

УДК 620.91

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА КАК НАПРАВЛЕНИЕ УКРЕПЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ ПОТЕНЦИАЛА

О.А. Любчик,

мл. науч. сотр. сектора «Экономика энергетики»
РНПУП «Институт энергетики НАН Беларуси», магистр техн. наук

В статье определены теоретический и технически возможный потенциалы использования древесной биомассы в качестве топлива с учетом принципов устойчивого развития. Дан прогноз теоретического и технически возможного потенциала на ближайшие 10 лет, определено влияние реализации потенциала древесной биомассы на потребление топливно-энергетических ресурсов и энергетическую безопасность страны.

Ключевые слова: древесная биомасса, теоретический потенциал, технически возможный потенциал, прогноз потенциала, энергетическая безопасность, возобновляемая энергетика.

The article defines the theoretical and technically possible potentials of using wood biomass as fuel, taking into account the principles of sustainable development. The forecast of the theoretical and technically possible potential for the next 10 years is given, the impact of the realization of the potential of wood biomass on the consumption of fuel and energy resources and the energy security of the country is determined.

Key words: wood biomass, theoretical potential, technically possible potential, forecast of the potential, energy safety, renewable energy.

Введение

Потребление энергии сектором сельского, лесного и рыбного хозяйства за последние пять лет возросло на 11 % и составило 1664 тыс. т у.т. по состоянию на 2019 год. Потребление электрической энергии выросло на 3 %, тепловой энергии – на 4 % и составило 1618 млн кВт·ч (199 тыс. т у.т.) и 1695 тыс. Гкал (242 тыс. т у.т.) соответственно.

Доля сельского, лесного и рыбного хозяйства в топливно-энергетическом балансе страны на 2019 год составила 6,3 %, тогда как в 2010 году она равнялась 5,9 % (рис. 1) [1], из чего можно сделать вывод о

необходимости принятия мер по повышению энергоэффективности сектора. Снижение затрат на топливно-энергетические ресурсы позволит снизить себестоимость продукции, что повысит рентабельность ее производства и конкурентоспособность на местном и международном рынках.

Одним из направлений повышения энергоэффективности аграрного производства может стать применение местных и возобновляемых источников энергии, например, древесной биомассы.

Согласно Стратегии развития энергетического потенциала Республики Беларусь [2], потенциал топливной биомассы не превышает 10 млн м³ или 2,65 млн т у.т. В Национальной программе развития местных и возобновляемых энергоисточников на 2011-2015 годы [3] потенциал топливной древесины оценивается в 11,65 млн м³ или 3,1 млн т у.т. Рядом ученых технически возможный потенциал был оценен в размере 17,7-18,1 млн м³, что эквивалентно 4,7-4,8 млн т у.т., и был дан прогноз, согласно которому к 2015 году технически возможный потенциал должен был увеличиться до 19,35 млн м³ или 5,1 млн т у.т., а к 2020 году – до 21,2 млн м³ или 5,6 млн т у.т. [4, 5].

Учитывая динамику прироста древесной биомассы, потребностей

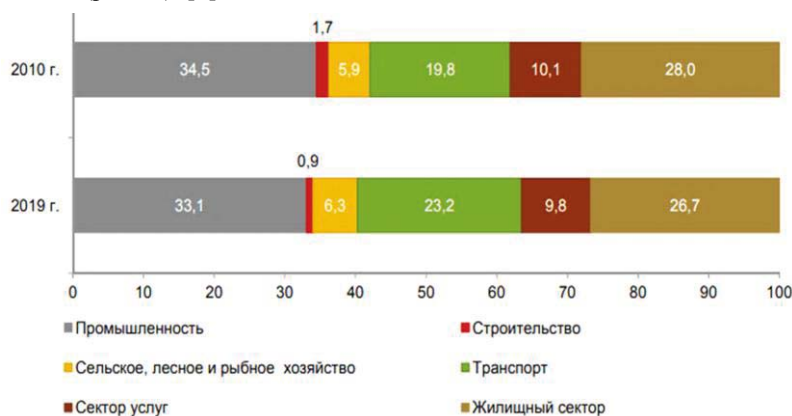


Рисунок 1. Структура топливно-энергетического баланса Республики Беларусь по состоянию на 2019 год [1]

промышленности в древесине как в сырье и экологической ситуации, необходимо проведение дополнительных исследований для актуализации выполненных более 10 лет назад оценок потенциала и представление прогноза потенциала древесной биомассы на ближайшее десятилетие.

Целью исследования является оценка и построение прогноза теоретического и технически возможного потенциала древесной биомассы, определение влияния реализации потенциала на потребление топливно-энергетических ресурсов и энергетическую безопасность Республики Беларусь.

