

# ЭКОЛОГИЯ

ПРОМЫШЛЕННОГО  
ПРОИЗВОДСТВА



МЕЖОТРАСЛЕВОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ

Выпуск 2  
Москва 2019

# ЭКОЛОГИЯ

## промышленного

## производства

МЕЖОТРАСЛЕВОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ

Выпуск 2 (106)

Издается с 1993 г.

Москва 2019

### СОДЕРЖАНИЕ

#### ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ, УТИЛИЗАЦИЯ И ПЕРЕРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

- Арсибеков Д. В., Короткий В. В., Кузнецов Н. П., Мельчукова Н. А.*  
Утилизация попутного нефтяного газа ..... 2
- Абдрахимов В. З.* Использование отходов от производства минеральной ваты для получения стеновых материалов ..... 9
- Шубов Л. Я., Скобелев К. Д., Иванков С. И., Доронкина И. Г., Загорская Д. А.* Состояние и перспективы развития в РФ ресурсосберегающей системы сбора и переработки макулатуры ..... 13
- Телегина М. В., Янников И. М., Кузнецов Н. П.* Модуль анализа данных кадастра отходов с применением геоинформационных технологий для принятия решений ..... 20
- Усиков В. И., Липина Л. Н.* Вторичное использование отходов горнопромышленного производства как путь решения экологических и социальных проблем ..... 26

#### ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДООЧИСТКА

- Ксенофонтов Б. С., Титов К. В.* Численные методы решения задач очистки воды флотацией ..... 30

#### ОЧИСТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ

- Лебедев А. Б., Утков В. А.* Химические взаимодействия красных шламов при очистке выбрасываемых в атмосферу промышленных газов от вредных примесей ..... 34
- Катин В. Д., Косыгин В. Ю., Борзеев И. Я.* Математические модели выбросов вредных веществ при планировании экспериментальных исследований сжигания водомазутных эмульсий ..... 39

#### ВНЕДРЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И ЛИКВИДАЦИИ ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

- Сеерюков И. Т., Грачев В. И., Ильин В. В., Свиридок Е. В.* Программный модуль контроля безопасности потенциально опасных химических объектов ..... 45

#### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

- Пузач В. Г., Шустров Н. Н., Червяков В. М., Шитиков Е. С.* О возможности повышения эффективности промышленных производств строительных материалов ..... 49
- Белогурова О. А., Саварина М. А., Шарай Т. В.* К вопросу использования минерально-сырьевых ресурсов техногенных скоплений Ковдорского ГОКа ..... 54

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

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

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

#### Редакционный совет:

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

#### Редакционная коллегия:

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

© Федеральное государственное унитарное пред-  
приятие «Научно-технический центр оборонного ко-  
мплекса «Компас» (ФГУП «НТЦ оборонного комплекса  
«Компас»), 2019

УДК 504.06

## Состояние и перспективы развития в РФ ресурсосберегающей системы сбора и переработки макулатуры

Л. Я. ШУБОВ, д-р техн. наук; К. Д. СКОБЕЛЕВ; С. И. ИВАНКОВ, д-р техн. наук;  
И. Г. ДОРОНКИНА, канд. техн. наук; Д. А. ЗАГОРСКАЯ  
ФГАУ «НИИ «Центр экологической промышленной политики»,  
г. Мытищи, Московская обл., Россия

*Представлены результаты аналитической оценки проблемы макулатуры. Указаны направления утилизации макулатуры в РФ. Рассмотрены перспективы улучшения использования макулатуры. Важнейший фактор успеха в реализации программы ресурсосбережения — участие потребителей продукции в сборе макулатуры.*

**Ключевые слова:** макулатура, сбор, облагораживание, технология.

Макулатура — отслужившие свой срок изделия из бумаги и картона, бумажные отходы полиграфических и целлюлозно-бумажных предприятий и т. п., используемые в качестве вторичного сырья. Одна тонна макулатуры заменяет 4 м<sup>3</sup> древесины; 100 кг сданной макулатуры предотвращают вырубку одного взрослого дерева. В СССР в 1979 г. производство бумаги и картона составило 8,7 млн т (в США — 28,8 млн т).

За последнее тридцатилетие XX в. степень использования макулатуры в мире увеличена с 20 до 35 %. В странах ЕС степень утилизации макулатуры находится на уровне 60 %, в РФ — на уровне 18 %.

