



УДК 62.664.2  
DOI 10.21685/2587-7704-2019-4-2-5



Open  
Access

RESEARCH  
ARTICLE

# Технологии переработки и утилизации отходов деревообработки

**С. В. Голобоков**

Пензенский государственный университет, Россия, 440026 г. Пенза, ул. Красная, 40

**Н. К. Мухамедьярова**

Пензенский государственный университет, Россия, 440026 г. Пенза, ул. Красная, 40

**И. А. Лёсин**

Пензенский государственный университет, Россия, 440026 г. Пенза, ул. Красная, 40

**Аннотация.** В статье выполнен сравнительный анализ технологий переработки отходов деревообрабатывающей промышленности. Разработан проект мобильного комплекса по производству пеллет из отходов деревообрабатывающей, лесной, сельскохозяйственной промышленности.

**Ключевые слова:** энергопотенциал, топливо, пеллеты, гранулы, брикеты, технологии сжигания, древесные отходы, мобильный комплекс.

## Reproduction and utilization technology of woodworking waste

**S. V. Golobokov**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, 440026, Penza, Russia

**N. K. Mukhamed'yarova**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, 440026, Penza, Russia

**I. A. Lesin**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, 440026, Penza, Russia

**Abstract.** The article presents a comparative analysis of waste treatment technologies for woodworking industry. A mobile complex for the production of pellets from wastes of woodworking, forestry and agricultural industry has been designed.

**Keywords:** energy potential, fuel, pellets, granules, briquettes, combustion technologies, wood waste, mobile complex.

Использование вторичных ресурсов является одним из приоритетных направлений развития малой энергетики. В лесной, деревообрабатывающей промышленности, сельскохозяйственном производстве и переработке продуктов накапливаются значительные объемы отходов.

Опилки, щепа, веточки, стебли и листья растений, скорлупа и шелуха семян являются органическими веществами растительного происхождения. По своему химическому составу они относятся к топливу, но это топливо с низкой теплотой сгорания. В промышленной энергетике органические отходы не применяются [1].

Масса древесных отходов в России, по разным оценкам, составляет свыше 3 млрд т, из которых 30,4 млн т являются экономически доступными. В Пензенской области площадь леса составляет 862,4 тыс. га, объем биомассы лесных массивов – до 1 млн т.

В последние десятилетия в сельской местности происходит внедрение промышленных технологий, резко возрастает энерговооруженность рабочих и производительность труда. Численность ра-

ботоспособного населения сокращается, а вместе с ней и сокращается количество сельских поселений. Изменяется структура сельхозугодий и лесных ресурсов, уменьшается поголовье домашних животных, падает площадь земель, используемых для выпаса скота и заготовки кормов.

В лесной промышленности заготовка леса ведется на делянках с товарной древесиной с диаметром стволов не менее 20 см. В результате на делянках остается значительная масса веток, щепы, подлесок. Основной способ утилизации – сжигание. С одной стороны, это пожароопасное производство, с другой – ценное вторичное сырье не используется.

Строить стационарный завод в местах заготовки не имеет смысла, поскольку фронт работ по заготовке леса перемещается по лесным массивам, а возить отходы на расстояние более 10 км становится экономически невыгодно. Поэтому отходы накапливаются годами. Завалы мусора способствуют размножению микробов и бактерий, нарушают экологическое равновесие. В сухую погоду захламленные лесные массивы и лесозащитные полосы нередко выступают причиной лесных и степных пожаров. Пожары наносят колоссальный экономический и экологический ущерб.

Страшные пожары в 2019 г. нахлынули на Сибирь, общая площадь возгорания составила около 3 млн га, уничтожены огромные территории леса. Такие катастрофы периодически повторяются. Кроме экономических потерь, природе наносится экологический урон, наблюдается массовая гибель диких животных, нарушена экология больших территорий. Эти леса богаты древесными отходами, это главная причина быстрого распространения огня.

