

Как видно из таблицы 3, при добавлении отходов растениеводства к торфу наблюдается тенденция снижения удельного расхода топлива на производство тепловой энергии. Так, увеличение содержания отходов растениеводства: льнокостры, соломы рапса, соломы зерновых в композитном топливе от 10% до 50% приводит к уменьшению расхода топлива на 7,7%, 5,6% и 4,9% соответственно.

В работе также проведены исследования по определению способности к прессованию льнокостры, соломы рапса, соломы зерновых и торфа с целью получения композитных топливных брикетов. Получение экспериментальных образцов композитных топливных брикетов осуществлялось на лабораторном прессе ПСУ-125. Механический процесс прессования исходного сырья на прессе ПСУ-125 осуществлялся в специальной пресс-форме, состоящей из цилиндрической матрицы и штемпеля. Процесс прессования всех видов исходного сырья производился в матрице, диаметр которой составлял 35 мм, а высота – 100 мм. Перед прессованием отходы растениеводства подвергались дроблению, а затем производилось взвешивание исходного сырья. Масса навески материала, засыпаемого в матрицу для получения композитных брикетов (торф – льнокостра, торф – солома рапса, торф – солома зерновых) включала 5 г торфа и 5 г отхода растениеводства. Проведенные экспериментальные исследования по брикетированию показали, что льнокостра, солома рапса, солома зерновых обладают способностью к прессованию для получения топливных брикетов, как в чистом виде, так и в качестве компонента композитного топлива.

Результаты определения основных топливных свойств: влажности, зольности, а также теплоты сгорания позволяют обосновать возможность использования отходов растениеводства (льнокостры, соломы рапса, соломы зерновых) в качестве компонентов композитного топлива. Они обладают достаточно высокой теплотворной способностью, невысокой влажностью (до 25%). При добавлении данных компонентов к торфу теплота сгорания композитного топлива выше, чем у чистого торфа. Увеличение содержания отходов растениеводства: льнокостры, соломы рапса, соломы зерновых в композитном топливе от 10% до 50% приводит к уменьшению удельного расхода топлива при производстве тепловой энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная программа «Энергосбережение» на 2021–2025 гг. Утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 24.02.2021 г. №103.
2. Сельское хозяйство Республики Беларусь. Статистический сборник. – Мн., 2021. – 179 с.
3. СТБ 2042-2010 Торф. Методы определения влаги и зольности.
4. ГОСТ 147-2013 Топливо твердое минеральное. Определение высшей теплоты сгорания и расчет низшей теплоты сгорания. – М., 2019. – 52 с.
5. Казаченко Г.В. Горные машины. В 2 ч. Ч. 2. Машины и комплексы для добычи полезных ископаемых / Г.В. Казаченко, В.Я. Прушак, Г.А. Басалай: под общ. ред. В.Я. Прушака. – Минск, Вышэйшая школа, 2018. – С. 197–224.

ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ И ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НОВЫХ ВИДОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

THE PRACTICAL EXPERIENCE AND ESTIMATION OF PERSPECTIVE FOR INTRODUCTION OF INNOVATIONAL SOURCES OF RENEWABLE ENERGY IN BELARUS

Х. Броцкий¹, Г. Э. Мазейко¹, О. И. Родькин^{2,3}

H. Brocky¹, G. Mazeyko¹, A. Rodzkin^{2,3}

¹ООО «Ляховичская вербочка», Брестская область, Беларусь

gromisk@interia.pl, gmazeyko@mail.ru,

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

aleh.rodzkin@rambler.ru

³Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

¹LLC “Lyahovichskaya verbochka”, Brest region, Republic of Belarus

² International Sakharov Environmental Institute Belarusian State University, ISEU BSU, Minsk, Republic of Belarus

³Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

Одним из перспективных направлений для развития и внедрения новых источников возобновляемой энергетики является выращивание быстро растущей энергетической ивы рода *Salix*. Предприятие ООО «Ляховичская вербочка» является первым в стране ориентированным на производство быстрорастущих

древесных энергетических культур на основе ивы. Предприятие существует с 2017 года и площади плантации ивы, в том числе на основе отечественных сортов превышают 150 гектаров. По результатам наших исследований и практического опыта можно сделать выводы о значительных перспективах и возможности для более широкого внедрения плантаций ивы в Республике Беларусь. Такой подход предполагает расширение сфер ее использования с учетом биологических и экологических аспектов.

