

УДК 620.92.502.1(476)

*О. А. БЕЛЫЙ, А. Е. БЕРНАЦКИЙ, Н. К. КРЫЖАНОВСКИЙ, Ф. А. РОЗАНОВА*

## **ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА – ЭФФЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

*Центр системного анализа и стратегических исследований НАН Беларуси*

*(Поступила в редакцию 27.03.2014)*

**Введение.** За последнее десятилетие производство электроэнергии в мире выросло почти в 1,5 раза, достигнув в 2012 г. 21 трлн кВт·ч. При этом основным источником получения энергии на Земле по-прежнему остается ископаемое топливо: нефть, уголь и природный газ, несмотря на постепенное снижение доли его использования в мировом производстве электроэнергии. Если в 1973 г. доля ископаемого топлива в мировом производстве электроэнергии составляла 75 %, то в 2011 г. она достигла 68 % [1]. Эта тенденция сохраняется.

Возрастающую роль на современном этапе развития энергетики на планете начинают играть возобновляемые источники энергии.

Экономически обоснованный потенциал возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в мире в настоящее время оценивается в 20 млрд т у. т./год при мировом потреблении энергии в объеме 18,5 млрд т у. т./год [2].

Основным достоинством ВИЭ является их эксплуатация без использования ископаемого углеводородного топлива. В большинстве ВИЭ являются экологически чистыми и повсеместно доступными. Они относительно равномерно распределены по территории земного шара, не находятся в монопольном владении ограниченного числа стран и поэтому рассматриваются как источники энергии, использование которых способствует повышению энергетической безопасности, снижению зависимости от импорта энергетических ресурсов и соответственно укреплению политической стабильности в мире.

В Республике Беларусь основным видом топлива при производстве тепловой и электрической энергии является природный газ. На его долю в структуре топливного баланса ГПО «Белэнерго» приходится 97,16 %. Из всего используемого природного газа 96,6 % импортируется из России [3], что свидетельствует о почти полной энергетической зависимости Республики Беларусь от одного поставщика и не соответствует требованиям энергетической и экологической безопасности Республики Беларусь. Кроме того, сжигание углеводородного топлива является основным источником выбросов в атмосферу загрязняющих веществ и парниковых газов.

**Мировая практика производства энергии.** Структура мирового производства электроэнергии представлена на рис. 1 [1]. Анализ данных, приведенных на рисунке, показывает, что доля мирового производства электроэнергии с использованием ВИЭ приблизилась к доле электроэнергии, производимой с использованием природного газа, и продолжает увеличиваться.

По данным [4] установленная мощность ВИЭ в мире оценивается следующим образом: биоэнергетика 83 ГВт, геотермальная энергетика 11,7 ГВт, гидроэнергетика 990 ГВт, ветроэнергетика 283 ГВт, солнечная энергетика 100 ГВт.

### **Наиболее перспективные виды ВИЭ для Беларуси**

**Биоэнергетика.** Технически доступный потенциал энергии биомассы в Беларуси составляет 5150–5930 тыс. т у. т./год, в том числе древесное топливо и отходы деревообработки – 3100 тыс. т у. т./год,

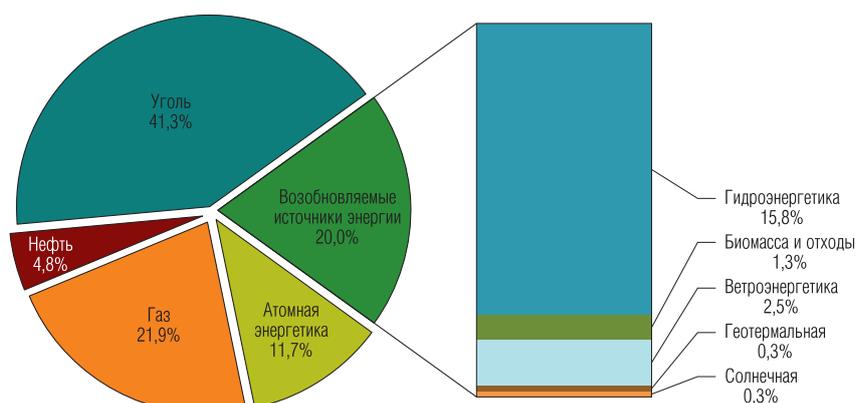


Рис. 1. Структура мирового производства электроэнергии

производство биогаза – 1600–2400 тыс. т у. т./год. Использование этого потенциала позволит заместить около 1,8 млрд м<sup>3</sup> природного газа и снизить выбросы парниковых газов в объеме 3450 тыс. т эквивалента CO<sub>2</sub>.