На многих промышленных предприятиях возникает проблема хранения, транспортировки и утилизации отходов растительного происхождения. В классических энергетических установках сжигать растительные отходы довольно трудно. Отходы рыхлые, ветки и стружки сцепляются друг с другом и затрудняют транспортировку.

При хранении на открытом воздухе отходы накапливают влагу, и для эффективного сжигания требуется предварительная просушка. Требуются огромные размеры складов, возможны процессы гниения, отходы являются пожароопасными. Для решения этих проблем применяется технология переработки растительных отходов в пеллеты или брикеты.

Технология производства пеллет довольно сложна. Сырье – опилки, кора и ветки – поступает в дробилку, где измельчается до состояния муки. Полученная масса поступает в сушилку, из нее – в пресс-гранулятор, где древесную муку сжимают в гранулы. Сжатие во время прессовки повышает температуру материала. В древесине содержится лигнин, который выступает в качестве клеящего компонента. При высокой температуре он размягчается и склеивает частицы в плотные цилиндрики. Готовые гранулы охлаждают, расфасовывают в мешки по 20–50 кг, которые удобны для транспортировки.

Гранулы отличаются от обычной древесины низкой влажностью – всего 8–12 % (влажность сырых дров 30–50 %) и примерно в полтора раза большей плотностью, чем дрова. Одно из важнейших преимуществ гранул – высокая и постоянная насыпная плотность, позволяющая относительно легко транспортировать этот сыпучий продукт на большие расстояния [2].

Гранулы не содержат пыли и спор, менее подвержены самовоспламенению и не вызывают аллергическую реакцию у людей. Они обладают высокой теплотой сгорания и меньшей пожароопасностью. К недостаткам пеллет относится высокая энергоемкость их производства и относительно высокая стоимость. На производство пеллет тратится до 30 % энергопотенциала исходного сырья. Пеллеты применяются в малой энергетике, в системах отопления индивидуальных домов, производственных помещений, в технологических процессах с невысокой мощностью [2].

Другая технология – прессование отходов и получение брикетов. В зависимости от применяемого оборудования размеры брикетов составляют от 100 до 300 мм. Масса полученных брикетов составляет от 0,3 до 5 кг. Технология получения брикетов включает операции сушки сырья, измельчения, пропитки клеящим составом, прессования и спекания. Готовые брикеты переключаются с технологических поддонов в транспортные.

По сравнению с пеллетами производство брикетов менее энергоемко, требует затрат тепловой энергии. Мощность прессового оборудования и расход электроэнергии существенно ниже. Для генерации тепловой энергии используются печи, работающие на брикетах. Расход энергоресурсов составляет от 12 до 20 % от объема выпускаемого топлива. В качестве клеящего состава используют отходы сельского хозяйства, отходы пищевого производства, минеральные композиты [3].

В зависимости от применяемой технологии и состава сырья плотность брикетов может изменяться от 800 до 1260 кг/м<sup>3</sup>. Влагосодержание брикет при длительном хранении может достигать 12 %. Теплота сгорания не превышает 18 МДж/кг. По технологии применения древесные брикеты аналогичны брикетам из торфа, но превосходят последние по выходу теплоты. В большинстве случа-

ев брикеты имеют более высокую прочность и низкую зольность. По содержанию вредных компонентов в дымовых газах древесные брикеты также превосходят брикеты на основе торфа.

Брикеты, полученные из сельскохозяйственных отходов, по своим свойствам аналогичны брикетам на основе торфа. Главное преимущество – высокая плотность, малый объем, малая площадь складов. Брикеты хранятся под навесом, их пожароопасность существенно ниже, чем у сырья. Брикеты легко транспортируются автомобильным и железнодорожным транспортом. Производство брикетов налажено в Средней Азии, странах Ближнего Востока. В России производство брикетов налажено в северных регионах как сопутствующее лесозаготовкам и деревообработке.

Поставка готовой продукции выполняется на европоддонах, масса топлива составляет до 500 кг. Для защиты от влаги при длительном хранении и транспортировке поддоны упаковываются в полиэтиленовую пленку. Брикеты используются в твердотопливных котлах и котлах длительного горения. В котлах средней мощности применяется механизированная загрузка и подача топлива из бункера в топку. В котлах малой мощности загрузка топлива в бункер выполняется вручную.