Основная часть

Леса в Республике Беларусь являются одним из важнейших возобновляемых природных ресурсов. Лесистость по состоянию на 2020 год составляла 40,1 %, лесной фонд занимал 9696,8 тыс. га или 46,7 % территории страны. Концепцией Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2035 года предусмотрено формирование экологичного и эффективного лесного хозяйства, что включает в себя сохранение биоразнообразия экосистем леса и повышение уровня интенсивности использования лесных ресурсов, в особенности древесины. К примеру, Государственной программой «Белорусский лес» на 2021-2025 годы запланировано увеличение производства щепы топливной с 1,9 млн м³ в 2021 г. до 2,1 млн м³ в 2025 г. [6].

Теоретический потенциал возобновляемой древесной биомассы ограничен лишь приростом древесины. Под приростом будем понимать всю древесную биомассу, которая образовалась в лесах страны за календарный год. За последние несколько десятилетий наблюдается увеличение лесистости и среднего запаса насаждений в связи с превышением прироста над объемом заготовки древесины (рис. 2) [7].

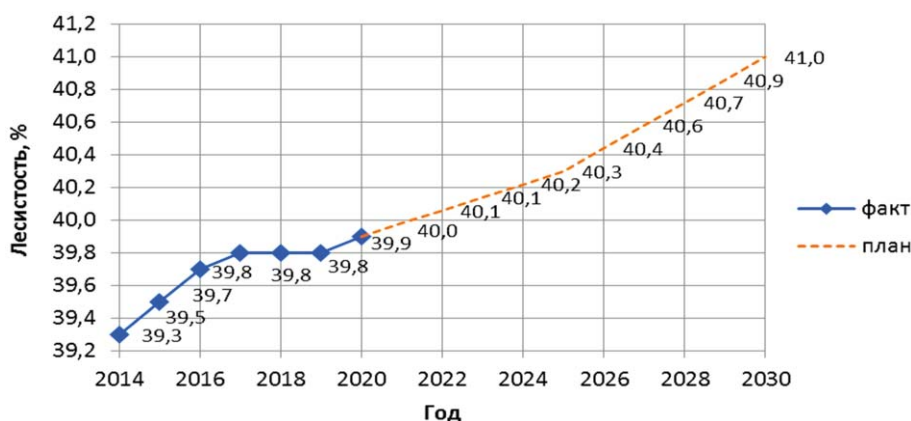


Рисунок 2. Фактическая и ожидаемая лесистость Республики Беларусь в период 2014-2030 гг.

По состоянию на 2021 г. теоретический потенциал составляет, согласно проведенным расчетам, 36,1-38,1 млн м³ или 9,6-10,1 млн т у.т., в дальнейшем к 2030 г. ожидается рост до 37,0-41,8 млн м³ или 9,8-11,1 млн т у.т. Прогноз теоретического потенциала

выполнен на основе целевых показателей и тенденции прироста древесины [3; 6, 7].

Древесная биомасса является важным и ценным сырьевым ресурсом для создания широкого перечня продукции. Нерациональное распределение потоков биомассы и направление ее преимущественно на энергетические цели может оказать негативное влияние на ряд отраслей промышленности. В соответствии с принципами устойчивого развития и циркулярной экономики, рациональным является использование биомассы, начиная с верхних уровней (рис. 3) [8]. Описанным выше образом изолируются компоненты с более высокой добавленной стоимостью, максимально глубоко используется потенциал биомассы. Таким образом, при расчете технически возможного потенциала древесной биомассы необходимо исключить древесину, которая преобразуется в продукцию, не относящуюся к топливной и находящуюся на более высоких уровнях ценности.



Рисунок 3. Пирамида устойчивого использования биомассы [8]

Часть территории Республики Беларусь загрязнена радионуклидами, и леса, находящиеся в зонах радиоактивного загрязнения с плотностью ¹³⁷Cs свыше 15 Ки/км², относятся к резервным ресурсам для заготовки древесины [7]. По состоянию на 2020 г. всего было загрязнено радионуклидами 1284 тыс. га, из них 180 тыс. га имели плотность загрязнения более 15 Ки/км². Прирост древесины на таких территориях не будет включаться в технически возможный потенциал. Прогноз площади лесного фонда, загрязненной цезием-137, представлен в таблице 1.

Некоторые площади страны относятся к особо охраняемым природным территориям (ООПТ). Леса, произрастающие в таких местах, также должны быть исключены из технического потенциала, так как недоступны для заготовки древесины ввиду особого статуса территории.