One of the promising areas for the development and implementation of new sources of renewable energy is the cultivation of a rapidly growing energy willow of the genus *Salix*. LLC “Lyahovichskaya verbochka”, is the first enterprise in the country focused on the production of fast-growing woody energy crops based on willow. The enterprise has existed since 2017 and the plantation area of willow, including those based on domestic varieties, exceeds 150 hectares. Based on the results of our research and practical experience, we can draw conclusions about significant prospects and opportunities for a wider introduction of willow plantations in the Republic of Belarus. This approach involves expanding the scope of its use, taking into account biological and environmental aspects.

Ключевые слова: энергетическая ива, теплота сгорания топлива, экономика, экологические аспекты, биологические аспекты.

Keywords: energy willow, calorific value of fuel, economy, environmental aspects, biological aspects.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-236-240>

Актуальной задачей, стоящей перед государством, является сокращение потребления слишком дорогого импортного топлива – природного газа и нефти – и поиск собственных альтернативных возобновляемых источников энергии с одновременным решением экологических проблем и развитием энергосберегающих технологий.

Целью развития новых видов возобновляемой энергетики на базе нашего предприятия является выращивание быстро растущей энергетической ивы рода *Salix*. Это предполагает производство биомассы и саженцев для дальнейшего размножения, реализацию продукции на внутренних рынках Беларуси организациям и физическим лицам, экспорт продукции в другие страны. Такой подход соответствует реализации Указа Президента Республики Беларусь от 18 мая 2015 года № 209 «Об использовании возобновляемых источников энергии» [1].

Для реализации вышеназванных задач в июле 2017 года было создано первое в Республике Беларусь предприятие ориентированное на производство быстрорастущих древесных энергетических культур ивы – ООО «Ляховичская вербочка». Предварительно были проведены согласования с Министерствами сельского и лесного хозяйства, Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды и другими государственными учреждениями Республики Беларусь, на предмет соответствия действующим нормативным правовым актам.

Ивовые плантации предприятия располагаются на площади свыше 150 га, в Ляховичском районе, Брестской области на низко продуктивных, торфяных, заболоченных землях, засоренных многолетними сорняками, кустарниками, деревьями. Для закладки плантаций использован посадочный материал сортов ивы белой (*Salix alba*) сербско-белорусской селекции и шведских сортов ивы корзиночной (*Salix viminalis*). В Государственный Реестр сортов Республики Беларусь уже включены три сорта (Бачка, Волмянка и Дрина) созданные совместно сербскими и белорусскими селекционерами [2]. Эти сорта, как показали наши результаты, не уступают, а даже превосходят по продуктивности сорта западноевропейской селекции. Предприятие планирует дальнейшее размножение преимущественно отечественных сортов ивы, что позволит значительно снизить себестоимость посадочного материала и сделать выращивание древесины более рентабельным производством в будущем.

В зависимости от места произрастания и способа выращивания ива является одновременно культурным (сельскохозяйственным) растением и природным (лесным). Ива представляет собой не один вид, а целое семейство растений, представленное кустарниковыми и древесными формами, от одного метра до нескольких (более 10) метров высоты. Плантации на основе ивы перерабатывает солнечную энергию в энергию биомассы, и одновременно являются эффективным генератором и аккумулятором энергии.

Понятие энергетической ивы появилось в 90 годах XX века в связи с ее основным способом использования в энергетике. Однако, цель выращивания и значение быстрорастущей энергетической ивы должно быть определено значительно шире с учетом многих аспектов: биологических, технологических, утилитарных и экономических.

Биологический аспект заключается в том, что сорта быстрорастущей, энергетической ивы являются результатом отбора и формирования многих ее разновидностей с разными сортовыми качествами с целью получения эффекта с ожидаемыми параметрами, такими как:

- высокая динамика годового прироста биомассы;
- стабильность этого прироста во времени;
- хорошая адаптация к различным условиям (почвенным и климатическим);
- высокий иммунитет к болезням и вредителям;
- упрощенная технология выращивания;
- возможность использования универсальных сельскохозяйственных машин;
- низкая потребность в минеральных и органических удобрениях;
- низкое использование пестицидов в период эксплуатации плантации;
- нейтральное или даже позитивное влияние на окружающую среду.

