенным классам задач и обеспечивать их выполнение. Как считает А. А. Деркач [2], структура и содержание той или иной компетентности во

многом определяется спецификой профессиональной деятельности и принадлежностью профессии к определенному классу задач. Являясь результатом инженерного образования, экологическая компетентность характеризуется комплексом знаний и умений, которые активизируются и обогащаются в профессиональной деятельности инженера в пределах профессиональных компетенций: "человек—человек", "человек—природа", "человек—техника", "человек—знак" (см. рисунок).

Модель экологической компетентности будущего инженера

Разработка модели экологической компетентности, определение критериев ее сформированности реализованы с опорой на теоретический анализ подходов к пониманию сущности компетентности, который доказывает, что любая компетентность есть качество личности, проявляющаяся в способности и готовности личности к деятельности и выражающаяся через:

- 1) ценностно-смысловые представления (отношения) к содержанию и результату деятельности;
- 2) положительную мотивацию к овладению набором компетентностей и проявлению компетентностей;
- 3) знания, лежащие в основе выбора способа осуществления соответствующей деятельности;
- 4) умение, опыт (навыки) успешного осуществления необходимых действий на базе имеющихся знаний, способность объяснить полученные результаты.

Модель экологической компетентности выпускника по направлению подготовки "Строительство" показана в табл. 1.

Профессионально-мотивационный компонент представлен мотивами выполнения функций безопасности жизнедеятельности, бережного отношения к природной среде; профессионально-познавательный компонент характеризуется знаниями, связанными с задачами обеспечения безопасности жизнедеятельности, экологическими проблемами; профессионально-деятельностный компонент представлен умениями, связанными с безопасностью жизнедеятельности, экологическими отношениями.

Модель экологической компетентности будущего инженера, являясь структурным компонентом системы его профессиональной подготовки в пределах отношений "человек—человек", "человек—природа", "человек—техника", "человек—знак", обеспечивает единство учебных, воспитательных, профессиональных форм деятельности и различных видов практик. Формирование экологической компетентности в этой модели достигается через синтез профессионального и экологического образования.

Следуя этой модели, формирование экологической компетентности будущего инженера органично связы-

Модель экологической компетентности для инженера-строителя

Профессионально-мотивационный	Профессионально-познавательный	Профессионально-деятельностный
<p>Убежденность в собственной причастности к обеспечению безопасности жизнедеятельности человека, общества и природы.</p> <p>Убежденность в значимости образования для безопасной производственной деятельности.</p> <p>Убежденность в неразрывном единстве эффективной профессиональной деятельности с требованиями к безопасности и защищенности человека.</p> <p>Убежденность в необходимости следовать нормам российского законодательства.</p> <p>Стремление сохранить свое здоровье и здоровье будущих поколений.</p> <p>Стремление обладать высокой конкурентоспособностью на рынке труда</p>	<p><i>Общепрофессиональные</i> знания безопасности жизнедеятельности: состояние условий и безопасности труда в РФ, отрасли, регионе; основные формы деятельности человека; природа и характеристика опасностей; основные положения теории риска; психофизиологическая характеристика человека; психология безопасности производственной деятельности; методы и средства обеспечения безопасности труда по факторам вредности; методы и средства технической защиты в производственных процессах по факторам опасности; безопасность в чрезвычайных ситуациях производственного и техногенного характера</p>	<p>Уметь пользоваться нормативно-технической и правовой документацией по вопросам безопасности труда; анализировать и оценивать степень опасности техногенного воздействия на среду обитания; анализировать, выбирать и эксплуатировать системы и методы защиты среды деятельности; пользоваться современными приборами контроля среды обитания; прогнозировать развитие негативной ситуации в производственной среде и принимать верные управленческие решения; использовать информационные ресурсы и программные продукты в области безопасности жизнедеятельности; использовать передовой опыт; использовать знания из других смежных сфер деятельности</p>
	<p><i>Профессиональные</i> знания безопасности жизнедеятельности в условиях производства: правовые, нормативно-технические и организационные основы безопасности профессиональной деятельности; принципы, методы и средства защиты от вредных и опасных факторов строительной деятельности</p>	
	<p><i>Общие экологические</i> знания: о строении и функционировании живых систем; человеке как о части природы, единстве всего живого, взаимодействии факторов среды; глобальные и региональные экологические проблемы; общие черты современного экологического кризиса, пути выхода; рациональные формы взаимоотношений человеческого общества и природы; источники загрязнения среды обитания</p>	<p>Уметь в проектной деятельности и инженерной практике применять основные принципы, методы и средства, исключаящие негативные воздействия строительной деятельности на окружающую среду (методы сохранения и восстановления нарушенных земель, благоустройства территорий; принципы снижения материалоемкости и методы утилизации и использования отходов; методы снижения энергопотребления; принципы создания комфортных условий жизни людей в жилых зданиях и др.); уметь в проектной деятельности и инженерной практике использовать информационные ресурсы и программные продукты</p>
<p><i>Профессиональные экологические</i> знания о негативных воздействиях строительной деятельности на окружающую среду: виды, качественный состав и поступление в окружающую среду основных загрязнителей от строительного производства и деятельности; характер загрязнения урбанизированных территорий; способы сохранения рельефа и развития живой природы; природоохранные мероприятия при организации строительства; принципы, методы и средства защиты элементов биосферы от загрязнения; методы обращения с отходами; принципы энергосбережения; принципы защиты окружающей среды в гражданских зданиях от физических полей и химического загрязнения; благоустройство территорий; назначение экологической экспертизы; основные информационные базы</p>		