Таблица 1. Прогноз площади лесного фонда, загрязненной цезием-137

Год	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Загрязнено цезием-137 лесного фонда, всего, тыс. га	1261	1234	1206	1178	1150	1122	1095	1067	1039	1011
более 15 Ки/км ² , тыс. га	174	167	161	154	147	141	134	128	121	115
Доля от лесного фонда, %	2,1	2,0	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3

Изменение доли ООПТ в период с 2009 по 2019 гг. [9], а также результаты прогнозирования на период 2020-2030 гг. представлены на рисунке 4.

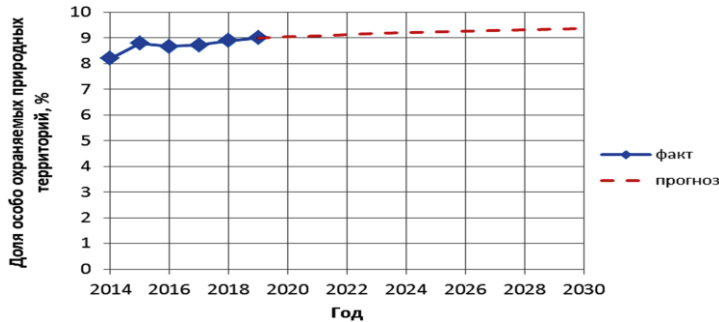


Рисунок 4. Доля ООПТ в лесном фонде, %

Наибольшее влияние на технически доступный потенциал будет оказывать объем древесины, направленный на производство продукции. На основе данных, приведенных в источнике [10], и технических характеристик выпускаемых товаров, был рассчитан суммарный объем древесины, преобразованной в продукцию (рис. 5), и построена модель тренда, на базе которой сделан прогноз на период 2021-2030 гг. Сред-

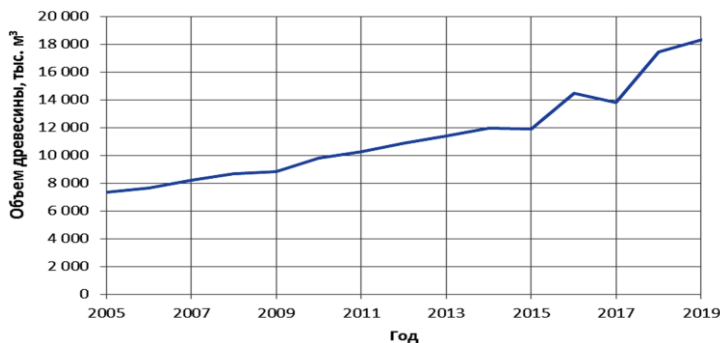


Рисунок 5. Динамика объема использования древесины для производства продукции (кроме топлива)

неквадратическая ошибка тренда составила $s_y = 1,01$.

По графику на рисунке 5 видно резкое увеличение производимой из древесины продукции, начиная с 2015 года, что снижает доступные для энергетических целей запасы древесины.

Доверительный интервал прогноза использования древесины для производства продукции на период $i+L$ лет определяется следующим выражением:

$$y_{i+L} \pm t_{\alpha} s_p \quad (1)$$

где y_{i+L} – расчетное значение y ;
 t_{α} – значение критерия Стьюдента;
 s_p – среднеквадратическая ошибка прогноза.

После проведения ряда преобразований уравнение принимает вид:

$$y_{i+L} \pm s_y K^* \quad (2)$$

где s_y – среднеквадратическая ошибка тренда;

K^* – коэффициент, определяемый выражением:

$$K^* = t_{\alpha} \sqrt{\frac{n+1}{n} + \frac{3(n+2L-1)^2}{n(n^2-1)}}, \quad (3)$$

где n – длина ряда динамики (число наблюдений);

L – число лет прогноза.

Так как K^* зависит только от t_{α} , n и L , то его значения сведены в таблицы для удобства использования, например в приложениях [11]. Результаты расчета доверительного диапазона прогноза представлены в таблице 2.

Технически возможный потенциал можно определить следующим образом:

$$P_{техн} = P_{теор} (1 - \varphi_{оопт} - \varphi_{РА}) - Q_{пром}, \quad (4)$$

где $P_{теор}$ – теоретический потенциал биомассы, млн м³;

$\varphi_{оопт}$ – доля ООПТ в лесном фонде;

$\varphi_{РА}$ – доля территорий, загрязненных цезием-137 с плотностью более 15 Ки/км², в лесном фонде;

$Q_{пром}$ – объем древесины, расходуемый на производство продукции, кроме топлива.

