

УДК 674.08:502.174.1:620.92

Г. И. Завойских, канд. техн. наук, доцент (БГТУ); П. А. Протас, ассистент (БГТУ);  
А. В. Ледницкий, канд. экон. наук, доцент (БГТУ)

### ФОРМИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА СИСТЕМ МАШИН ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТОПЛИВНОЙ ЩЕПЫ ИЗ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ

В статье рассмотрены актуальные вопросы переработки отходов деревообрабатывающих производств на топливную щепу. С учетом размерно-качественной характеристики древесных отходов, прогрессивных технологий получения топливной щепы, сравнительного анализа отечественного и зарубежного оборудования, а также структуры лесоперерабатывающих производств Республики Беларусь сформированы системы машин для переработки отходов в энергетических целях и выполнена оценка их экономической эффективности.

In the article actual problems of processing of woodworking waste products on fuel chips are considered. In view of the size and qualitative characteristic of wood waste products, progressive technologies of reception fuel chips, the comparative analysis of the domestic and foreign equipment, and also Byelorussian structures woodworking manufactures systems of machines for processing waste products in the power purposes are generated and the estimation of their economic efficiency is executed.

**Введение.** С учетом лесосырьевого потенциала, а также структуры производств по переработке древесного сырья в Республике Беларусь запланировано до 2012 года довести количество используемых отходов деревообработки для получения тепловой и электрической энергии до 0,4 млн. т условного топлива, что в пересчете на плотный объем древесины составит около 1,5 млн. м<sup>3</sup>.

Соответственно перевод имеющихся в нашей республике многих сотен малых и средних котельных установок на древесное топливо, потребляющих в настоящее время в качестве топлива газ, уголь и нефтепродукты, их реконструкция и постройка новых, работающих на местных видах возобновляемого биотоплива, должны сопровождаться резким увеличением производства древесного топлива в виде щепы, и в первую очередь из отходов лесопиления и деревообработки.

**Основная часть.** С целью формирования эффективных систем машин для получения топливной щепы из отходов деревообрабатывающих производств выполнены:

– сравнительная размерно-качественная характеристика отходов цехов деревообработки и потоков раскряжевки сырья;

– анализ перспективных технологий производства топливной щепы из отходов деревообрабатывающих производств в развитых лесодобывающих странах мира;

– выбор систем машин для производства топливной щепы из отходов деревообработки на основе сравнительного анализа отечественных и зарубежных аналогов техники и оборудования;

– оценка экономической эффективности производства топливной щепы из отходов деревообработки в природно-производственных условиях деревообрабатывающих предприятий Республики Беларусь.

Знакомство со структурой лесопереработки в нашей республике дает основание сделать вывод о том, что более половины заготовленной деловой древесины подвергается механической переработке с конечным результатом выхода готовой продукции менее 50%. На складах лесозаготовительных предприятий при раскряжке образуется около 2,5% отходов в виде откомлеков и козырьков. Количество отходов деревообрабатывающих производств может составлять от 15% (строительно-столярные цеха) до 65% (производство паркета) [1, 2]. В зависимости от технологии распиловки, размеров и качества распиливаемых бревен, применяемых поставок, типа и размера изготавливаемой продукции, технического уровня и состояния оборудования при лесопилении образуется до 44% отходов. Отходами лесопиления являются горбыли, рейки, торцевые отрезки, вырезки досок, бракованная продукция и опилки.

По своим размерно-качественным характеристикам данные отходы могут дополнительно перерабатываться на пиломатериалы (горбыль, бракованная продукция), технологическую или топливную щепу. Направление переработки в каждом конкретном случае должно выбираться исходя из его эффективности и целесообразности.

Обоснованию и подбору систем машин для получения топливной щепы должно предшествовать установление ведущего (базового) типа оборудования, на основе которого определяются и выбираются остальные механизмы, которые совместно с базовой машиной составят выбранную систему.

Изучение и анализ прогрессивных технологий механической переработки круглых лесоматериалов с сопутствующей организацией производства топливной щепы из кусковых отходов деревообработки показывают,

что на этапе выработки топливной древесины ведущим оборудованием является рубильная машина. Следовательно, формирование систем машин для производства топливной щепы из отходов деревообработки необходимо начинать с выбора типов рубильных машин для измельчения древесного сырья.

