УДК 330.341

©**Мачина Анна Евгеньевна** – старший преподаватель кафедры ИБМ5 «Финансы» МГТУ им. Н.Э. Баумана, город Москва, улица Бауманская 2-я, дом 5, строение 1, 105005, Российская Федерация, ann.e.mach@bmstu.ru

**ORCID: 0000-0001-9506-8099**

©**Machina Anna Evgenievna** - senior lecturer of Engineering Business and Management faculty (EBM5) Bauman Moscow State Technical University (BMSTU), Moscow, Baumanskaya 2-ya Street, 5, building 1, 105005, Russian Federation, [ann.e.mach@bmstu.ru](mailto:ann.e.mach@bmstu.ru)

**Экономико-математические модели управления производством биотоплива из отходов лесопромышленного комплекса.**

**Economic and mathematical models for managing the production of biofuels from waste from the timber industry.**

**Аннотация.**

Актуальность исследования обусловлена растущим спросом на возобновляемые источники энергии. **Целью** работы является разработка комплексной инновационной технологии управления производством биотоплива из отходов лесопромышленного комплекса (ЛПК). Разработка системы управления отходами, образующимися в процессе производства биотоплива и оценка топливно-энергетической эффективности разработанной технологии, являются основными **задачами** статьи. Предлагаемая технология основана на экономико-математических моделях для оптимизации топливно-энергетической эффективности с учетом логистических и ресурсных ограничений, а также на принципах экологической ответственности и международных климатических соглашений. **Методологической** базой выступает авторская разработка, включающая методы нелинейного программирования, системного анализа и информационного подхода к анализу систем, технологических процессов, норм и нормативов лесопромышленного комплекса. **Вывод:** определены оптимальные параметры работы предприятий ЛПК, обеспечивающие превышение удельной тепловой энергии производимого биотоплива над тепловой энергией, затраченной на его переработку. **Результаты** исследования могут быть использованы для повышения эффективности и устойчивости производства биотоплива из отходов лесопромышленного комплекса.

**Ключевые слова:** биотопливо, экономико-математическая модель, топливно-энергетическая эффективность, нелинейное программирование, древесные топливные гранулы.

В настоящее время предприятия лесопромышленного комплекса (ЛПК) Российской Федерации производят 68-74 млн. м3 древесных отходов и вторичного сырья, а используют и перерабатывают при этом не более 48-58%. Иными словами, около 30-36 млн. м3 отходов древесины утилизируются безвозвратно, в то же время, как показывает опыт других стран [1,9,13], их целесообразно использовать в энергетических целях, что определяет актуальность настоящего исследования.

Конечный продукт топливно-энергетического назначения из отходов лесопромышленных предприятий в виде брикетов различной формы и размера. Отходы первичного производства являются сырьём для производства древесного биотоплива (ДБиоТ). На стадии производства из отходов основного производства создаётся дополнительная добавочная стоимость. На примере деревообрабатывающего производства покажем её формирование:

1. На первичном (основном) производстве пиломатериалов формируется добавочная стоимость, как и на любой продукт, полученный в процессе производства.
2. После производства пиломатериалов остаются отходы, из которых изготавливается ДБиоТ. В процессе создания нового продукта (древесные топливные гранулы, брикеты, пеллеты) формируется ещё одна добавочная стоимость.
3. В результате получается, что на один и тот же исходный материал формируются две добавочные стоимости на первичном (основном) производстве и производстве из отходов первичного производства (вторичном производстве).

Согласно Федеральному закону от 14.07.2022 № 268-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и  
потребления»» [6] и международной практике повторного вовлечения отходов обратно в процесс производства (рециклинга) предприятия лесопромышленного комплекса обязаны утилизировать отходы производственной деятельности. Утилизация отходов увеличивает себестоимость готовой продукции в части переменных затрат, тем самым снижает прибыль предприятия. Штрафы за несанкционированные свалки древесных отходов в лесных зонах достаточно велики, что также негативно сказывается на деятельности компании и её репутации [1]. Разработанная в настоящем исследовании инновационная технология производства биотоплива из отходов производства ЛПК позволяет направлять отходы на вторичную переработку и получение нового продукта, благодаря чему предприятие получает двойной экономический эффект вне зависимости от конкретного первичного производства.

При создании организационно-экономической модели управления производством ДБиоТ необходимо стремиться к максимальной энергетической эффективности на каждом этапе жизненного цикла продукта: от заготовки и подготовки сырья до его переработки и конечного использования. Это предполагает выбор наиболее энергоэффективных технологий, оборудования и логистических решений, а также создание результативных систем управления отходами. В частности, организация использования древесных отходов в качестве сырья для производства топлива требует тщательного анализа с точки зрения топливно-энергетической целесообразности.

