

- 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. ИрГСХА. – 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>

Из-за создаваемой угрозы изменения климата, неустойчивого рынка ископаемого топлива и необходимости независимого энергоснабжения для поддержания экономического развития все требует необходимости в устойчивых и возобновляемых энергетических ресурсах [1]. Биомасса является наиболее распространенной формой возобновляемой энергии и представляет наибольшую возможность в качестве сырья для биотоплива [2]. Все виды древесной биомассы, сельскохозяйственных отходов и энергетических культур являются подходящим сырьем для производства топливных гранул (пеллет) и брикетов [1,2]. Пеллеты и брикеты являются ключевой технологией для увеличения использования биомассы как в производстве электроэнергии, так и в производстве тепла, в то время как исследования, проведенные Styles et al., 2008 показали, что биомассы биоэнергетической энергии для производства электроэнергии и тепла могут продемонстрировать значительную экономию выбросов парниковых газов. Это связано с тем, что биомасса является нейтральной по отношению к CO_2 , выброс CO_2 во время сжигания происходит из CO_2 , потребляемого биомассой (замкнутый углеродный цикл), следовательно, никакого увеличения общих выбросов CO_2 не происходит.

В ходе исследований проводилось энергетическое обоснование использования биомассы на основе смеси топлив торф, тростник и ива [1,2] в качестве котельного топлива.

При проведении энергетического обоснования использования данного топлива, был решен ряд задач, такие как:

- изучение нормативной базы, определяющей требования к качеству топлива;
- разработка марок смесевых брикетов и пеллет на основе смеси топлив торф, тростник и ива;
- разработка показателей качества брикетов и пеллет в зависимости от массовой доли компонентов марки;
- анализ основных теплотехнических характеристик марок смесевых брикетов и пеллет;
- разработка положений по требованию к сырью, безопасности, охране окружающей среды, правилам приемки, транспортировки и хранения.

Разработку марок смесевых пеллет и брикетов на основе тростника, быстрорастущей ивы и фрезерного торфа, проводили путем математического моделирования данных полученных эмпирическим путем, опираясь на Государственные стандарты действующие на территории Республики Беларусь, в которых определены требования к показателям качества топлива: СТБ 2027-2010 «Гранулы древесные топливные. Общие технические условия» и СТБ 1919-2008 «Брикеты топливные на основе торфа. Технические условия». Моделирование проводили с шагом изменения содержания компонентов смеси топлив равным 5 %, не превышая содержание примеси 30 % от массы основного компонента брикетов и пеллет.

Проанализировав полученные данные по теплотехническим характеристикам марок смесевых брикетов и пеллет на основе топлив торф, тростник и ива, в зависимости от массовой доли компонентов смеси, можно сказать, что с повышением процентной доли торфа в топливе происходит улучшение показателей теплоты сгорания топлива, однако ухудшается показатель по зольности топлива. Аналогичная ситуация обстоит и в случае повышения доли тростника, в топливе на основе двух компонентов ива и тростник.

Выбор оптимального количества отдельных компонентов смесевых брикетов и пеллет обуславливается необходимостью достижения оптимальных эксплуатационных свойств топлива, а также указаниями технических нормативных актов. Показатели качества полученных марок смесевых брикетов и пеллет приведены в таблицах 1.

Для оценки воздействия на окружающую среду при сжигании в котлах топливных пеллет и брикетов из смеси фрезерного торфа, древесины ивы быстрорастущей и тростника обыкновенного произведем расчет выбросов вредных веществ в атмосферу. Расчет выбросов выполняем по методике, представленной в ТКП 17.08-01-2006 (02120) «Охрана окружающей среды и природопользования. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Порядок определения выбросов при сжигании топлива в котлах теплопроизводительностью до 25 МВт» Минприроды Республики Беларусь [3]. Расчет выполняем для автоматизированного пеллетного котла мощностью $N = 75$ кВт, с КПД = 90 % и твердотопливного котла с ручной загрузкой мощностью $N = 75$ кВт, с КПД = 85 %.