Минимальный и максимальный технически возможный потенциал на 2021 год составит:

$$P_{техн}^{мин} = 37,1 \cdot (1 - 0,09 - 0,02) - 19,41 = 13,5 \text{ млн м}^3$$

$$P_{техн}^{макс} = 37,1 \cdot (1 - 0,09 - 0,02) - 16,32 = 16,6 \text{ млн м}^3$$

Результаты расчета и прогноза технически возможного потенциала древесной биомассы для топливных нужд представлены в таблицах 3 и 4. Прогноз осуществлялся с помощью трендовой модели, в основе прогноза лежит гипотеза о сохранении текущей тенденции.

Сохранение существующего темпа роста выпуска продукции предприятиями деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности будет способствовать снижению технически возможного потенциала топливной древесной биомассы, что необ-

Таблица 2. Доверительный интервал прогноза объема древесины, преобразованной в продукцию (кроме топлива)

Год	Расчетное значение, млн м ³	K*	s _y K*	Минимальный объем древесины, млн м ³	Максимальный объем древесины, млн м ³
2021	17,9	1,536	1,55	16,32	19,41
2022	18,6	1,572	1,58	17,00	20,17
2023	19,3	1,611	1,62	17,68	20,92
2024	20,0	1,653	1,66	18,36	21,68
2025	20,7	1,697	1,71	19,03	22,45
2026	21,5	1,745	1,76	19,70	23,21
2027	22,2	1,794	1,80	20,37	23,98
2028	22,9	1,846	1,86	21,04	24,75
2029	23,6	1,900	1,91	21,70	25,53
2030	24,3	1,956	1,97	22,37	26,30

Таблица 3. Фактический технически возможный потенциал топливной древесной биомассы в Республике Беларусь

Год	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Технически возможный потенциал, млн м ³	27,6	30,2	25,0	18,1	18,7	15,2	15,1
Технически возможный потенциал, млн т у.т.	7,3	8,0	6,7	4,8	5,0	4,0	4,0

Таблица 4. Прогнозируемый технически возможный потенциал топливной древесной биомассы в Республике Беларусь

Год	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Технически возможный потенциал, минимум, млн м ³	13,5	13,8	13,3	12,7	10,9	10,4	9,9	9,4	8,8	8,9
Технически возможный потенциал, максимум, млн м ³	16,6	16,9	16,5	16,0	14,3	13,9	13,5	13,1	12,7	12,8
Технически возможный потенциал, минимум, млн т у.т.	3,6	3,7	3,5	3,4	2,9	2,8	2,6	2,5	2,4	2,4
Технически возможный потенциал, максимум, млн т у.т.	4,4	4,5	4,4	4,3	3,8	3,7	3,6	3,5	3,4	3,4

ходимо учитывать при строительстве новых энергетических объектов или переводе существующих на древесное топливо. Тем не менее полное освоение даже минимального технически возможного потенциала древесной биомассы позволит полностью покрыть потребности в энергии сектора сельского, лесного и рыбного хозяйства или заместить 9-13 % потребляемых в настоящее время в Республике Беларусь топливно-энергетических ресурсов. Стоит отметить, что технически возможный потенциал иных возобновляемых источников энергии, таких как энергия солнца, ветра и биогаза, в Республике Беларусь в настоящее время реализован крайне незначительно, что позволяет также рассматривать их для компенсации постоянно возрастающих потребностей страны в топливно-энергетических ресурсах.

Заключение

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Теоретический потенциал древесной биомассы на начало 2021 года составляет 36,1-38,1 млн м³/год; технически возможный потенциал оценивается в 13,5-16,6 млн м³/год.

2. В 2030 году теоретический потенциал древесной биомассы возрастет до 37,0-41,8 млн м³/год; технически возможный потенциал снизится до 8,9-12,8 млн м³/год.

3. Освоение технически возможного потенциала позволит повысить энергетическую безопасность страны, что численно может быть выражено в увеличении значений индикаторов № 1 «Отношение объема производства (добычи) первичной энергии к валовому потреблению ТЭР» и № 2 «Отношение объема производства (добычи) первичной энергии из возобновляемых источников энергии к валовому потреблению ТЭР», каждого на 9-13 %, и в снижении значения индикатора № 4 «Доля доминирующего вида топлива в валовом потреблении ТЭР» к 2030 году также на 9-13 %.

Результаты проведенного исследования могут быть использованы при планировании развития энергосистемы, в особенности снабжения сельского и лесного хозяйства местными топливно-энергетическими ресурсами.