В качестве индикатора топливно-энергетической эффективности будем рассматривать коэффициент энергетической полезности (КЭП),который определим, как отношение величины тепловой энергии в единице объёма топлива (*Qg*) к величине тепловой энергии, затраченной на переработку этого топлива как энергоносителя на этапах производства биотоплива (*Qn*):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

где: *Qg* - высшая теплота сгорания топлива из древесины; *Qn* – сумма операций производственного процесса (*Q1-Q5*) по сбору отходов, их доставке к пунктам переработки и производства ДБиоТ с функциональной зависимостью от параметров, характеризующих данный технологический процесс. В каждой функции набор параметров может отличаться как по количеству, так и по своему влиянию на конкретную операцию производственного процесса.

На базе работ [4,7] с учётом опыта специалистов по управлению производством ДБиоТ, работ по оценке энергоёмкости прессования древесного сырья при производстве биотоплива, определению влажности исходного сырья, логистике, оценке опыта регионов [5,8] разработаны схемы технологического процесса производства ДБиоТ, представленные на рис. 1-3.

Для разработки организационно-экономического механизма управления производством биотоплива из отходов ЛПК рассмотрим процесс управления производством с позиций энергетической и экономической эффективности и выделим следующие варианты накопления отходов:

* на площади лесозаготовительных работ (D1);
* на лесопогрузочных пунктах (D2);
* на деревообрабатывающих производствах (D3).

Определение энергозатрат устанавливается на основании принятого технологического процесса, машин и оборудования, задействованных в этом процессе с использованием норм и нормативов, сложившихся в ЛПК. Изготовление ДТГ, пеллет или брикетов различного размера и формы может осуществляется на одних и тех же поточных линиях при замене гранулятора на пресс-гранулятор или иной механизм брикетирования. В общем виде определение КЭП в производстве ДБиоТ как энергоносителя включает от четырёх до пяти этапов (Q1-Q5) в зависимости от места накопления отходов: на лесозаготовительных работах (D1-D3).

Измельчение отходов на территории лесосеки Q1. Этап 1

Сбор порубочных остатков и прочей неликвидной древесины Q2. Этап 2

Перевозка отходов на производство Q3. Этап 3

Сушка и подготовка к брикетированию Q4. Этап 4

Брикетирование (выбор формы и размера) Q5. Этап 5

Лесозаготовки по всем видам рубок

Отходы от лесозаготовительной деятельности

Неликвидная древесина на территории лесосеки

Рисунок 1 - Схема технологического процесса производства ДБиоТ из отходов лесозаготовительной деятельности (D1). Источник: составлено автором

Таким образом, согласно критерию принятия управленческого решения и формулам (2) -(4), которые представлены в табл. 1, имеем экономико-математические модели, максимизирующие КЭП в зависимости от места образования отходов, влажности исходного сырья и расстояния до пункта производства ДБиоТ, что даёт возможность управлять производством на основе оценки топливно-энергетической эффективности конечного продукта для различных вариантов и этапов производства из отходов ЛПК.

Критерий принятия управленческого решения заключается в необходимости превышения величины (Qg) над величиной энергии, затраченной на переработку этого топлива как энергоносителя на различных этапах его производства (Qn) с резервом, который согласно теории управления, должен быть не менее 10-15%, следовательно, минимальное значение КЭП, принимаемое в экономико-математических моделях, равно 1,15.

Выбраковка древесины

Измельчение отходов на территории ЛПК Q1. Этап 1

Перевозка отходов на производство Q3. Этап 3

Сушка и подготовка к брикетированию Q4. Этап 4

Брикетирование (выбор формы и размера) Q5. Этап 5

Приём и складирование древесины на лесопогрузочном пункте

Приём отходов от лесозаготовительной деятельности

Рисунок 2 - Схема технологического процесса производства биотоплива из отходов, накопленных на лесопогрузочных пунктах (D2) Источник: составлено автором.