вается с осознанием им в ходе учебно-воспитательного процесса правовой и моральной ответственности, всеобщей экологической солидарности, собственной субъектности в деле охраны окружающей среды и обеспечения комфортной, безопасной и эффективной профессиональной деятельности на производстве.

Отличительная черта модели — синтез профессионального и экологического образования — обеспечивает технологичность и практическую реализацию современных профессиональных и экологических требований, предъявляемых к будущему инженеру в ходе профессиональной подготовки. Это достигается путем ее экстраполяции на модель будущего специалиста и модель обучения [4], которые выступают системообразующим фактором для разработки принципов формирования экологической компетентности, отбора содержания образования и конструирования технологии обучения и воспитания в одном потоке социальной по своей сути образовательной деятельности, направленной на личность.

Теоретико-методологические основы формирования экологической компетентности

Успешная практика формирования экологической компетентности будущего инженера предполагает установление наиболее приоритетных теоретико-методологических подходов [4] и выделение ведущих функций отечественного высшего профессионального образования [5]. Такими функциями являются: когнитивная; развитие личности, социализация и профессионализация личности; культурно-гуманистическая, воспитательная и технологическая.

Как видно из рассмотрения существа понятия "компетентность" квалификационный и компетентностный подходы не противопоставляются друг другу [6] (табл. 2). Каждый из них содержит признаки и элементы другого. Таким образом выбор наиболее приоритетных теоретико-методологических подходов к формированию экологической компетентности будущего инженера, осуществляется, прежде всего, на ос-



Таблица 2

Сравнительная характеристика квалификационного и компетентностного подходов

Квалификационный подход	Компетентностный подход
Ориентирован на получение квалификации, жестко привязан к предмету профессиональной деятельности. Предполагает, прежде всего, влияние предметного контекста будущей профессиональной деятельности на процесс и результаты учебной деятельности	Ориентирован на формирование личности специалиста, выраженной в единстве его теоретических знаний, практической подготовленности, способности и мотивации осуществлять все виды профессиональной и социальной деятельности. Предполагает активное и взаимодополняющее влияние предметного и социального контекстов будущей профессиональной деятельности
Дисциплинарная модель обучения. Содержание подготовки выстраивается из большого набора дисциплин, каждая из которых разворачивается исходя из логики своей предметной области	Междисциплинарная, интегративная (надпредметная) модель обучения. Комплексная подготовка, междисциплинарные знания и умения, готовность к профессиональной деятельности
Результат образовательного процесса описывается ЗУН (знания-умения-навыки)	Результат образовательного процесса описывается набором компетенций
Качество подготовки выпускника представляется как нечто производное от числа прослушанных курсов	Качество подготовки выпускника определяется уровнем приобщения студента к целостной сфере будущей профессиональной деятельности
Пассивная модель: учим предметы, а в конце обучения выясняем, какие компетентности сформировались, а какие нет	Активная модель: направлена на формирование компетенций. Усиливает практическую ориентированность ценностно-смысловой и личностной составляющих образования, выделяет операционную сторону результата образования
Основывается на жестко регламентированных образовательных программах	Основывается на широкой вариативности образовательных программ, дающих, с одной стороны, возможность "конструировать" содержание образовательного процесса в соответствии с запросами заказчика — студента, работодателя (государство, бизнес), а с другой — позволяет сохранить высокое качество подготовки
Акцент квалификационного подхода направлен на содержание образования (что преподают)	Акцент компетентностного подхода направлен на результат образования (какими компетенциями обладает студент, что он знает и готов делать)
Преимущественно "академический" характер образовательных технологий (передача знаний)	Приоритетные образовательные технологии: проблемное обучение, технологии сотрудничества, метод проектов, ИКТ, модульное обучение; контекстное обучение
Формирование социально-личностных компетенций определяется в рамках структуры и содержания цикла гуманитарных и социальных дисциплин	Формирование социально-личностных компетенций определяется не только в рамках структуры и содержания цикла гуманитарных и социальных дисциплин, но и за счет социального контекста операционной стороны освоения образовательных программ
Преподаватель осуществляет управляющее воздействие (преимущественно активный участник образовательного процесса). Студент реагирует на управляющее воздействие (преимущественно пассивный участник образовательного процесса)	Преподаватель и студент выступают как равные субъекты учебного процесса, имеющие свои задачи и ответственность, но объединенные единой образовательной целью
Овладение профессией осуществляется как процесс накопления совокупности предметных знаний, умений, навыков	Овладение профессией осуществляется как движение от учебной деятельности академического типа (через квазипрофессиональную и учебно-профессиональную) к профессиональной деятельности