Государство прилагает определенные усилия для исправления ситуации, сложившейся на рынке макулатурного сырья:

- в 2015 г. вступил в силу временный запрет на экспорт макулатуры из РФ (это позволило ограничить махинации с бумажными отходами со стороны недобросовестных предпринимателей, а также сократить дефицит макулатуры в России);

- отменен НДС на реализацию макулатуры, что дало толчок развитию бизнеса на макулатурном рынке (макулатура как отход относится к самому низкому классу опасности (пятому) и не требует специальной лицензии на переработку отходов);

- наметилась тенденция селективного сбора макулатуры у населения (основная доля макулатуры, пригодной к использованию, попадает в ТКО и вывозится на свалки, т. е. безвозвратно теряется). Для по-

вышения эффективности селективного сбора необходимы целенаправленная и непрерывная работа с населением и четкая регламентация правил сбора (что и как нужно собирать). Целесообразно создать мобильные пункты приема макулатуры.

Примерный баланс потоков собранной макулатуры: 75 % — производство бумаги и картона; 20 % — производство мягкой кровли; 5 % — изготовление теплоизоляционных материалов.

Широкий диапазон использования имеет макулатурная масса из смешанной макулатуры. Она содержит волокна целлюлозы (обеспечивают прочность) и древесную массу (обеспечивает качественное формование, непрозрачность и улучшает печатные свойства бумаги).

Дана аналитическая оценка возможностей использования в РФ макулатуры в качестве вторичного сырья в бумажно-картонном производстве. Утилизация макулатуры и ее надлежащий сбор имеют большое экологическое и экономическое значение.

По официальным данным Ассоциации развития экологической промышленности «Вторичные ресурсы» (письмо от 19 ноября 2018 г. № 19-11-03), сбор макулатуры в РФ составил:

- 2016 г. — 3,84 млн т;
- 2017 г. — 4,23 млн т;
- 2018 г. (три квартала) — 3,45 млн т.

По данным того же источника, в среднем в РФ образуются 14 млн т макулатуры в год, сбор в среднем составляет 4 млн т/г., на свалки в составе ТКО вывозится 8 млн т/г. макулатурообразующих компонентов\*; 2 млн т — безвозвратные потери (выпадают из оборота). Цена 1 т макулатуры марки МС-5Б в 2018 г. колебалась в пределах 8200—11400 руб. Отмечается профицит макулатурного сырья (об этом свидетельствует, по мнению Ассоциации, затаривание складов перерабатывающих предприятий).

\* Данные по потерям макулатуры с ТКО занижены по крайней мере в 1,5 раза: при общем количестве образующихся в РФ ТКО на уровне 50 млн т/г. и содержании в ТКО макулатурообразующих компонентов 25 % захоронению подвергаются ~12,5 млн т макулатурного сырья в год.

Шубов Лазарь Яковлевич, профессор, старший научный сотрудник.

E-mail: info@eipc.center

Скобелев Кирилл Дмитриевич, начальник отдела.

E-mail: info@eipc.center

Иванков Сергей Иванович, профессор, научный сотрудник.

E-mail: info@eipc.center

Доронкина Ирина Геннадиевна, доцент, научный сотрудник.

E-mail: doronkinaig@mail.ru

Загорская Дарья Антоновна, инженер.

E-mail: info@eipc.center

Статья поступила в редакцию 7 марта 2019 г.

© Шубов Л. Я., Скобелев К. Д., Иванков С. И., Доронкина И. Г., Загорская Д. А., 2019

По данным российских производителей ("Лига переработчиков макулатуры"), в 2017 г. было использовано 2,9 млн т макулатуры. Кроме того, около 350 тыс. т было экспортировано. Считается, что при годовом образовании пригодных к переработке отходов ~12 млн т сбор составил 3,23 млн т (извлечение 27 %). Импорт макулатуры в 2017 г. составил всего 34 тыс. т (гофробумага и картон, небеленая крафт-бумага). Цена макулатуры в 2017 г. на российском рынке составила около 12 тыс. руб./т (без учета НДС)\*. Большая часть российской экспортной продукции поступает в Украину.

Наибольшее количество макулатуры (~55 %) образуется на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности (отходы производства) и в торговой сети. Сбор макулатуры у населения в постсоветский период незначителен, система сбора разрушена. Выделение бумаги из образующейся массы ТКО (сортировка "грязного мусора") малоэффективно и бесперспективно (в разрезе года составляет ~40 тыс. т малоприспособленного для переработки загрязненного сырья). Увеличение сбора макулатуры у населения напрямую зависит от создания эффективной системы селективного сбора ТКО.

На бумажном рынке России значительную долю занимают иностранные производители.