Из технических средств, используемых при производстве измельченной древесины (технологической или топливной щепы), рубильные машины являются наиболее энергоемкими, сложными и дорогостоящими. Они существенно различаются по назначению, способу измельчения древесины, конструкции режущих, подающих, выгрузочных и приводных механизмов, мобильности, мощности и производительности. Наиболее широко распространены дисковые и барабанные рубильные машины. При измельчении древесины на щепу в рубильных машинах производится продольно-торцевое резание с образованием слоя стружки толщиной в пределах 10–20 мм, которая в дальнейшем, раскалываясь под воздействием многих взаимодействующих факторов, образует фракции щепы. Размеры частиц щепы зависят от кинематики процесса резания, типа и наличия дополнительных устройств в конструкции механизмов резания и удаления щепы, а также от физико-механических свойств и видов измельчаемой древесины.

Резюмируя вышеизложенное, с учетом технических характеристик и стоимости рассмотренных аналогов, предложены следующие типы рубильных машин для получения топливной щепы из отходов деревообработки: для цехов с годовым объемом производства по переработке круглых лесоматериалов до 15 тыс. м<sup>3</sup> – стационарная или навесная с приводом от вала отбора

мощности (ВОМ) трактора дисковая рубильная машина производительностью 5–15 нас. м<sup>3</sup> в час; с годовым объемом переработки сырья 15–30 тыс. м<sup>3</sup> – стационарная дисковая рубильная машина или барабанная с приводом от ВОМ трактора рубильная машина производительностью 20–50 нас. м<sup>3</sup> в час; с годовым объемом переработки сырья 30–50 тыс. м<sup>3</sup> – стационарная дисковая рубильная машина или барабанная с приводом от автономного двигателя рубильная машина производительностью 40–100 нас. м<sup>3</sup> в час.

Вопрос о предпочтительной целесообразности выбора рубильной машины барабанного типа в качестве базового оборудования в намечаемых системах следует считать обоснованным при получении топливной щепы на производствах с годовым объемом переработки сырья (по круглым лесоматериалам) более 20 тыс. м<sup>3</sup>, например, в деревообрабатывающих цехах предприятий концерна «Беллесбумпром». При переработке отходов деревообработки в цехах малой мощности от 10 до 20 тыс. м<sup>3</sup> в год (предприятия Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь) целесообразно использовать навесную или стационарную рубильную машину дискового типа ввиду ее небольшой производительности и относительно невысокой стоимости.

На основании типов и марок оборудования, а также анализа и количественной оценки факторов его работы ниже сформированы варианты систем машин, обеспечивающих подачу исходного сырья, измельчение его в топливную щепу, транспортировку в борт, погрузку и доставку потребителю (табл. 1).

Таблица 1

**Системы машин для выработки топливной щепы из отходов деревообрабатывающих цехов**

Операция технологического процесса	Марка машины (оборудования)
<b>Системы машин № 1.1 и № 1.2 (до 15 тыс. м<sup>3</sup>)</b>	
Подача отходов к участку измельчения	КСЛ 4040-60
Измельчение отходов на топливную щепу	МРНП-10 (диск. стац. от электродв.)
	Farmi CH 160 (диск. навесн. от ВОМ трактора МТЗ-1221)
Транспортировка щепы в борт	пневмотранспорт
	КСЛ 4040-60
Погрузка щепы	Беларус П 10М
Доставка щепы потребителю	МТЗ-82.1 + ПСТ-9
<b>Системы машин № 2.1 и № 2.2 (15–30 тыс. м<sup>3</sup>)</b>	
Подача отходов к участку измельчения	КСЛ 4040-60
Измельчение отходов на топливную щепу	МРГ-20Б-1 (диск. стац. от электродв.)
	Беларус МР-25 (бараб. приц. от ВОМ трактора МТЗ-1221)
Транспортировка щепы в борт	пневмотранспорт
	КСЛ 4040-60
Погрузка щепы	Амкодор 342 С-03
Доставка щепы потребителю	МТЗ-82.1 + ПС-30

Окончание табл. 1

Операция технологического процесса	Марка машины (оборудования)
<b>Системы машин № 3.1 и № 3.2 (30–50 тыс. м<sup>3</sup>)</b>	
Подача отходов к участку измельчения	КСЛ 6550-80
Измельчение отходов на топливную щепу	МРН-40-1 (диск. стац. от электродвиг.)
	Беларус МР-40 (бараб. прицеп от авт. двиг.)
Транспортировка щепы в бурт	пневмотранспорт
	КСЛ 6550-80
Погрузка щепы	Амкодор 342 С-03
Доставка щепы потребителю	МТЗ-82.1 + ПС-30

Каждая система машин разбивается на подсистемы в зависимости от применяемой рубильной машины.