нове анализа сходства и различия "квалификационного", и "компетентностного" подходов, сопоставления их целей, содержания, технологий реализации, актуальности в контексте осуществления социальных стратегий развития общества.

Какие ведущие подходы можно положить в основу реализации компетентностной модели подготовки инженера исходя из их научного и практического потенциала? Прежде всего дадим краткий теоретический анализ их возможностей и перспектив в контексте рассматриваемой проблемы.

Исследование значительного количества научных работ, посвященных формированию компетентностей/компетенций будущих специалистов различных отраслей, успешная реализация компетентностного

подхода возможна с опорой на ряд теоретико-методологических подходов.

1. Системный подход позволяет рассмотреть формирование компетентности с позиции целостной системы составляющих ее компонентов в многообразии их связей и отношений, выявить интегрированные свойства и качественные характеристики.

2. Интегративно-целостный подход позволяет рассматривать формирование компетентности как совокупность образования, органически включающей в себя процессуальные и результирующие составляющие, делая возможным управление ими.

3. Личностно-ориентированный подход смещает акценты с обучающего на обучающегося, учитывает личностные возможности обучающегося, тем самым

обеспечиваются условия для интеллектуально-ценностного развития обучающегося как свободной индивидуальности, способствующие актуализации особенностей личности в процессе обучения, обретению обучаемым самого себя как субъекта будущей профессиональной деятельности.

4. Личностно-деятельностный подход позволяет рассмотреть процесс усвоения знаний, социального опыта в форме деятельности. Основными положениями личностно-деятельностного подхода являются центрированность личности студента; деятельностный характер учебного процесса, в котором студент предстает субъектом этой деятельности; субъектно-субъектный характер взаимного сотрудничества преподавателя и студента; управление процессом сознательного усвоения деятельности со стороны преподавателя. В контексте личностно-деятельностного подхода успешно реализуется проблемный и проектный подходы к обучению.

5. Контекстный подход позволяет рассмотреть формирование компетентности как процесс, в котором динамически моделируется предметное и социальное содержание профессиональной деятельности будущего инженера, тем самым обеспечиваются условия трансформации учебной деятельности студента в профессиональную деятельность специалиста.

6. Профессионально-личностный подход предполагает создание педагогических условий в профессионально-ориентированном обучении, способствующих раскрытию личностного потенциала обучающихся и формированию профессионально-личностных качеств будущих специалистов.

7. Гуманистический подход обеспечивает развитие внутреннего мира субъекта, становление человека в партнерстве с другими людьми, основанном на гуманных межличностных отношениях, доверии и открытости.

Вывод из рассмотренных выше положений совершенно очевиден: достижение результата — сформированной конкретной компетентности/компетенции — предполагает опору на перечисленные подходы, исходя из концепции которых, научно и методически обосновываются, разрабатываются и практически осуществляются конкретные педагогические технологии.