В РФ насчитывается около 40 заводов, занимающихся переработкой макулатуры в бумажную продукцию. Предприятия-заготовители макулатуры в основном представлены малым бизнесом. Технология и оборудование на отечественных предприятиях устаревшие (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительная оценка некоторых показателей предприятий целлюлозно-бумажной промышленности в РФ и за рубежом

Показатели	Российский рынок	Мировой рынок
Максимальная скорость работы бумагоделательной машины, м/мин	1050	1400
Максимальная ширина бумагоделательной машины, м	4,6	12
Максимальная скорость работы гофроагрегата, м/мин	400	600
Средняя скорость работы гофроагрегата, м/мин	Менее 200	Более 400
Максимальная ширина гофроагрегата, м	2,5	3
Средняя ширина гофроагрегата, м	Менее 2	Более 2,2
Срок окупаемости гофроагрегата, г.	12 лет	5 лет

На рынке отмечается дефицит макулатуры (это противоречит приведенным данным Ассоциации "Вторичные ресурсы"). С 2013 г. прирост мощностей переработки макулатуры постоянно возрастал, а планируемого роста сбора макулатуры не произошло. По оценкам экспертов, дефицит сырья составляет около 1 млн т.

\* В ЕС сбор макулатуры поддерживается на государственном уровне. За 1 т собранной макулатуры заготовитель получает дотацию 40 евро.

В 2000 г. сбор макулатуры составлял 350 тыс. т, в 2017 г. превысил 3,5 млн т. Суммарная мощность российских перерабатывающих заводов составила в 2000 г. 300 тыс. т, в 2017 г. — 4,25 млн т. Инвестиции в отрасль за последние 10 лет оцениваются на уровне 300 млрд руб. Основные инвесторы — крупные транснациональные компании Knauf, SCA Hygiene Products, Huhtamaki. Государственная поддержка отрасли отсутствует.

Наиболее крупные потребители макулатуры в России:

- Санкт-Петербургский КБК — 18 %;
- Алексинская КФ — 12,1 %;
- Набережно-Челнинский КБК — 10,4 %;
- Ступинская КФ — 9,8 %;
- Балахнинский ЦКК — 5,5 %;
- Суоярвская КФ — 4,2 %.

Наибольшим спросом на российском рынке пользуется макулатура марок от МС-1 до МС-6. Спрос на высококачественную макулатуру (марки МС-1, 2, 4, 5) составляет 5—10 % от общего количества образовавшейся макулатуры. Спрос на макулатуру среднего качества (марок МС-3, МС-6 и МС-7) — около 40 %, на смешанную и газетную макулатуру > 40 %. Закупать макулатуру за рубежом невыгодно из-за высоких таможенных пошлин. Если руководствоваться интересом многих российских предприятий к закупке оборудования для обесцвечивания и облагораживания макулатурной массы (данные Greeprease), с большой вероятностью следует ожидать резкого увеличения спроса на низкокачественные сорта макулатуры. Наиболее легкой для реализации является газетно-журнальная бумага. Общемировая тенденция — повышение удельного веса тары из вторичного сырья\*\*.

Самыми крупными дистрибьюторами макулатуры в России являются компании "Русская макулатура", ЗАО Вторсырье-переработка, ЗАО "Коммунарвторресурсы", ЗАО ПЗП "Вторр", ЗАО ПЗП "Котляково", "Эко Бридж", "Глобал Грин", ассоциация "Ресурсосбережение" (все в Московском регионе). Ежегодно в Московском регионе образуется более 1,5 млн т бумажных отходов (преимущественно продукция типографий и использованная тара), в переработку вовлекается около 400 тыс. т (остальное вывозится на свалки и сжигается). Весьма крупный поставщик макулатуры — торговый сектор. Ежемесячно в магазинах группы компаний "Перекресток" образуется ~300 т макулатуры (аналогично в московских супермаркетах "Рамстор").

\*\* Планируя создание новых производственных мощностей, производители ориентируются на использование макулатуры как исходного сырья для производства новой продукции (итоговый прирост производственных мощностей ~300 тыс. т/г.):

- Кемеровская компания "Кузбасский скарабей" заключила контракт на поставку картоно-делательной машины (производительность 30 тыс. т картона в год, сырье — макулатура, перспективная продукция — гофротара, стоимость машины — 1,5 млн евро, жизненный цикл — 30 лет);
- "Северо-Западная лесопромышленная компания" (СЗЛК) установила на Каменногорской фабрике офсетных бумаг оборудование для переработки макулатуры;
- Архангельский ЦБК планирует реализовать инвестиционный проект строительства завода по переработке макулатуры (220 тыс. т/г. готовой продукции).

Самая дорогая разновидность использованной бумаги — белая чертежная, писчая, копировальная (МС-1А), самая дешевая — обойная, упаковочная, афишная (МС-13В).

Взрывной рост цен на макулатурном рынке России произошел в середине 2018 г. в связи с решением правительства Китая о прекращении закупок вторсырья в США. Цены на макулатуру выросли на 500—1000 руб. за 1 т. Рынок макулатуры становится в РФ дефицитным. В основном Китай закупает миксовую макулатуру, которая используется в производстве гофрокартона и упаковки, в производстве кровельных материалов\*.