Таблица 1

Инновационная технология управления производством биотоплива из отходов ЛПК. Источник: составлено автором

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Вариант накопления отходов | | Экономико-математическая модель управления производством биотоплива из отходов ЛПК |
| Наименование | Условное обозначение |
| Получение сырья путём сбора отходов от лесозаготовительных работ | D1 | (2) |
| Получение сырья на лесопогрузочном пункте | D2 | (3) |
| Получение сырья из отходов деревообрабатывающих предприятий | D3 | (4) |

Рисунок 3 - Схема технологического процесса производства ДБиоТ из отходов деревообрабатывающих производств (D3). Источник: составлено автором

Измельчение отходов деревообрабатывающего производства Q1. Этап 1

Перевозка отходов на производство Q3. Этап 3

Сушка и подготовка к брикетированию Q4. Этап 4

Брикетирование (выбор формы и размера) Q5. Этап 5

Производство пиломатериалов, мебели, фанеры

Отходы деревообрабатывающего производства

**Заключение**

Разработанная экономико-математическая модель, основу которой представляет технологический процесс производства ДБиоТ из отходов ЛПК, даёт возможность предприятиям:

а) принимать оптимальные управленческие решения в управлении производством ДБиоТ, в частности, создать на базе первичных производств ЛПК предприятия по переработке отходов в биотопливо, что даст дополнительную добавочную стоимость и снизит затраты на утилизацию отходов;

б) оценить энергозатраты при заданных сценариях и скорректировать управление производством ДБиоТ, анализируя полученные данные с применением индикатора топливо-энергетической эффективности.

Экономико-математическая модель управления производством биотоплива из отходов ЛПК может быть использована для повышения точности, эффективности и обоснованности управленческих решений в интересах развития предприятия, повышения рентабельности его деятельности, улучшения логистики, производительности труда и модернизации оборудования.

Направлениями дальнейших исследований по проблематике исследования являются: эффективность производства брикетированных отходов лесопромышленных производств необходимо рассматривать с позиций не только энергетической, но и экономической эффективности; совершенствование управления производством ДБиоТ путём снижения энергозатрат с учётом сезонности сбора отходов, состояния и проходимости лесных дорог, концентрации отходов; адаптация разработанной в статье экономико-математической модели на всех предприятиях ЛПК; включение разработанного экономико-математического инструментария в единую информационно-аналитическую систему управления производством , его взаимодействие с широко используемыми прикладными программными продуктами.

**Список литературы:**

1. Безруких, Ю.А. Рациональное природопользование в условиях устойчивого развития экономики промышленных предприятий лесного комплекса / Ю.А. Безруких, С.О. Медведев, [и др.] // Экономика и предпринимательство. 2014. № 12-2 (53-2). С. 994-996.
2. Костырин Е.В., Соколов Е.В., Руднев К.В., Фролов М.А. Инновационные финансовые технологии развития экономики России // Экономика и управление: проблемы, решения. 2023. № 6, Том 3. С. 109-121.
3. Медведев, С.О. Устойчивое развитие лесопромышленных предприятий: модели, инструменты и показатели: монография / С.О. Медведев,  
   Ю.А. Безруких, Ю.Д. Алашкевич, В.В. Зозуля. М.: Издательский дом «Финансы и Кредит», 2016.С160.
4. Михеевская М.А., Друзьянова В.П., Бурмистрова Д.Д., Швецова В.В., Марков О.Б., Ильюшенко Д.А. Энергоёмкость прессования древесного сырья при производстве биотоплива // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. № 241. С. 207-217.
5. Парфиненко Т.В., Суворова Л.А. Использование потенциала производства биотоплива как фактор устойчивого развития предприятий ЛПК региона / Сборник статей ХIII Международной научно-практической конференции. Абакан, 2022. С. 237-239.
6. Федеральный закон от 14.07.2022 г. № 268-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления»» [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс: справ. прав. система: офиц. сайт / URL: http: // www.consultant.ru / data.html (дата обращения 05.02.2025 г.).
7. Федоренчик, А.С. Биотопливо из древесного сырья / А.С. Федоренчик, Н.И. Кожухов, В.Д. Никишов / М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2010. С 30-38.
8. Фокин С.В., Фомина О.А. О проектировании перспективной конструкции рубительной машины для измельчения отходов лесозаготовок / В сборнике: инновационные перспективы Донбасса. Материалы 8-й Международной научно-практической конференции. Донецк, 2022. С. 13-17.
9. Информационно-аналитическое агентство «ИНФОБИО». Журнал «Международная биоэнергетика». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.infobio.ru> (дата обращения 22.02.2025)
10. Gubiy, Elena & Maysyuk, Elena. (2023). Ecological and Economic Assessment of the Use of Wood Fuel for Heat Supply Purposes. 10.1007/978-3-031-28978-1\_4.
11. Höglund, Jonas. (2023). The Swedish fuel pellets industry: production, market and standardization.