Биогазовые технологии позволяют получать электрическую и тепловую энергию из вредных для окружающей среды веществ, таких как отходы животноводства и пищевых производств, твердые бытовые отходы, что существенно снижает нагрузку на окружающую среду.

Количество отходов животноводства и твердых бытовых отходов, которые могут быть использованы для производства биогаза, составляет соответственно 51,5 и 3,9 млн т/год.

В настоящее время фактическое использование в Беларуси биогаза составило 22,9 тыс. т у. т. (0,9–1,4 % технически доступного потенциала). В Республике Беларусь работают 23 биогазовые установки общей мощностью 23 МВт и две установки по выработке метана: в Бобруйске (3 000 м<sup>3</sup>/сут) и в Вилейке (2 800 м<sup>3</sup>/сут). Опыт эксплуатации свидетельствует о высокой эффективности их использования. Например, биогазовая установка в СПК «Рассвет» Кировского р-на Могилевской обл. общей стоимостью 13,5 млн € ежегодно вырабатывает 40,3 млн кВт·ч электроэнергии и 34 670 Гкал тепловой энергии. Себестоимость вырабатываемой электроэнергии 0,035 \$/(кВт·ч). Срок окупаемости составляет 6–7 лет.

**Энергия ветра.** Технически доступный потенциал энергии ветра в Беларуси оценивается в 1600 МВт с годовой выработкой электроэнергии 2,4 млрд кВт·ч [5], что составляет 6,3 % от общего объема потребления электроэнергии в стране, который равен примерно 38 млрд кВт·ч/год.

В настоящее время в Республике Беларусь работают 18 ветроэнергетических установок (ВЭУ) общей мощностью 6,872 МВт, что составляет 0,43 % технически доступного потенциала энергии ветра. Опыт использования ВЭУ подтверждает их высокую эффективность в условиях Беларуси. Например, ВЭУ мощностью 1,5 МВт, работающая в п. Грабники Новогрудского р-на Гродненской области, вырабатывает 4,178 млн кВт·ч/год электроэнергии, себестоимость которой составляет 0,0485 \$/(кВт·ч).

**Гидроэнергетика.** Потенциальная мощность всех водотоков Республики Беларусь составляет 850 МВт, в том числе технически доступный потенциал – 520 МВт. Экономически обоснованный потенциал гидроэнергетики в Беларуси оценивается в 250 МВт [6]. Как показывает зарубежный опыт, в странах с незначительными собственными запасами органического топлива величина экономически обоснованного потенциала гидроэнергетики приближается к технически доступному потенциалу.

В Беларуси находится в эксплуатации 51 ГЭС суммарной мощностью 34,6 МВт (6,4 % технически доступного потенциала). При планируемом вводе мощностей [6] в 2015 г. на ГЭС Беларуси будет вырабатываться около 510 млн кВт·ч/год, что позволит заместить примерно 140 тыс. т у. т./год.

При дальнейшем вводе в эксплуатацию в 2016–2019 гг. еще шести ГЭС годовая выработка электроэнергии к 2020 г. может составить 860 млн кВт·ч/год, что позволит заместить более 220 тыс. т у. т./год (около 200 млн м<sup>3</sup> природного газа) и уменьшить выбросы парниковых газов почти на 380 тыс. т.

Современный технический уровень оборудования ГЭС позволяет обеспечить им высокую эффективность. Например, при модернизации одной из старейших в Беларуси Осиповичской ГЭС установлены три новые турбины «Фойд» (Германия) общей мощностью 2,175 МВт и генераторы Siemens SFW 616/12-40. Статорные обмотки генераторов с новым классом изоляции позволяют загружать гидроагрегаты до номинальной мощности, что обеспечивает надежную работу даже во время половодья и паводков. Себестоимость вырабатываемой электроэнергии составляет 0,039 \$/(кВт·ч).

**Энергия Солнца.** Годовое поступление суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность территории Республики Беларусь увеличивается в направлении с севера на юг от 3500 до 4100 МДж/м<sup>2</sup>, или от 972 до 1139 кВт·ч/м<sup>2</sup> [7].