Эти характеристики обуславливают низкие затраты на выращивание ивы, а значит и высокую конкурентоспособность по сравнению с другими сельскохозяйственными культурами и другими видами топлива при энергетическом использовании биомассы.

И быстрорастущая энергетическая ива в значительной степени соответствует таким требованиям. Получены сорта растений ивы, прирост которых на пике вегетативного сезона составляет от 3 до 5 см в течение суток и 2-3 метра в течение вегетационного сезона. Достигнута производительность 60 тонн с га/год, которая остается стабильной на протяжении 25-30 лет [3]. Эти показатели, конечно, зависят от климата, состава почвы и применяемых технологий.

Ива принадлежит к растениям умеренного климата, ее выращивают в таких странах как: Франция, Япония, Финляндия, Греция, Польша, США, Канада, Австралия и Новая Зеландия и т.д. Растет она и в горных районах Гималаев, на низких землях Голландии, на песчаных почвах Швеции, на глинистых почвах Германии и на торфяниках Украины [4].

Пластичность ивы позволяет успешно выращивать ее на деградированных почвах, где невозможно выращивание других сельскохозяйственных культур. Площадь таких территорий составляет около 40 млн га в России, и около 1 млн га в Беларуси. И это является огромным потенциалом по сравнению с доступными и очень ограниченными территориями для выращивания ивы в странах Евросоюза.

В настоящий момент основной областью применения ивы является энергетика, что обусловлено высокой удельной теплотой сгорания биомассы. Теплотворная способность древесины ивы при влажности около 50 % составляет 9 GJ/t, что соответствует условиям сгорания "прямо с поля" и зависит от технологии уборки и сроков поставки в котельные установки. Биомасса ивы в качестве сырья для производства энергии на энергетических установках может быть использована в виде:

- прутьев – срезанных при помощи пил, кос, косилок и сноповязалок;
- тюков – собранных при помощи гибрида косилки и прессы или «биобэйлера»;
- измельченной биомассы – при уборке комбайном для сахарного тростника;
- щепы – срезанной при помощи разнообразных адаптированных комбайнов на базе машин используемых для уборки кукурузы на силос.

Технология уборки обуславливается необходимостью использования определенного сырья для конкретных котельных установок. В настоящее время, все чаще используются гибридные инсталляции, которые одновременно производят и тепловую, и электрическую энергию, что значительно повышает их экономическую эффективность.

Высокая экономическая эффективность выращивания ивы так же является результатом возможности использования органических удобрений на основе сточных вод из коммунальных очистительных сооружений и золы из котельных установок, что запрещено для сельскохозяйственных культур используемых на продовольственные цели.

Непосредственное использование ивы для энергетических целей исходит из возможности переработки ее на следующие виды топлива:

- твердое – пеллеты, брикет, древесный уголь,
- жидкое – биоэтанол, бутанол,
- газообразное – газ синтетический, являющийся замещением природного газа и LPG, а так же газ ферментационный.

Калорийность биомассы энергетической ивы можно сравнить с калорийностью природного газа или нефти и нефтепродуктов, а также с каменным углем. Калорийность сухой древесины ивы составляет около 19 GJ/t, а свежесрезанной или прямо с поля около 9-9,5 GJ/t (подобную калорийность имеет торф).

Одна тонна свежей энергетической ивы по удельной теплоте сгорания соответствует:

- 0,240 т мазута;
- 250 м куб природного газа;
- 0,4 т каменного угля.

Ива является сырьем климатически нейтральным в аспекте получения энергии, что является более ценным для возможности ее использования в следующих видах производства:

- в целлюлозо-бумажном – для производства бумаги различного назначения;
- в упаковочном – ящики, корзины;
- в мебельном – плетеная мебель, плиты ДСП, МДФ;
- в химическом – бутанол и биогаз, а также различные продукты данного происхождения;
- в легкой промышленности для производства вискозы;
- в обувной промышленности – для обработки кожи;
- в фармацевтической – не только для получения аспирина, но также сотен видов различных лекарств для лечения десятков болезней.