Третий вид технологии – сжигание древесных отходов в виде стружки или опилок. Он применяется в вихревых печах или циклонах. Исходное сырье измельчается и сортируется. В топку подаются частицы с размерами не более 10 мм. Восходящий факел с горящими частицами в виде спирали вращается вдоль внутренней стенки печи. Легкие частицы малых размеров быстро сгорают в центральной части вихря. Тяжелые частицы тормозятся стенками и падают в нижнюю часть камеры сгорания. В результате происходит практически полное выгорание топлива разного фракционного состава.

Подача топлива в камеру сгорания выполняется по пневмопроводу. Сжатый воздух в системе подачи топлива вырабатывает компрессор, а подачу воздуха в топку выполняют вентиляторы. Вихревые печи используют для выработки пара и в технологических целях – для сушки, спекания; в основном используются в переработке продуктов – топливом выступает шелуха, лузга семян. В деревообрабатывающей промышленности используют опилки или мелкую стружку.

В нашей стране энергопотенциал вторичных ресурсов огромен, но по ряду причин значительного использования вторичные ресурсы до настоящего времени не получили. Производство пеллет и брикетов привязано территориально и технологически к источникам сырья – лесопильным заводам, маслозаводам по производству подсолнечного и льняного масла, сельхозпредприятиям. Этот рынок в Поволжском регионе развивается успешно, причем значительная доля продукции отправляется на экспорт, в основном в Европу и Среднюю Азию. Предприятия Северо-Западного региона ориентированы на европейский рынок. Поставки пеллет и брикетов на внутренний рынок незначительны. Сравнительный анализ технологий переработки древесных отходов представлен в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики топлива, получаемые из древесных отходов

Наименование	Пеллеты	Брикеты	Стружка
1. Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1160	1200	300
2. Удельная теплота сгорания, МДж/кг	12	10	10
3. Влажность, %	10	12	30
4. Зольность, %	1,4	1	0,4
5. Затраты на производство, %	30	10	2
6. Цена, тыс. руб./т	3500	2600	–
7. Серийное оборудование	Есть	Есть	Нет

Анализ данных таблицы показывает, что самым ценным топливом выступают пеллеты. Однако на их производство тратится значительная доля энергопотенциала – до 30 %. В настоящее время пеллеты получили наибольшее распространение как в нашей стране, так и за рубежом.

Брикеты являются менее ценным топливом, но их производство менее энергоемко. Следствием является более низкая цена. Брикеты применяются в котельных малой и средней мощности. Применение брикетов для отопления индивидуальных домов в нашей стране распространения не получило. На Западе это направление широко развивается, особенно в Канаде и Австрии [3]. Наибольшее распространение получили три вида брикетов:

1. Pini Kay. Выпускаются в виде толстостенной трубки с наружным диаметром 60 мм, внутренним диаметром 20 мм и высотой 250 мм. Низшая теплота сгорания – 4400 ккал/кг. Обеспечивают быстрое сгорание при естественной тяге. Низшая теплота сгорания – 4400 ккал/кг. Упаковываются в картонную тару по 12 шт., масса упаковки – 10 кг.

2. RUF. Брикеты имеют классическую форму кирпичей с размерами 150×100×60 мм. Плотность составляет 1200 кг/м<sup>3</sup>. Низшая теплота сгорания – 4400 ккал/кг. Влажность и зольность аналогичные. В одной упаковке 12 шт. массой 10 кг. Получают методом холодного прессования.

3. NESTRO. Выпускаются цилиндрической формы диаметром 90 мм и длиной до 400 мм. Низшая теплота сгорания – 4000 ккал/кг. Плотность составляет 1100 кг/м<sup>3</sup>. Зольность – до 1,5 %. Получают методом холодного прессования.

Сравнительный анализ различных видов брикетов представлен в табл. 2.