Таблица 1

Характеристики и элементарный состав топливных гранул из древесины быстрорастущей ивы с добавлением фрезерного торфа

Наименование показателя	Значение показателя					
Массовая доля фрезерного торфа, %	5%	10%	15%	20%	25%	30%
Влажность W_t^r , %	10	10	10	10	10	10
Зольность A^r , %	2,54	2,84	3,13	3,43	3,73	4,03
Сера S^r , %	0,10	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14
Углерод C^r , %	44,00	44,11	44,23	44,35	44,47	44,58
Водород H^r , %	5,33	5,31	5,29	5,26	5,24	5,22
Азот N^r , %	0,69	0,76	0,83	0,90	0,97	1,04
Кислород O^r , %	37,35	36,88	36,41	35,94	35,47	34,99
Низшая теплота сгорания Q_i^r , МДж/кг	14,08	14,22	14,36	14,50	14,63	14,77

Выбросы оксида азота. При сжигании твердого топлива в котлах, оборудованных слоевыми топками, максимальное количество оксидов азота M_{NOx} , г/с, выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами, рассчитывается по формуле 1 [3]:

$$M_{NOx} = B_i^r \cdot Q_i^r \cdot K_{NOx}^T \cdot \beta_p, \quad (1)$$

где B_i^r – расчетный расход натурального топлива, кг, определяется по формуле 2;

Q_i^r – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг;

K_{NOx}^T – удельный выброс оксидов азота, г/МДж, определяется по формуле 4;

β_p – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов, подаваемых в смеси с дутьевым воздухом под колосниковую решетку на образование оксидов азота, при отсутствии рециркуляции $\beta_p = 1$ [3].

Расчетный расход натурального топлива, кг, на производство тепловой энергии котельной установкой определяем по формуле [3]:

$$B_i^r = \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot B_i, \quad (2)$$

где q_4 – потери тепла от механической неполноты сгорания топлива, %;

B_i – фактический расход топлива, кг, определяется по формуле 3.

Фактический расход топлива, кг, на производство 1 Гкал тепловой энергии котельной установкой определяем по формуле [3]:

$$B_i = \frac{N \cdot 10^8}{Q_i^r \cdot \eta}, \quad (3)$$

где N – мощность котла, кВт;

η – КПД котла, %.

Удельный выброс оксидов азота при слоевом сжигании твердого топлива, г/МДж, определяется по формуле 4 [3]:

$$K_{NOx}^T = 10^{-3} \cdot H_T \cdot \alpha_T \cdot \sqrt{B_i^r \cdot (Q_i^r)^3}, \quad (4)$$

где H_T – характеристика топлива, для торфа – 15,4, для ивы – 14,3, для тростника – 12,1 [3];

α_T – коэффициент избытка воздуха в топке, принимаемый для котлов мощностью до 0,3 МВт $\alpha_T = 3,0$.

С учетом трансформации азота оксида в атмосферном воздухе, выбросы азота оксида и азота диоксида определяются по следующим формулам 5 и 6 [3]:

$$M_{NO_2} = 0,8 \cdot M_{NOx}; \quad (5)$$

$$M_{NO} = (1 - 0,8) \cdot M_{NOx} \cdot \frac{\mu_{NO}}{\mu_{NO_2}} = 0,13 \cdot M_{NOx}, \quad (6)$$

где M_{NO_2} – выбросы азота диоксида, поступающего в атмосферный воздух с дымовыми газами, г/с;

M_{NO} – выбросы азота оксида, поступающего в атмосферный воздух с дымовыми газами, г/с;

μ_{NO} и μ_{NO_2} – молекулярные массы NO и NO_2 , равные 30 и 46 соответственно.

Валовой выброс азота оксидов, т/Гкал, поступающих в атмосферный воздух с дымовыми газами, рассчитывается по формуле:

$$M_{NOx}^{te} = 10^{-3} \cdot B_i^r \cdot Q_i^r \cdot K_{NOx}^T \cdot \beta_p, \quad (7)$$

где B_i^r – расчетный расход топлива на выработку 1 Гкал тепловой энергии, кг/Гкал.

Результаты расчета сведем в таблице 2.