Быстрорастущая ива при использовании на энергетические цели может в перспективе заменить лесную древесину и торф, за счет высокой урожайности и темпов роста. Торф образуется несколько сот лет, лес вырастает в течение нескольких десятков лет, а энергетическую иву можем собирать уже через 3-4 года. После срезки энергетическая ива регенерируется и отрастает, что значительно упрощает ее возделывание. После однократной

посадки плантацию можно эксплуатировать в течение 25-30 лет. Ива есть сырьё абсолютно возобновляемое, а сэкономленную лесную древесину можно использовать на более выгодные для экономики цели.

Ива нуждается в гербицидах только в процессе посадки и первоначального роста, не дольше чем второго года выращивания, что значительно уменьшает воздействие на почву по сравнению с однолетними энергетическими культурами. Сжигание биомассы энергетической ивы генерирует столько парниковых газов (в том числе перекиси водорода) сколько потребляет в течение периода роста. Это значит, что мы получаем сырьё климатически нейтральное, и, заменяя природный газ и нефть в процессе сжигания древесины, косвенно уменьшаем выброс парниковых газов.

Новой областью использования энергетической ивы является употребление ее биомассы в качестве корма для скота. Использование листьев и веток древесных и кустарниковых видов ивы в качестве корма для сельскохозяйственных животных практиковалось еще во времена СССР. В настоящее время во всем мире этот подход все чаще находит новое применение. Для кормления животных непосредственно используют свежую сечку из биомассы ивы, а так же силос после его переработки, в качестве добавки или как комплексный корм. По калорийности такой корм приравнивается к традиционным видам, зачастую превышая последние содержанием некоторых полезных составляющих.

Биомасса ивы может использоваться в качестве корма, например для:

- коз – улучшается их общее состояние и молочность;
- овец – происходит улучшение качества шерсти (руна), ягнята лучше растут,
- молочных коров – увеличивается молочность, уменьшается использование антибиотиков, что положительно отражается на качестве молока и молочных продуктов;
- мясного скота – прирост веса, улучшение общего состояния и товарной зрелости. Добавление ивы в корма КРС позволяет уменьшить на 30-50% выделение парниковых газов в атмосферу.

Следует упомянуть, что ивой могут питаться и дикие животные: косули, олени, лоси, дикие свиньи и зубры. Поэтому сегодня в зоопарках иву используют как добавку к корму. В ветеринарии используют иву для лечения артрита у животных. Использование ивы для птицеводства снижает потребность в антибиотиках, оказывая положительное влияние на качество мяса и несущую способность кур.

Важным фактором является раннее весеннее цветение ивы, что имеет особое значение для пчеловодства. По оценкам экспертов пчелы могут собрать до 100 кг нектара с 1 га плантации ивы.

При этом выращивание ивы на промышленных плантациях является экологически целесообразным по следующим причинам:

- срок эксплуатации плантации без снижения продуктивности ивы составляет не менее 7 уборочных циклов, то есть 22 года. При этом средства защиты растений (гербициды) вносятся только при закладке плантации. Основной объем внесения минеральных удобрений также вносится при закладке плантации. Дополнительное внесение может осуществляться локально при необходимости, но не чаще чем 1 раз за трехлетний период. Теплоотдача при сгорании щепы полученной с плантаций ивы древесины в котлах составляет – 4500 ккал/кг, в отличие от материала других лиственных пород у которых теплоотдача составляет - 2500 ккал/кг.

- плантации энергетической вербы идеально подходят для рекультивации загрязненных земельных участков и земель, малопродуктивных (залежных земель) с точки зрения выращивания сельскохозяйственных культур [5]. Она обогащает почву макро и микроэлементами, питательными веществами природного происхождения, растения являются природными фильтрами для удаления отходов агропромышленного производства, например, сточных вод;

Быстрорастущая энергетическая ива является естественным фильтром для очистки почв от пестицидов и имеет достаточно высокие способности к поглощению тяжелых и редких металлов, таких как свинец, медь, цинк, никель, хром и другие. При этом древесина может использоваться в качестве топлива без ограничений в соответствии с существующими нормативами;

Ива способна хорошо произрастать и обеспечивать высокий выход биомассы на низко плодородных и засоренных землях. Выращивание ивы позволит не только получать продукцию, но и обеспечить биологическую рекультивацию таких земель, создание плантаций ивы позволяет уменьшить нагрузку на окружающую среду.

По результатам наших исследований и практического опыта выращивания энергетической ивы можно сделать следующие выводы:

Существуют значительные перспективы и возможности для более широкого внедрения плантаций ивы в Республике Беларусь. Такой подход предполагает расширение сфер ее использования с учетом биологических аспектов, оптимизации технологии ее выращивания и направлений применения в секторе экономики страны.