Однако целостное развитие личности в условиях профессионального образования, как следует из ряда научных работ последних нескольких лет, посвященных компетентностному подходу в инженерном образовании, наилучшим образом достигается на единстве основных научных подходов: личностно-ориентированного, личностно-деятельностного, контекстного, профессионально-личностного и гуманистического.

Это и очевидно, ведь компетентностная модель выдвигает на первое место не информированность студента, а его умения и готовность решать проблемы, возникающие в познании и объяснении явлений

действительности; при освоении современной техники и технологии; во взаимоотношениях людей, в этических нормах, оценке собственных поступков; в практической жизни при выполнении социальных ролей; в правовых нормах и административных структурах; в потребительских и эстетических ценностях; в овладении профессией в высшем учебном заведении; в умении ориентироваться на рынке труда; при рефлексии собственных жизненных проблем; в самоорганизации себя, выбора стиля и образа жизни; разрешения конфликтов.

Выводы

1. Содержание экологической компетентности соответствует требованиям к уровню общей образованности, профессионализма и профессиональной культуры безопасности жизнедеятельности инженера.

2. Интегрирующим началом формирования экологической компетентности является потенциал целенаправленной подготовки, который представлен взаимосвязанными аспектами: личностно-направленным и профессионально-направленным.

3. Формирование экологической компетентности будущего инженера не сводится к радикальной перестройке существующих образовательных систем, структур и процессов — необходима их модернизация — придание им целостности. Это достигается реализацией в образовательной практике системы теоретико-методологических подходов, целенаправленная реализация которых обеспечивает требуемое качество профессиональной подготовки выпускника вуза.

4. Формирование экологической компетентности предполагает соответствующую разработку педагогических технологий в инженерном образовании, направленных на активизацию личности в образовательной среде.

Список литературы

1. **Костина Н. Н.** Формирование профессиональной компетентности студентов в процессе экономического обучения в вузе: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.08. — Магнитогорск, 2004. — 186 с.
2. **Деркач А. А.** Акмеологические основы развития профессионала. — М.: Изд-во Московского психолого-социального института; Воронеж: НПО МОДЭК, 2004. — 752 с.
3. **Климов Е. А.** Основы психологии: учебник для студентов высших учеб. заведений непсихол. специальностей. — М.: Культура и спорт; ЮНИТИ, 1997. — 283 с.
4. **Томаков В. И.** Профессионально-личностная технология обучения безопасности жизнедеятельности в инженерном образовании. — Курск, КурскГТУ, 2006. — 180 с.
5. **Томаков В. И., Емельянов С. Г.** Прогрессивные тенденции развития высшего образования и педагогические задачи технических вузов // Известия МАН ВШ. — 2007. — № 1 (39). — С. 24—35.
6. **Сальников Н., Бурухин С.** Реформирование высшей школы: концепция новой образовательной модели // Высшее образование в России. — 2008. — № 2. — С. 3—11.



ШЕСТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «НОВЫЕ ПРИОРИТЕТЫ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ В РЕАЛЬНОМ СЕКТОРЕ ЭКОНОМИКИ»

Москва, Кремль, Государственный Кремлевский Дворец

30 ноября-1 декабря 2010 года

В программе конференции:

- | | |
|------------------|--|
| 30 ноября | Торжественное открытие конференции
Пленарное заседание
Вручение почетных общественных наград |
| 1 декабря | Семинар ведущих специалистов-экологов |

Тел/факс: +7 495 913-5616

E-mail: intert1@mail.ru

Учредитель ООО «Издательство "Новые технологии"»

Журнал выходит при содействии Учебно-методического совета "Техносферная безопасность" Учебно-методического объединения вузов по университетскому политехническому образованию и Научно-методического совета "Безопасность жизнедеятельности" Министерства образования и науки Российской Федерации

ООО "Издательство "Новые технологии". 107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Телефон редакции журнала (499) 269-5397, тел./факс (499) 269-5510, e-mail: bjd@novtex.ru, <http://novtex.ru/bjd>

Телефон главного редактора (812) 550-0766, e-mail: rusak-maneb@mail.ru

Дизайнер *Т. Н. Погорелова.*

Технический редактор *Е. М. Патрушева.* Корректор *Е. В. Комиссарова*

Сдано в набор 12.08.10. Подписано в печать 14.09.10. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,86. Уч-изд. л. 8,37. Заказ 797.

Журнал зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-3762 от 20.06.2000.

Отпечатано в ООО "Подольская Периодика". 142100, Московская обл., г. Подольск, ул. Кирова, 15.