Таблица 2

*Выбросы загрязняющих веществ при сжигании пеллет
на основе смеси фрезерного торфа и древесины ивы быстрорастущей*

Наименование показателя	Доля торфа в пеллетах					
Массовая доля фрезерного торфа, %	5%	10%	15%	20%	25%	30%
Расход пеллет, кг/с	13,6	27,3	40,9	54,5	68,1	81,8
Расход пеллет, кг/Гкал	323,2	320,0	316,9	313,9	311,1	308,1
Выбросы диоксида азота M_{NO_2} , г/с(кг/Гкал)	0,0118 (0,657)	0,0119 (0,664)	0,0120 (0,670)	0,0121 (0,677)	0,0122 (0,683)	0,0124 (0,690)
Выбросы оксида азота M_{NO} , г/с(кг/Гкал)	0,00191 (0,107)	0,00193 (0,108)	0,00195 (0,109)	0,00197 (0,110)	0,00199 (0,111)	0,00201 (0,112)
Выбросы диоксида серы M_{SO_2} , г/с(кг/Гкал)	0,00490 (0,280)	0,00557 (0,324)	0,00624 (0,367)	0,00691 (0,409)	0,00758 (0,450)	0,00825 (0,490)
Выбросы оксида углерода M_{CO} , г/с	0,0720 (4,02)	0,0720 (4,02)	0,0720 (4,02)	0,0720 (4,02)	0,0720 (4,02)	0,0720 (4,02)

Выбросы диоксида серы. Выбросы SO_2 в атмосферу при сжигании твердого топлива определяются по формуле, г/с, [3]:

$$M_{so2} = 0,02BS(1 - \eta_{s1})(1 - \eta_{s2})10^3, \quad (8)$$

где S – содержание серы в топливе на рабочую массу, %;

η_{s1} – доля оксидов серы, связываемых летучей золой в котле, для торфа – 0,25, для ивы – 0,58, для тростника – 0,55;

η_{s2} – доля оксидов серы, улавливаемых в мокром золоуловителе попутно с улавливанием твердых частиц, $\eta_{s2} = 0$.

Валовой выброс диоксида серы, т/Гкал, поступающих в атмосферный воздух с дымовыми газами, рассчитывается по формуле:

$$M_{so2}^{te} = 0,02BS(1 - \eta_{s1})(1 - \eta_{s2}), \quad (9)$$

Результаты расчета сведем в таблице 2.

Выбросы оксида углерода. Оценка суммарного количества выбросов оксида углерода определяется по формуле, г/с, [3]:

$$M_{co} = B_p C_{co}, \quad (10)$$

где C_{co} – выход оксида углерода.

При сжигании топлива выход оксида углерода определяется по формуле, г/кг, [3]:

$$C_{co} = g_3 R Q_i^r, \quad (11)$$

где g_3 – потери тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива, %, для твердого топлива и номинальной тепловой мощности котла до 0,3 МВт включительно $g_3 = 0,9$.

R – коэффициент, учитывающий долю потери тепла в следствие химической неполноты сгорания топлива г/кг, $R = 1,0$.

Валовой выброс оксида углерода, т/Гкал, поступающих в атмосферный воздух с дымовыми газами, рассчитывается по формуле:

$$M_{co}^{te} = 10^{-3} B_s^t C_{co}, \quad (12)$$

Результаты расчета сведем в таблице 2.

Выбросы твердых частиц. Суммарное количество твердых частиц (летучей золы и несгоревшего топлива) M_{pm} , поступающих в атмосферу с дымовыми газами котлов определяются по формуле, г/с, [3]:

$$M_{pm} = 0,01B(1 - \eta_c)(1 - \eta_{c1})(\alpha_{шл}A^r + g_4 \frac{Q_i^r}{32,68})10^3. \quad (13)$$

где η_c – доля твердых частиц удаляемых в мультициклоне, $\eta_c = 0,85$;

η_{c1} – доля твердых частиц улавливаемых в электрофилт্রে, $\eta_{c1} = 0,95$;

32,68 – теплота сгорания углерода, МДж/кг.

Валовой выброс твердых частиц, т/Гкал, поступающих в атмосферный воздух с дымовыми газами, рассчитывается по формуле:

$$M_{pm} = 0,01B(1 - \eta_c)(1 - \eta_{c1})(\alpha_{шл}A^r + g_4 \frac{Q_i^r}{32,68}). \quad (14)$$

Результаты расчета сведем в таблице 2.