Для размещения солнечных электростанций (СЭС) требуются значительные территории. Поэтому СЭС целесообразно размещать на тех землях, которые не используются сельскими и лесными хозяйствами, организациями оздоровительного, природоохранного, рекреационного и историко-культурного назначения, на землях, не используемых под застройку, под дорогами и другими транспортными путями. В Беларуси в 2013 г. площадь таких земель, по данным Государственного статистического комитета Республики Беларусь, составила 660 тыс. га (6,6 тыс. км<sup>2</sup>). При этом необходимо учитывать, что площадки, предназначенные для размещения СЭС, должны находиться в хорошо доступных местах, недалеко от потребителей электроэнергии, ЛЭП (не более чем 3 км). С учетом этих требований площадь, на которой могут быть установлены солнечные панели, может составить примерно 10 % от всей площади не используемых земель, т. е. 660 км<sup>2</sup>.

В этих условиях потенциал солнечной энергии, технически возможный для преобразования в электроэнергию, составит 641,5–751,7 млрд кВт·ч/год. С учетом КПД современных солнечных панелей (0,16) выработка ими электроэнергии в Беларуси может составить 100–120 млрд кВт·ч/год.

Освоение этого огромного потенциала солнечной энергии в нашей стране находится в начальной стадии. В настоящее время в Беларуси действуют две солнечные электростанции и четыре отдельные солнечные установки общей мощностью 1,095 МВт. Среди них СЭС мощностью 400 кВт в деревне Жуково Могилевского района (поэтапный ввод в эксплуатацию завершён в 2013 г.) и СЭС мощностью 500 кВт в Бобруйске (введена в эксплуатацию в 2013 г.).

Основной причиной недостаточного уровня применения использования солнечной энергии в настоящее время является значительная стоимость фотоэлектрических модулей. Однако мировые тенденции свидетельствуют о высоких темпах снижения их стоимости. Так, цены на фотоэлектрические модули снизились с 1,95 €/Вт<sub>пик</sub> в 2009 г. до 0,7 €/Вт<sub>пик</sub> в 2013 г. и продолжают уменьшаться.

Разработки белорусских ученых в области создания эффективных фотоэлектрических модулей и мировые тенденции развития фотовольтаики свидетельствуют о том, что солнечная энергетика в Беларуси в ближайшие годы станет конкурентоспособной.

**Воздействие различных источников энергии на окружающую среду.** Одна из важнейших экологических проблем современности – глобальное изменение климата. Новейшие научные данные доказывают, что доминирующей причиной климатических изменений является антропогенное усиление парникового эффекта, основной причиной возникновения которого являются выбросы, образующиеся при сжигании углеродсодержащего топлива. При его сгорании образуются углекислый газ (CO<sub>2</sub>), оксид углерода (CO), оксиды азота (NO<sub>x</sub>), пары воды (H<sub>2</sub>O) и другие вещества прямого и косвенного парникового действия.

Эксплуатация ВИЭ осуществляется без использования топлива, следовательно, без выбросов парниковых газов (ПГ). В Республике Беларусь основным источником выбросов ПГ является сектор «Энергетика», в который входит также и транспорт. Основные виды топлива в этом секторе – нефть и природный газ. Объемы потребления данных видов топлива не снижаются, поэтому не уменьшаются и выбросы ПГ. В то же время в нашей стране недостаточно используются ВИЭ. Установленная мощность ВИЭ составляет менее 0,8 % от установленной мощности всех электростанций белорусской энергосистемы. Динамика выбросов ПГ в Беларуси [8] представлена на рис. 2.

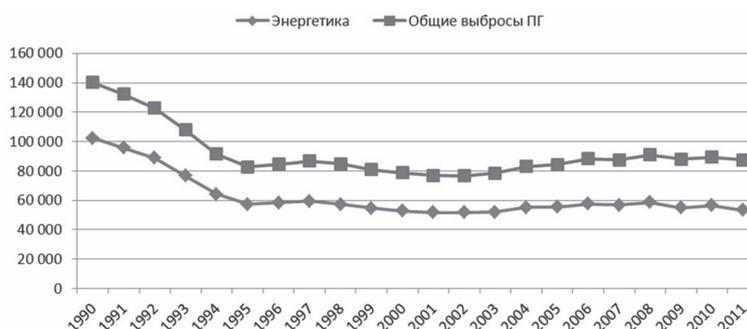


Рис. 2. Динамика выбросов парниковых газов в Беларуси, Гг CO<sub>2</sub>-экв.

В таблице приведены удельные выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух при сжигании различных видов топлива [9]. Удельные выбросы для биогаза приняты такими же, как для природного газа. Анализ таблицы показывает, что из всех видов ископаемого топлива наименьшие выбросы загрязняющих веществ происходят при сжигании природного газа. При эксплуатации ВИЭ топливо не используется, поэтому воздействие на окружающую среду всех видов ВИЭ ниже, чем влияние традиционных источников энергии, использующих самое экологически «чистое» ископаемое углеводородное топливо – природный газ.