Одна из причин, препятствующих развитию отрасли — заниженные нормативы утилизации отходов от использования бумаги и картона (табл. 2)\*\*.

Таблица 2

Нормативы утилизации макулатуры в РФ

Группа товаров	Норматив утилизации, %		
	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Бумага и картон гофрированные, тара из гофрированной бумаги и картона	25	35	45
Упаковка из бумаги и негофрированного картона	10	15	20
Упаковка из гофрированного картона	25	35	45
Бумажные канцелярские принадлежности, мешки и сумки, издательская печатная продукция	10	15	20
Бобины, катушки, шпули из бумаги и картона	0	5	10

Повышение уровня сбора макулатуры во многом может быть связано с созданием эффективной системы селективного сбора ТКО. Планируемый и достаточно легко достижимый уровень извлечения ценных компонентов ТКО ~30 %. При самых скромных расчетах выход макулатуры как одного из наиболее ценных компонентов ТКО составит при извлечении 30 % около 4 млн т/г.

Чтобы система селективного сбора ТКО заработала в масштабе страны, необходимы:

- организация переподготовки и повышения квалификации персонала, занятого в сфере обращения с ТКО;

- организация разъяснительной работы среди населения, целенаправленной и непрерывной (повышение ответственности за качество среды обитания, развитие понимания важности и жизненной необходимости раздельного сбора, формирование общественного мнения в этой сфере и экологического сознания у населения);

- организация активного участия населения (разъяснение правил сортировки и наиболее приемлемого способа ее реализации — *пофракционного сбора*: вторсырье собирают в одну емкость, остаточные отходы — в другую);

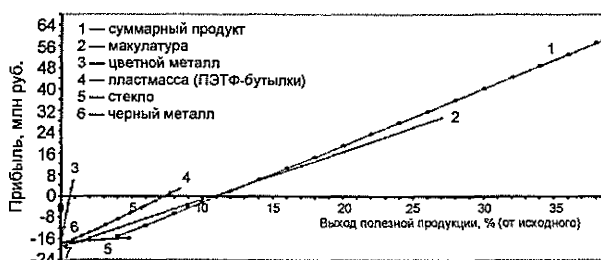
- установка на контейнерных площадках необходимого количества спецконтейнеров для собранных фракций вторсырья (для их последующей доставки на сортировочные комплексы);

- создание современных комплексов по сортировке вторсырья по видам и подготовки вторсырья к переработке (в частности, макулатура подвергается пакетированию);

- организация централизованного управления потоками отходов и вторсырья;

- задействование в системе раздельного сбора пунктов платной приемки вторсырья (преимущественно мобильных).

Направление на сортировку отходов, достаточно обогащенных ресурсоценными компонентами, является необходимым условием самоокупаемости процесса (рисунок): доходы от реализации вторсырья (наиболее ценными являются макулатура, пластмасса и цветной металл) превышают расходы на сортировку при выходе полезной продукции более чем на 10 % (от исходного). Такому условию, как показывают расчеты и практика, отвечает вовлечение в сортировку фракционно-собранного у населения вторсырья, а также отходов нежилого сектора города, характеризующихся повышенным содержанием незагрязненной макулатуры и других компонентов\*\*\*.



Зависимость годовой прибыли сортировочного комплекса от выхода полезной продукции (с учетом расходов)

За четверть века в РФ не создано ни одного объекта в сфере целлюлозно-бумажной промышленности. Тем не менее можно отметить внедрение целого ряда технологических усовершенствований.

\*\*\* Пофракционный сбор обеспечивает выход вторсырья на практически легко достижимый уровень 30 %, обеспечивающий экономическую выгоду сортировки (на практике этот уровень со временем будет повышаться и составит 40 % и выше).

При производстве таро-упаковочных видов бумаги и картона для повышения прочностных показателей готовой продукции необходимо свести к минимуму укорочение волокон при приготовлении макулатурной массы. Для этого рекомендуется вместо ножевых дисковых мельниц использовать гидродинамические [1].

На Полотняно-Заводской бумажной фабрике для производства писче-печатных видов бумаги внедрена технологическая схема приготовления макулатурной массы, позволяющая увеличить содержание макулатуры в композиции, сократить расход энергии на размол, увеличить выход кондиционной продукции. Технология разволокнения макулатурной массы в сортирующем гидроразбивателе (турбосепараторе) и гидродинамической мельнице (энтштиппере) исключает режущее воздействие ножевой гарнитуры на вторичные волокна. Лучшие результаты удаления частиц термоклея из макулатурной массы обеспечивает метод сортирования на ситах с круглыми и щелевыми отверстиями в последовательно установленных напорных сортировках. Разработана система двухступенчатой промывки макулатурной массы при ее приготовлении с отдельными контурами водопользования, обеспечивающая получение полуфабриката со стабильной белизной (на 1,5—2 % превышает исходное значение в 66,7 % при расходе свежей воды 25—26 м<sup>3</sup> на 1 т полуфабриката). Критерии оценки бумагообразующих свойств вторичных волокон: содержание древесной массы в макулатуре, ее зольность, белизна, разрывная длина, способность к разволокнению [2].