Кроме рубильной машины, в систему по производству топливной щепы из отходов деревообработки могут входить: ленточные транспортеры для подачи сырья к месту измельчения или тракторы с прицепом (при доставке сырья из нескольких цехов или перерабатывающих участков на расстояние до 200 м); пневмотранспортные установки для внутрицехового и внутрискладского транспорта щепы; сортировочные установки щепы (на производствах с годовым объемом переработки круглых лесоматериалов более 30 тыс. м<sup>3</sup>); оборудование для отгрузки щепы потребителю; машины для транспортировки топливной щепы.

Выбор наиболее эффективного оборудования применительно к конкретным условиям эксплуатации может выполняться путем сравнительного анализа его технико-экономических показателей с использованием выбора приоритетного показателя. Так, формирование системы машин осуществляется путем выбора любого конкретного значения из предлагаемого списка (однокритериальный выбор) или выбора нескольких показателей одновременно (многокритериальный выбор) характеристик рубильной машины как ведущей в системе.

Для подачи сырья в виде кусковых отходов к рубильным машинам наиболее целесообразно использовать ленточные конвейеры (например, серии КСЛ), которые имеют невысокую мощность и при непрерывности работы обеспечивают высокую производительность.

Данное оборудование также при необходимости может использоваться для транспортировки полученной топливной щепы к месту ее складирования и хранения. Кроме того, для этих целей могут применяться пневмотранспортные установки.

Выбор техники для погрузки (окучивания) топливной щепы целесообразно осуществить из перечня машин, используемых для строительных, карьерных и погрузочно-разгрузочных работ с другими видами материалов. Основными требованиями к ней являются высота погрузки топливной щепы не менее 4 м и возможность бы-

строй загрузки транспортного средства. При этом в первую очередь необходимо обращаться к номенклатуре машин и механизмов, производимых на заводах Республики Беларусь. В настоящее время наиболее распространенными видами машин, применяемыми на перечисленных работах, являются одноковшовые фронтальные погрузчики. Из выпускаемых одноковшовых фронтальных погрузчиков наиболее приемлемыми (соответствующими требуемым условиям эксплуатации) для выполнения заданных технологических операций и по соотношению «цена – качество» являются: Беларусь П 10М и Амкодор 342 С.

При выборе транспортных средств для перевозки топливной щепы рассмотрены возможные варианты выполнения работ:

- перевозка щепы потребителю магистральным транспортом по дорогам общего пользования;
- перевозка щепы по территории одного населенного пункта на расстояние 2–5 км от склада хранения основного запаса топливной щепы до потребителя.

При этом во всех случаях предусматривается самовыгрузка щепы у потребителя.

Наиболее целесообразными являются варианты, состоящие из следующих комплексов:

- для цехов с годовым объемом переработки по круглым лесоматериалам до 15 тыс. м<sup>3</sup> – МТЗ-82.1 + ПСТ-9;
- для цехов с годовым объемом переработки по круглым лесоматериалам 15–30 тыс. м<sup>3</sup> – МТЗ-82.1 + ПС-30;
- для цехов с годовым объемом переработки по круглым лесоматериалам 30–50 тыс. м<sup>3</sup> и при значительном расстоянии перевозки щепы до потребителя (30 км и более) – МАЗ-543202-2120 + САТ-105.

Данное сочетание машин и оборудования обладает достаточным уровнем гибкости (способностью перебазируются техниками между производствами подразделений в случаях изменения природно-производственных условий – расстояния транспортировки топливной щепы, мест и способов ее выгрузки; подвозки сырья, мест его концентрации, хранения и измельчения) и способствует более рациональной загрузке наличного парка применяемой техники.