В Западной Европе барьером для роста площадей плантаций энергетической ивы является конкуренция между продовольственной безопасностью и безопасностью энергетической в условиях территориальной ограниченности. Такой проблемы нет в Беларуси, так как под плантации можно использовать сотни тысяч гектаров площадей выработанных торфяников, а также загрязненных и деградированных почв. Плантации ивы на выработанных торфяниках могут поддерживать производство для возобновляемой энергии, сельхозпродукции, в том числе разведение КРС, лекарственного и другого сырья.

Для внедрения плантаций ивы Республика Беларусь располагает:

- соответствующими биологии растений климатическими условиями;
- большими территориями, пригодными для плантаций энергетической ивы;

- развитым машиностроением для производства сельхозтехники;
- квалифицированным кадровым потенциалом.

Беларусь в относительно короткое время и при небольших затратах может стать лидером в производстве энергетической ивы в Европе и странах СНГ. Это дополнительный источник местной и возобновляемой энергии для экономики страны. Рост площадей плантаций ивы будет не только генератором и аккумулятором энергии, но и двигателем народного хозяйства Беларуси. Для эффективной реализации такого подхода необходимо выработать механизмы для создания оптимальных условий по развитию и распространению опыта выращивания энергетической ивы в Республике Беларусь и странах СНГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Указ Президента Республики Беларусь от 18 мая 2015 года № 209 «Об использовании возобновляемых источников энергии». Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P31500209&p1=1> Дата доступа: 28.02.2023.
2. Государственный реестр сортов и древесно-кустарниковых пород / М-во сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь, Гос. инспекция по испытанию и охране сортов растений. – Минск : Минсктиппроект, 2013. – 248 с.
3. 358. Willow biomass producer's handbook / L. P. Abrahamson [et al.]. – Syracuse : State Univ. of New York, College of Environmental Science a. Forestry, 2002. – 31 p
4. Reviewing wood biomass potentials for energy in Europe: the role of forests and fast growing plantations / B. Mola-Yudego [et al.] // Biofuels. – 2017. – Vol. 8, № 4. – P. 401–410.
5. Родькин, О. И. Оценка эффективности использования быстрорастущих древесных культур для фиторемедиации загрязненных экосистем / О. И. Родькин // Вестн. ИРГСАХ. – 2018. – Вып. 84. – С. 40–50.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СЖИГАНИЯ НИЗКОКАЧЕСТВЕННОЙ БИОМАССЫ НА ОСНОВЕ «ТОРФ-ТРОСТНИК-ИВА» ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE BURNING OF LOW-QUALITY BIOMASS BASED ON PEAT-REED-WILLOW FOR ENERGY PURPOSES

В. А. Пашинский^{1,2}, А. А. Бутько^{1,2}

V. A. Pashynski^{1,2}, A. A. Butko^{1,2}

¹Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ
г. Минск, Республика Беларусь
pashynski@mail.ru

²Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

¹International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, Republic of Belarus

²Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

Рассмотрены процессы производства топливных брикетов и пеллет, а также существующая нормативная база в области регулирования качества топливных брикетов и пеллет. Разработаны марки смесевых брикетов и пеллет на основе топлив торф, тростник и ива, а также определены их показатели качества и теплотехнические характеристики, в зависимости от массовой доли компонентов в брикетах и пеллетах. Произведена экологическая оценка сжигания биомассы на основе «торф-тростник-ива».

The processes of production of fuel briquettes and pellets, as well as the existing regulatory framework in the field of regulating the quality of fuel briquettes and pellets are considered. Brands of mixed briquettes and pellets based on peat, reed and willow fuels have been developed, and their quality indicators and thermal characteristics have been determined, depending on the mass fraction of components in briquettes and pellets. An environmental assessment of biomass combustion based on «peat-reed-willow» was carried out.

Ключевые слова: топливо, торф, тростник, ива, деревья с коротким периодом выращивания, брикеты, пеллеты, биотопливо твердое, смешанное биотопливо, древесная биомасса, энергетическая культура.

Keyword: fuel, peat, reed, willow, trees with a short growing period, briquettes, pellets, solid biofuels, mixed biofuels, woody biomass, energy crops.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-240-244>