Поскольку современные технологии и оборудование (по данным зарубежной практики) позволяют получать из макулатурной массы высококачественную продукцию, с большой вероятностью следует ожидать, что инвестиции в развитие целлюлозно-бумажной отрасли России будут связаны с разработкой и внедрением ресурсосберегающих и экологически ориентированных технологий, связанных с переработкой макулатуры, с увеличением ее использования и получением высококачественной продукции (с одновременной модернизацией технологических линий\*). Наиболее простой и экономический путь развития в части получения новой продукции — использование макулатурной массы в композиции гофрокартона, бумаги для гофрирования, коробочного картона.

С точки зрения политики управления отходами можно ориентироваться на германский рынок макулатуры: утилизация макулатуры мало зависит от цены и спроса на нее и определяется квотами на сбор и утилизацию макулатуры, устанавливаемыми правительством (для российских условий речь, очевидно, должна идти о нормативах утилизации макулатуры).

Макулатура как вторсырье требует для рентабельной переработки изыскания и применения новых прогрессивных технологий, ориентиром которых могут служить запатентованные технологические решения.

\* Значительная часть оборудования в технологических линиях по переработке макулатуры изношена и устарела (см. табл. 2). Требуется обязательная модернизация гидроразбивателя, сортировки, очистители. Одна из причин технологического отставания отечественной отрасли — отсутствие инвестиций для инновационного развития.

Их исследование позволяет прогнозировать технический прогресс, оценивать перспективы развития отрасли, проводить обоснованную экологическую промышленную политику.

Рассмотренный далее ряд запатентованных технологических решений расширяет возможности использования и переработки макулатуры в качестве не только вторичного сырья, но в конечном итоге и как первичного (извлечение из макулатуры целлюлозы с использованием селективных растворителей). Характерно, что ряд патентов в сфере переработки и утилизации макулатуры выдан иностранным заявителям (это говорит о том, что рынок макулатуры в РФ является привлекательным).

1. Цель запатентованной технологии — регенерация сырьевых материалов из бумагодержащих отходов, в частности упаковочных (последние состоят, как правило, из бумаги с целлюлозной основой, пластмассы и металла, например алюминия) [3].

подавляющая часть упаковочных отходов сжигается или захоранивается (система сбора упаковочных отходов для их вторичной переработки, как, например, действующая в Германии дуальная система или "Зеленая точка", ситуацию не изменяет). Особенно сложной для переработки является упаковка, состоящая из нескольких слоев разных материалов (комбинированные виды упаковки).

Предпочтительным представляется, по мнению разработчиков, получение из упаковочных материалов веществ для использования в качестве первичного сырья (получение исходных сырьевых продуктов) — извлечение из бумажных отходов целлюлозы и ее переработка. Извлечение целлюлозы связано с ее переводом в раствор с помощью жидкого реагента, содержащего имидазол в качестве катиона и галогенид в качестве аниона, с последующим осаждением целлюлозы водной обработкой и получением целлюлозного волокна. Целлюлозу в виде твердого вещества подвергают фильтрованию и сушке, после чего она пригодна для дальнейшей переработки аналогично целлюлозе, полученной традиционным способом. Считается, что экономически и экологически это более предпочтительно, чем получение целлюлозы из растений.

Аналогично в растворимое состояние переводят полимеры (например, с помощью углеводов — ксилитол, гексан) с последующим осаждением и получением гранулята, пригодного (после тонкого измельчения) для литья под давлением (экономически это более приемлемо, чем, например, синтез полиэтилена из нефти). Несопоставимы также затраты на получение алюминия из бокситов (из отходов металл извлекают в виде твердого вещества). С точки зрения получения целлюлозы наиболее привлекательна переработка бумажных отходов (или отходов с высоким содержанием бумаги, макулатуры). Растворители целлюлозы и пластмассы регенерируют. Поскольку технологические превращения происходят на молекулярном уровне, полученные сырьевые материалы отличаются высокой чистотой и хорошим качеством. Закрытый технологический цикл предотвращает загрязнение окружающей среды и повышает эффективность процесса.