Таблица 2

## Системы машин для выработки топливной щепы из отходов деревообрабатывающих цехов

Статьи калькуляции	Удельный вес по системам машин, %					
	№ 1.1	№ 1.2	№ 2.1	№ 2.2	№ 3.1	№ 3.2
1. Сырье и материалы	14,4	14,3	19,2	20,5	20,5	20,5
2. Возвратные отходы	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3. Заработная плата основных производственных рабочих	11,5	8,2	9,0	4,0	6,1	3,2
4. Отчисления на социальные нужды	4,0	2,8	3,1	1,4	2,1	1,1
5. Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования	37,8	44,1	38,0	38,0	28,7	35,2
6. Цеховые расходы	1,9	2,2	1,9	1,9	1,4	1,8
7. Общехозяйственные расходы	8,4	6,0	6,6	2,9	4,5	2,3
8. Прочие производственные расходы	2,0	2,3	2,0	2,0	1,5	1,8
9. Инновационный фонд	4,0	4,0	4,0	3,5	3,2	3,3
10. Прибыль	0,0	0,0	0,0	9,5	15,8	14,7
11. Единый платеж в местные целевые фонды	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
12. Сумма НДС	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3
13. Цена 1 м <sup>3</sup> топливной щепы с НДС	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Для оценки экономической эффективности разработанных систем машин определены инвестиции на их формирование, выполнены расчеты себестоимости и отпускной цены топливной щепы, а также определен удельный вес статей затрат в калькуляции отпускной цены топливной щепы по каждой системе машин (табл. 2).

Стоимость машин и оборудования включает: отпускную цену производителя, расходы на доставку (2–5%) и уплату налога на добавленную стоимость (18%). Списочное количество машин определялось для односменного режима работы с учетом: часовой и сменной производительности оборудования; количества рабочих дней в году; коэффициента технической готовности и коэффициента использования исправных машин.

Уровень отпускной цены топливной щепы был установлен в размере 62 тыс. руб./пл. м<sup>3</sup> на основании фактических данных о расчетах потребителей и поставщиков древесного топлива.

В целом результаты выполненной оценки позволяют сделать следующие выводы.

Наращивание объемов производства топливной щепы из отходов деревообработки (системы машин № 3) способствует снижению себестоимости выработки щепы по сравнению с системами машин № 1 и № 2 примерно на 31,6% и 16,1% соответственно. Основными факторами, вызвавшими данное снижение, являются рост производительности труда и, как следствие, снижение затрат на содержание и эксплуатацию оборудования и заработную плату на 1 пл. м<sup>3</sup>.

Трудоемкость производства топливной щепы зависит от степени механизации и автоматизации производства. Как правило, более вы-

сокую степень автоматизации производственного процесса позволяют получить мобильные системы машин, сформированные на базе рубильных машин барабанного типа.

Капиталоемкость производства топливной щепы зависит от сложности конструкции применяемых машин и оснащенности их средствами автоматики. Более значительные первоначальные объемы инвестиций, как правило, связаны с мобильными системами машин. В то же время за счет более высокой производительности удельная капиталоемкость в мобильных системах машин ниже.

Рост объемов производства топливной щепы позволяет снизить удельные затраты на содержание и эксплуатацию оборудования и заработную плату с начислениями. Поэтому организовывать производство топливной щепы целесообразно в местах концентрации отходов деревообработки при годовом объеме переработки пиловочника не менее 15 тыс. пл. м<sup>3</sup>.

Для измельчения отходов лесопиления и деревообработки на топливную щепу одинаково эффективно могут применяться как мобильные, так и стационарные рубильные машины с дисковым и барабанным механизмом резания. В этой связи окончательное решение о формировании и приобретении той или иной системы машин должно приниматься исходя из конкретных природно-производственных условий на основании разработки соответствующего технико-экономического обоснования.

**Заключение.** Предлагаемый подход к решению актуальных практических задач развития лесного комплекса позволит:

– повысить глубину переработки древесины путем использования щепы для производства обгаороженного древесного топлива;

– увеличить степень комплексности использования древесного сырья на деревообрабатывающих предприятиях на 20% за счет вовлечения в процесс переработки древесных отходов;

– адаптировать производство топливной щепы из отходов деревообработки на основе традиционных систем машин к международным соглашениям и инициативам;

– повысить уровень механизации работ на стадии измельчения отходов деревообработки;

– создать дополнительные рабочие места и улучшить социальные условия труда;

– снизить отрицательное воздействие энергетического сектора на окружающую среду и повысить энергобезопасность республики.

### **Литература**

1. Федоренчик, А. С. Практикум по технологии и оборудованию комплексного использования древесины / А. С. Федоренчик, С. П. Мохов, Д. В. Клоков. – Минск: БГТУ, 2004. – С. 5–7.

2. Никишов, В. Д. Комплексное использование древесины / В. Д. Никишов. – М.: Лесная пром-сть, 1985. – 246 с.

*Поступила 01.04.2010*