Выбросы парниковых газов. Выбросы парниковых газов в эквиваленте CO_2 , т/Гкал, определяют по формуле [3]:

$$P_{co2} = M_{co2} + 21M_{CH4} + 310M_{CH4}, \quad (15)$$

где M_{co2} – выбросы углерода диоксида (для древесного топлива не учитываются), т/Гкал;

21 – коэффициент перевода 1 т $CH_{4в}$ 1 т CO_2 , т/т;

M_{CH4} – выбросы метана, т/Гкал;

310 – коэффициент перевода N_2O в 1 т CO_2 , т/т;

M_{N2O} – выбросы закиси азота, т/Гкал.

Выбросы углерода диоксида, т/Гкал, определяют по формуле [3]:

$$M_{CO2} = 3,66710^{-3} E^{te} K_c = E^{te} K_{CO2}. \quad (16)$$

где 3,667 – коэффициент, равный соотношению молекулярных масс углерода диоксида и углерода;

E^{te} – потребление топлива в общих энергетических единицах, ГДж/Гкал;

K_c – содержание углерода для данного типа топлива, кг/кДж, определяемые по [3];

K_{CO2} – коэффициент выброса углерода диоксида топлива, т CO_2 /ГДж, для торфа составляет 0,1060 [3].

Выбросы метана M_{CH4} , т/Гкал, определяются по формуле [3]:

$$M_{CH4} = 10^{-3} E^{te} g_{CH4} \quad (17)$$

где g_{CH4} – удельный выброс метана, кг/ГДж, составляет 0,02 для торфа и 0,03 для древесного топлива [3].

Выбросы закиси азота M_{N_2O} , т/Гкал, определяются по формуле [3]:

$$M_{N_2O} = 10^{-3} E^{te} g_{N_2O}, \quad (18)$$

где g_{N_2O} – удельный выброс закиси азота, кг/ГДж, составляет 0,0027 для торфа и 0,004 для древесного топлива [3].

Результатов данного исследования потенциально могут быть востребованы:

- Государственное производственное объединение по топливу и газификации «Белтопгаз»;
- Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь;
- Государственное производственное объединение электроэнергетики «Белэнерго»;
- Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Родькин О.И., Пашинский В.А., Бутько А.А., Иванова Е.В. Энергетическое использование клона ивы корзиночной *Salix viminalis* Valetas Gigantia (Turbo) // Энергоэффективность №5, 2014. – с. 14 – 18.
2. Родькин О.И., Бутько А.А., Иванова Е.В. Оценка и моделирование энергетического потенциала биомассы ивы на примере клона *Salix viminalis* // Экологический вестник. № 1 (27)/2014. – Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2014. – с. 80-88.
3. ТКП 17.08-01-2006 (02120) «Охрана окружающей среды и природопользования. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Порядок определения выбросов при сжигании топлива в котлах теплопроизводительностью до 25 МВт» Минприроды Республики Беларусь, 2010. – 20 с.

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

RENEWABLE ENERGY SOURCES OF THE REPUBLIC OF BELARUS AND THEIR USE

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 возможность использования возобновляемых источников на территории Республики Беларусь. Технический энергетический потенциал ВИЭ нашей страны достигает около 50% от потребности в энергоресурсах, а используется сегодня только на 16%. Изложена государственная политика РБ в области использования возобновляемых источников энергии.

The possibility of using renewable sources on the territory of the Republic of Belarus is considered. The technical energy potential of renewable energy sources in our country reaches about 50% of the need for energy resources, and today only 16% is used. The state policy of the Republic of Belarus in the field of the use of renewable energy sources is outlined.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, государственная политика, солнечная энергетика, биоэнергетика, гидроэнергетик, геотермальная энергетика.

Keyword: renewable energy sources, public policy, solar energy, bioenergy, hydropower, geothermal energy.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-244-247>

Постоянный рост потребления энергии в мире и в нашей стране ведет к неизменному увеличению ее производства и спросу на энергоносители. В настоящее время мировое потребление топлива составляет более 22 млрд. т у. т. (тонн условного топлива в угольном эквиваленте). А мировой топливный баланс характеризуется следующими показателями (%): твердое топливо – 36, газ – 23, мазут – 9, гидроэнергетика и иные возобновляемые виды энергии – 18, атомная энергетика – 14. По прогнозам гидроэнергетика и иные возобновляемые виды энергии до 2050 года в мировом топливном балансе возрастут до 25 %.