Таблица 2

#### Характеристики брикетов

Вид топлива	Теплоотдача, кВт/кг	Влажность, %	Зольность, %	Цена за 1 т, тыс. руб.
Древесные брикеты	5,2–5,8	До 12	1	8
Брикеты из угольной пыли	7,55	10–15	12	12
Брикеты из бурого угля	До 5	10–15	До 30	5,6
Евродрова из подсолнуха	4,5–5	10	5	6,4
Брикеты из соломы	4,8–5,2	10	4	5,2
Торфяные брикеты	До 4,5	До 18	20	5,4

Применение стружки в качестве топлива ограничено территорией предприятия. Стружка поглощает влагу, в отличие от пеллет и брикетов не допускает транспортировку. Нет серийного котельного оборудования, не применяется в индивидуальных домах. Для снижения пожароопасности хранится в герметичных металлических или кирпичных емкостях.

Для очистки лесных массивов и неиспользуемых сельхозугодий, охранных зон магистралей, санитарных зон крупных промышленных предприятий и прочих территорий, снижения их пожароопасности авторами разработан мобильный комплекс по производству пеллет. Комплекс работает на вторичном сырье и не требует поступления энергоресурсов.

Мобильный комплекс включает в себя установку по производству пеллет, газогенератор для выработки синтез-газа, склад сырья и готовой продукции, отсек для сушки сырья, мельницу для измельчения крупных частиц, дизель-генератор для выработки электроэнергии, котельную, жилой отсек для персонала. Комплекс размещен на стандартных платформах, на автомобильных прицепах или санно-гусеничных поездах.

Транспортировка поезда выполняется автомобилем-тягачом или промышленным трактором. Для сбора и доставки сырья с прилегающей территории к комплексу используются три-четыре трактора малой мощности с навесными орудиями и прицепами. Внешний вид представлен на рис. 1.



Рис. 1. Компонировка оборудования на платформе автоприцепа

Мобильный комплекс имеет несколько модулей, каждый из которых выполняет часть операций технологического процесса изготовления пеллет. После прибытия на новое место дополнительный

монтаж оборудования не требуется. Мобильный поезд будет перемещаться по территории и проводить очистку от кустарника, валежника, стеблей растений, мусора. Сырье собирают малые тракторы и доставляют к комплексу. При удалении заготовки сырья от комплекса более 5 км комплекс демонтируют, сани или фургоны переезжают на новое место.

Для достижения поставленной цели были решены задачи:

1. Разработана технологическая схема переработки отходов органического происхождения в пеллеты или брикеты.
2. Выполнен подбор и компоновка оборудования.
3. Выполнено технико-экономическое обоснование.
4. Выполнена оценка влияния на экологическую обстановку в регионе.

В настоящее время на рынке представлено несколько типов оборудования для производства пеллет или брикетов с приводом от электродвигателей, от двигателей транспортных машин и с собственным дизелем [4]. Состав линии с приводом от дизель-генератора представлен в табл. 3. Производительность линии составляет до 500 кг/ч.

Таблица 3

Состав технологического оборудования

Наименование	Количество	Цена, тыс. руб.	Сумма, тыс. руб.
1. Измельчитель древесины	1	180	180
2. Сушилка сырья	2	100	200
3. Гранулятор	1	1500	1500
4. Охладитель	1	170	170
5. Склад сырья и готовой продукции	2	60	120
Итого			2170

Запасы сырья характеризуются массой растительных отходов, которую технологически можно собрать и транспортировать в приемный бункер. Для лесного массива она составляет 20 т/га. Для лесопосадок и лесостепной зоны 8–10 т/га, для степных участков и пустырей – 5–6 т/га [1].

Производительность комплекса составляет примерно 4 т в смену, что позволяет обработать до 0,2–2 га территории в смену, или 50 га в неделю. За летний сезон (30 недель) будет очищено примерно 1500 га территории. Для регионов с высокой плотностью населения для обработки территории одного района достаточно одного такого комплекса. Для регионов с большими площадями количество комплексов будет увеличено до десятков.