В зависимости от состава исходного материала реализация процесса позволяет выделить для самостоятельного использования от одного до трех продуктов (целлюлоза, пластмасса, металл). Главный сырьевой источник отходов — бумагосодержащая составляющая отходов. При экстрагировании пластмасс (переработка комбинированных видов упаковки) речь идет преимущественно о полиэтилене. Решающее значение в технологии имеет выбор растворителей.

Технология включает следующие операции:

- измельчение сырьевого материала;
- сортировка и очистка сырьевого материала от прилипших загрязнений, примесей других материалов и пластмасс (разделение по плотности в водной среде);
- обезвоживание бумажной фракции (фильтрование, сушка);
- обработка высушенной фракции селективным растворителем (перевод целлюлозы в растворенное состояние); растворы содержат ~50 % целлюлозы;
- удаление из жидкости механических примесей и нерастворенных частиц (фильтрование);
- осаждение целлюлозы и ее обезвоживание (фильтрование, центрифугирование, сушка);
- регенерация растворителя (как правило, растворитель не смешивается с водой);
- растворение пластмассы (полиэтилена) и регенерация растворителя (жидкие углеводороды или их смеси) дистилляцией;
- после извлечения целлюлозы и пластмассы выделение металла (в виде твердого вещества); преимущественно металл представлен алюминием.

2. Цель запатентованной технологии — получение однородного углеродсодержащего продукта с содержанием углерода 70—92 % и зольностью не более 1 % при переработке вторсырья из целлюлозосодержащих отходов (например, из газетной или картонной макулатуры) [4].

Продукт с содержанием аморфного углерода от 70 до 92 % широко применяют в качестве эффективной добавки в резинотехнической и лакокрасочной промышленности (увеличивает износостойкость и силу сцепления резин, прочность и износостойкость полимеров); применяют в качестве добавки в бедные водо-угольные суспензии в энергетике.

Технология включает следующие операции:

- вымачивание целлюлозосодержащих отходов в растворе неорганической кислоты (HCl или H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, концентрация 0,08—10 %);
- распушивание сырьевой смеси при интенсивном перемешивании до образования однородной дисперсной фазы;
- промывка водой до нейтральной среды, фильтрование и вымачивание в водном растворе карбоната (углекислые соли калия или натрия, концентрация 0,08—25 %);
- повторное промывание водой до нейтральной среды и фильтрование;
- автоклавная карбонизация в водной среде при температуре 150—400 °С в течение до 3 суток при T/Ж = 1/4 (получение предварительного продукта с содержанием углерода до 70 %);
- прогревание предварительного продукта в муфельной печи при температуре 600 °С в течение 20—

60 мин. (получают однородный продукт с содержанием углерода до 92 %).

Конечный продукт характеризуется насыпной плотностью порошка 0,25—0,3 г/см<sup>3</sup>, удельной поверхностью до 332,5 м<sup>2</sup>/г, зольностью 0,1—1 %.

3. Цель запатентованной технологии переработки бумажной макулатуры — утилизация выведенных из обращения бумажных денег и ценных бумаг [5].

Технология включает следующие операции:

- макулатуру (состоит из бумажной основы, специальной пропитки и печатной краски) разрезают на полоски, перемешивают с растворенным в воде окислителем — гипохлоритом натрия (его получают из хлорида натрия в электролизере, обеспечивая содержание 2—7 г/л активного хлора); перемешивание производят при отношении T/Ж от 1/10 до 1/20 до отделения печатной краски;
- отделение бумажной основы от раствора и мелких частиц краски (отжим на фильтре с сеткой с отверстиями 1—2 мм) и промывка; бумажная масса представляет собой обезвреженное вторсырье и идет на переработку (например, в производство стройматериалов);
- регенерация окислителя в электрофлотаторе с безреагентной корректировкой pH (электрохимическое изменение pH для перевода металла из раствора в твердую фазу и ее флотация); пена направляется на отжим осадка, раствор — на окисление в электролизер для получения раствора гипохлорита; фильтрат от отжима пены возвращают в электрофлотатор, осадок сушат и получают концентрат вредных элементов и неразложившейся краски (подвергается утилизации).

Отличительные особенности технологии:

- процесс реализован в замкнутом цикле;
- экономическая эффективность (использование в качестве реагента дешевой поваренной соли).

4. Цель запатентованной технологии — оптимизация переработки макулатуры из гофрокартона. Отличительная особенность технологии: роспуск макулатуры, очистку от тяжелых и легких включений, грубое и тонкое сортирование макулатурной массы ведут одновременно в одном аппарате ударного действия в потоке воздуха при скорости вращения ротора 1400—2000 об/мин в течение 40—60 с [6].

Исходное сырье — макулатура в виде гофроящиков, предварительно выдержанная в воде в течение двух суток, затем отжатая и распушенная в дезинтеграторе; полученная макулатурная масса отсортирована через сито, отжата и разделена на мелкие фракции.