Произведен расчет теоретического и технического возможного потенциала топливной древесной биомассы с учетом актуальных данных, впервые дан прогноз потенциала на период 2011-2030 гг. и определено влияние реализации потенциала на энергетическую безопасность страны. В процессе прогнозирования учтен резкий рост использования древесины для производства продукции, произошедший в середине прошлого десятилетия. Произведенная оценка потенциала и его прогноз, в отличие от проводимых иными авторами ранее, выполнена с учетом принципов устойчивого развития и циркулярной экономики.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ
ИСТОЧНИКОВ**

1. Энергетический баланс Республики Беларусь, 2020 [Электронный ресурс] / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Режим доступа: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/energeticheskaya-statistika/statisticheskie-izdaniya/index_17875/. – Дата доступа: 27.03.2021.

2. Стратегия развития энергетического потенциала Республики Беларусь [Электронный ресурс]: утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь, 9 августа 2010 г., № 1180. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.by/law/postanovleniya-soveta-ministrov-respubliki-belarus/>. – Дата доступа: 27.12.2020.

3. Национальная программа развития местных и возобновляемых энергоисточников на 2011-2015 гг. [Электронный ресурс]: утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь, 10 мая 2010 г., № 586. – Режим доступа: <http://www.government.by/upload/docs/file663fb27db70962e8.pdf>. – Дата доступа: 30.12.2020.

4. Михалевич, А.А. Энергетическая безопасность и возобновляемая энергетика / А.А. Михалевич // Возобновляемые источники энергии: потенциал, достижения, перспективы: материалы Международного семинара экспертов, Минск, 3-4 декабря 2013 г. / Национальная академия наук Беларуси; под ред. академика Михалевича А.А. – Минск, 2013. – С. 7-24.

5. Ковалевич, А.И. Лесные ресурсы как возобновляемый энергетический потенциал Беларуси / А.И. Ковалевич // Возобновляемые источники энергии: потенциал, достижения, перспективы: материалы Международного семинара экспертов, Минск, 3-4 декабря 2013 г. / Национальная академия наук Бела-

руси; под ред. академика Михалевича А.А. – Минск, 2013. – С. 101-114.

6. Государственная программа «Белорусский лес» на 2021-2025 годы [Электронный ресурс]: утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь, 28 января 2021 г., № 52. – Режим доступа: https://pravo.by/upload/docs/op/C22100052_1612386000.pdf. – Дата доступа: 20/04/2021.

7. Национальный план действий увеличению адсорбции парниковых газов поглотителями на период до 2030 года [Электронный ресурс]: утв. постановлением коллегии Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь, 5 декабря 2019 г. – Режим доступа: <https://minpriroda.gov.by/uploads/files/1-Minleshoz-Nats.-plan-po-absorbtsii-1-2.pdf>. – Дата доступа: 15.12.2020.

8. The-value-pyramid. [Electronic resource] // Betaprocess bioenergy. – Mode of access: <http://www.betaprocess.eu/the-value-pyramid.php/>. – Date of access: 03.08.2020.

9. Особо охраняемые природные территории [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makro-ekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/sovместnaya-sistema-ekologicheskoi-informat-sii2/d-bioraznoobrazie/d-1-osobo-ohranyaemye-prirodnye-territorii/>. – Дата доступа: 10.04.2021.

10. Промышленность Республики Беларусь: статистический сборник [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/aeb/aeb02f77163a24af4b9cfe2dd576b29d.pdf>. – Дата доступа: 15.04.2021.

11. Четыркин, Е.М. Статистические методы прогнозирования / Е.М. Четыркин. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Статистика, 1997. – 200 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 09.06.2021

Навесной оборотный плуг ПНО-3-40/55



Плуг навесной оборотный ПНО-3-40/50 предназначен для гладкой вспашки старопахотных не засоренных камнями почв с удельным сопротивлением до 0,09 МПа. Плуг агрегируется с тракторами класса 2,0 («Беларус 1221»).

- Преимущества разработки:
- регулируемая ширина захвата;
 - цена на 30-40% ниже зарубежных аналогов.

Производство плугов освоено на ДП «Миноитовский ремонтный завод». В 2010 году на сельскохозяйственной выставке в г. Москве плуг удостоен золотой медали.

Основные технические данные

Тип.....навесной
 Тип корпуса.....полувинтовой
 Производительность за 1 ч сменного времени, га.....0,65...1,14
 Конструкционная ширина захвата корпуса, мм.....400/450/500/550
 Рабочая скорость движения на основных операциях, км/ч.....7...9
 Масса плуга конструкционная, кг.....не более 1150
 Конструкционная ширина захвата плуга, м.....1,20/1,35/1,50/1,65