Для обеспечения бесперебойной работы линии, доставки сырья и готовой продукции и передвижения технологического оборудования мобильный комплекс укомплектован транспортными машинами. Стоимость и состав техники представлен в табл. 4.

Таблица 4

Средства механизации мобильного комплекса

Наименование	Количество	Цена, тыс. руб.	Сумма, тыс. руб.
1. Мульчер	4	400	1,600
2. Автомобильный прицеп	3	600	1,800
3. Автомобиль-тягач	1	3,000	3,000
4. Кунг	1	800	800
Итого			7,200

Для производства 1 т продукции линия потребляет примерно 7,5 м<sup>3</sup> неизмельченных древесных отходов, или 2 т сырья. За смену будет переработано 6 т отходов и получено 4 т пеллет, в сутки – до 10 т. Выработка готовой продукции составит минимум 3 т с гектара.

Затраты на производство и выручка от продажи готовой продукции зависят от типа оборудования или производственной линии. Средние цены готовой продукции составляют 4000 руб. за 1 т пеллет первого сорта и 3250 руб. за 1 т промышленных пеллет. Принимаем среднюю цену – 3500 руб./т.

В смену комплекс выпускает 10 т продукции, ее цена составит 35 тыс. руб. В месяц линия выдает готовой продукции на 1050 тыс. руб. За восемь месяцев сезонной работы выручка составит 8 млн руб. С учетом стоимости топлива, запчастей, заработной платы производственного персонала и других обязательных отчислений можно считать, что чистая прибыль составит 23 % от валовой выручки. В денежном выражении это 2,4 млн руб. в год.

Общая стоимость технологического оборудования и транспортной техники составляет 9,4 млн руб. Срок окупаемости проекта составит четыре года. Кроме того, в зимнее время комплекс может работать на каком-либо заводе и перерабатывать накопившиеся там отходы производства. В этом случае объем выпуска готовой продукции будет больше, соответственно, увеличится прибыль за год и уменьшится срок окупаемости проекта.

Реализация проекта требует значительных объемов финансирования. В результате реализации проекта будет достигнут эффект от использования вторичных ресурсов, облагорожена и освоена территория заброшенных участков и уменьшится число пожаров и урон от них. Кроме того, это создание новых рабочих мест, поступление налогов, активизация рынка энергоресурсов, изменение материальных и финансовых потоков. Комплекс будет востребован во многих регионах Севера, Сибири и Дальнего Востока.

Использование мобильного комплекса позволит наладить производство пеллет или брикетов, использовать вторичные ресурсы [3]. Главный эффект будет в экологической и социальной сфере, комплекс поможет снизить пожароопасность территории, которая в масштабах нашей страны имеет важнейшее значение.

После очистки лесных массивов, охранных зон и степных участков на территории создаются благоприятные условия для произрастания различных видов растений, формируется животный мир, территория принимает ухоженный вид, включается в сферу жизнедеятельности. Готовится площадка для дальнейшего развития территории, улучшается инвестиционная привлекательность района.

### **Библиографический список**

1. Вторичные материальные ресурсы лесной и деревообрабатывающей промышленности (оборудование и использование) : справочник / под ред. Г. М. Михайлова. – Москва : Экономика, 1983. – 224 с.
2. Технология производства топливных брикетов из древесных отходов. – URL: <http://www.solidwaste.ru/processing/catalog/>.
3. Производство брикетов. – URL: <http://wood-prom.ru/>
4. Васильев, Н. И. Пеллеты и топливные брикеты – прогрессивные виды твердого биотоплива / Н. И. Васильев // Энергосбережение. – 2011. – № 4. – С. 14–20.

### **Образец цитирования:**

Голобоков, С. В. Технологии переработки и утилизации отходов деревообработки / С. В. Голобоков, Н. К. Мухамедьярова, И. А. Лёсин // Инжиниринг и технологии. – 2019. – Vol. 4(2). – С. 1–6. – DOI 10.21685/2587-7704-2019-4-2-5.