В качестве аппарата ударного действия используют устройство, включающее три элемента: диспергатор (ротор с радиально расположенными лопатками создает в аппарате вихревое движение воздуха); вентилятор высокого давления; циклон. Измельчение макулатуры осуществляется за счет ударного действия элементов ротора, а отделение волокнистой фракции от неизмельченных кусочков макулатуры и тяжелых включений происходит в потоке воздуха.

Готовый продукт в виде отдельных волокон извлекается из центра аппарата под действием вакуума и поступает в циклон. Тяжелые примеси (камни, куски пленок, жгутики из скотча и т. п.) оседают в простран-

стве между корпусом аппарата и кожухом и периодически удаляются. Волокнистая фракция макулатуры выгружается в нижней (конической) части циклона, легкие включения — в верхней. Таким образом, при определенном соотношении скорости воздуха и скорости вращения ротора осуществляется сепарация готового продукта. Куски макулатуры и пучки волокон циркулируют в аппарате до тех пор, пока не будут распущены до отдельных волокон. Продолжительность механического воздействия на макулатуру в зоне роспуска 40—60 с.

Преимущества технологии — упрощение процесса переработки макулатуры из гофрокартона и уменьшение его продолжительности, повышение экономической эффективности, снижение расхода воды и электроэнергии, экологическая привлекательность.

5. Цель запатентованной технологии — повышение степени белизны макулатурной массы (при сохранении механических показателей) [7].

Исходное сырье — печатная макулатура, преимущественно газетная. Область применения — производство газетной, оберточной бумаги и картона.

Технология облагораживания макулатурной массы включает стандартные операции (роспуск макулатуры, обработка реагентами для отделения печатной краски от волокон, флотация загрязнений и отбелка) и отличается режимными параметрами и номенклатурой реагентов.

Суть технологии:

- роспуск газетной макулатуры (исходная белизна 48,9 %) в дезинтеграторе при температуре 40 °С в течение 15 мин в присутствии  $H_2O_2$  (оказывает отбеливающее действие, активизирует гидролиз и деполимеризацию масел, являющихся компонентами клеев и связующего вещества печатной краски), NaOH и  $Na_2SiO_3$  (силикат натрия необходим для стабилизации пероксида водорода); расход реагентов (% от массы абсолютно сухого волокна):  $H_2O_2$  — 3 %, NaOH — 1,75 %,  $Na_2SiO_3$  — 5 %;

- выдерживание макулатурной массы в течение 2 ч (завершение химических реакций отделения частиц краски от волокна);

- разбавление макулатурной массы теплой водой (температура 50 °С) до концентрации массы 0,8 %, добавление сульфатного мыла (расход 2 % от массы абсолютно сухого волокна) и флотация при температуре 50 °С (в пенный продукт переходят мелкое волокно и частицы краски);

- сгущение облагороженной макулатурной массы, разбавление водой до концентрации 4 % и отбелка с добавлением формамидинсульфиновой кислоты при расходе 0,3—0,6 % от массы абсолютно сухого волокна (при температуре 65 °С в течение 60 мин при pH 8—9);

- промывание водой облагороженной и обесцвеченной макулатурной массы (достигнутая белизна 67—73 %).

### Выводы

В РФ потребление макулатуры с 1999 г. регламентируется требованиями ГОСТ 10700-97 "Макулатура бумажная и картонная. Технические условия", кото-

рый подразделяет вторсырье на 13 марок, входящих в три группы.

С точки зрения генеральной стратегии решения проблемы отходов материальная утилизация макулатуры более целесообразна, чем ее захоронение или сжигание. Основной путь утилизации макулатуры — использование в качестве вторсырья в производстве бумаги и картона.

В 1979 г. производство бумаги и картона составило в СССР 8,7 млн т, в США — 28,8 млн т. В XXI в. (после 2010 г.) производство бумаги и картона в России стабильно находится на уровне 8 млн т/г., в США — около 45 млн т/г.

Степень утилизации макулатуры в XXI в. в России — на уровне 18—20 %, в странах ЕС — 60 % (до 70 %).

На общемировом уровне сбор и переработка макулатуры определяются экономическими факторами, причем стоимость сбора определяется не только рынком, но и законодательством, а уровень переработки во многом зависит от спроса на макулатуру. С точки зрения политики управления отходами целесообразно ориентироваться на германский рынок макулатуры: утилизация макулатуры мало зависит от цены и спроса на нее и определяется квотами на сбор и утилизацию макулатуры, устанавливаемыми правительством (аналог в российских условиях — нормативы утилизации макулатуры).

В 2016—2018 гг. сбор макулатуры в РФ ежегодно находился на уровне ~4 млн т. По оценкам экспертов дефицит вторичного сырья составил около 1 млн т (с 2013 г. отмечается постоянный прирост мощностей переработки макулатуры, в то же время роста сбора макулатуры не произошло). Точное количество образующейся макулатуры неизвестно. Наиболее вероятно, что в РФ образуется 15—16 млн т/г. макулатуры (с учетом вторсырья, вывозимого с ТКО на свалки); кроме свалок, безвозвратные потери составляют около 2 млн т/г. (выпадают из оборота).

Наибольшее количество макулатуры (~55 %) образуется на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности (отходы производства) и в торговой сети. Сбор макулатуры у населения незначителен. Ежегодно в Московском регионе образуется более 1,5 млн т бумажных отходов, в переработку вовлекается около 400 тыс. т (остальное — вывозится на свалки и сжигается).

Исходя из эволюции и тенденций развития мировой практики следует ожидать, что инвестиции в целлюлозно-бумажную отрасль России будут связаны с внедрением ресурсосберегающих и экологически ориентированных технологий, связанных с переработкой макулатуры и увеличением ее использования, и получением высококачественной продукции (с одновременной модернизацией технологических линий, включая гидроразбиватели, сортировки, очистители).

Согласно ближайшим планам развития объектов по переработке макулатуры (минимум четыре объекта) прирост производственных мощностей возрастет в ближайшие 5 лет примерно на 300 тыс. т/г. и дефицит макулатуры приблизится к 1,5 млн т/г. (если останется неизменной система сбора макулатуры).

Одна из причин, препятствующих развитию отрасли, — заниженные нормативы утилизации отходов от использования бумаги и картона.



Повышение уровня сбора макулатуры во многом может быть связано с созданием эффективной системы селективного сбора ТКО. При содержании в ТКО макулатурообразующих компонентов в среднем 25 % только в Московском регионе образуется до 2 млн т макулатуры (всего ТКО 7—8 млн т/г.).

Ресурсную обеспеченность производства в ближайшие 5—7 лет можно связывать именно с созданием и развитием системы селективного сбора ТКО. Развитие отрасли в целом зависит от реализации инновационных процессов. Отсутствие инвестиций приводит к отставанию технологии. По оценкам экспертов российская отрасль отстает от мирового уровня в среднем на два технологических поколения. Рост сбора макулатуры привлечет инвестиции.

Запатентованные технологические решения предусматривают регенерацию сырьевых материалов из бумажных отходов, получение из макулатуры новых продуктов (пользуются спросом на рынке), утилизацию выведенной из обращения денежной массы, оптимизацию переработки макулатуры из гофрокартона.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Особенности приготовления макулатурной массы // Мир упаковки. 2001. № 3. С. 12, 13.
2. Дулькин Д. А. Макулатурная масса для производства писчеблагодатных видов бумаги. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. — Архангельск: Архангельский гос. техн. ун-т, 2002.
3. Способ и технологический процесс регенерации сырьевых материалов из бумагообразующих отходов с использованием ионных жидкостей. Патент России № 2663751, D21H11, D21C5, D21B1, 2014 / ПОММЕРСХАЙМ Райнер.
4. Панасюк Г. П., Семенов Е. А., Козерожец И. В., Азарова Л. А., Ворошилов И. Л., Белан В. Н., Першиков А. В. Способ утилизации и переработки вторсырья из целлюлозосодержащих отходов. Патент России № 2580497, D21C5, 2015.
5. Крыщенко К. И., Морозов Ю. И., Дзегиленок В. Н., Нейланд А. Б., Вакулюк В. В. Способ переработки бумажной макулатуры. Патент России № 2128744, D21C5, 1998.
6. Хакимов Р. Х., Хакимова Ф. Х., Ковтун Т. Н., Ушаков Е. Ю., Носкова О. А. Способ получения вторичных целлюлозных волокон переработкой макулатуры из гофрокартона. Патент России № 2478745, D21C5, 2011.
7. Хакимова Ф. Х., Ковтун Т. Н., Акулов Б. В., Носкова О. А. Способ облагораживания печатной макулатуры. Патент России № 2435892, D21C5, D21C9, 2010.

## The state and prospects of development in the Russian Federation of a resource-saving system for the collection and processing of waste paper

L. Ya. SHUBOV, K. D. SCOBELV,

S. I. IVANKOV, I. G. DORONKINA, D. A. ZAGORSKAYA

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

*The study presents the results of analytic research of the problem of the waste paper. The directions of used waste paper in Russia is shown. The article shows the prospects how to improve the use of waste paper. The most important factor in the success of a recycling program is consumer participation in paper collection.*

**Keywords:** waste paper, collection, deinking, technology.

**Bibliography** — 7 references.

*Received March 7, 2019*