#### Удельные выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух при сжигании различных видов топлива

| Топливо                  | Выбросы вредных веществ, т/т у. т. |                 |                 |                 |         |
|--------------------------|------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|
|                          | CO                                 | NO <sub>x</sub> | SO <sub>2</sub> | Твердые частицы | Итого   |
| Природный газ            | 0,00117                            | 0,00352         | 0,00            | 0,00            | 0,00469 |
| Каменный уголь           | 0,00958                            | 0,06356         | 0,0092          | 0,06532         | 0,14766 |
| Брикеты торфяные         | 0,0081                             | 0,0268          | 0,003           | 0,0131          | 0,051   |
| Древесина (дрова)        | 0,0049                             | 0,0094          | 0,0004          | 0,0044          | 0,019   |
| Быстрорастущая древесина | 0,0048                             | 0,0095          | 0,00            | 0,0085          | 0,0228  |
| Биогаз                   | 0,00117                            | 0,00352         | 0,00            | 0,00            | 0,00469 |

**Оценка экономической эффективности использования ВИЭ с учетом экологических факторов.** Основным показателем эффективности затрат на внедрение ВИЭ является срок окупаемости инвестиций, который определяется по формуле

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{D + \Delta\Pi - P},$$

где К – капитальные вложения; Д – доход, полученный от реализации потребителям электрической (тепловой) энергии, другие виды доходов; ΔΠ – изменение доходов (расходов), обусловленное экологическими факторами; Р – годовые эксплуатационные расходы.

При оценке доходов (расходов), обусловленных экологическими факторами, для различных видов ВИЭ необходимо учитывать следующие показатели.

Для биоэнергетики:

приток денежных средств от реализации объемов добровольных сокращений выбросов парниковых газов;

снижение выплат экологического налога в связи с сокращением выбросов загрязняющих веществ;

прибыль от продажи удобрений;

прибыль от увеличения урожайности;

экономия за счет снижения объемов вносимых в почву химических веществ;

доход за счет снижения нагрузки на очистные сооружения.

Для гидроэнергетики:

доход от ведения промышленного рыбоводства;  
доход от развития туризма, создания мест рекреации и отдыха;  
ущерб от утраты мест обитания объектов животного мира и нарушения путей миграции из-за нарушений гидрологического режима рек.

Для гидроэнергетики, ветроэнергетики и солнечной энергетики:

снижение выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов в связи с отсутствием сжигания топлива;

издержки, связанные с отведением земель под строительство и эксплуатацию ВИЭ.

Результаты исследования влияния экологических факторов на экономическую эффективность ВИЭ показали, что срок окупаемости, например, биогазовых установок при использовании всех возможных источников дохода составляет 5–7 лет. Если не реализуется получаемая тепловая энергия, срок окупаемости возрастает до 8 лет. При этом в структуре доходов от переработки 1 т биомассы (20% свиного навоза и 80% кукурузного силоса) продажа электроэнергии составляет 55 %, продажа тепловой энергии – 20 %, продажа удобрений, увеличение урожайности – 11 %, снижение нагрузки на очистные сооружения, уменьшение экологического налога – 12 %, продажа добровольных сокращений выбросов парниковых газов – 2 %.

**Анализ причин, сдерживающих развитие ВИЭ в Беларуси.** Мировой опыт развития и эффективного использования ВИЭ свидетельствует о наиболее значительных успехах, достигнутых теми странами, которые раньше других приняли и постоянно совершенствуют законодательство в этой области. Например, в Германии за годы действия закона о возобновляемых источниках энергии, принятого 1 апреля 2000 г. (с изменениями и дополнениями 2004, 2009 и 2012 г.), доля электроэнергии, выработанной из ВИЭ, выросла в общем объеме производства электроэнергии от 3 до 22 %.

В нашей стране установленная мощность всех ВИЭ, включая ГЭС, на конец 2013 г. составила лишь 64,35 МВт, или менее 0,8 % от установленной мощности всех электростанций белорусской энергосистемы. Основные причины низкого уровня использования возобновляемых источников энергии в Республике Беларусь:

отсутствие конкретных государственных целевых показателей производства и использования энергии из возобновляемых источников;

система льгот по стимулированию развития ВИЭ не является дифференцированной ни по отдельным видам энергии, ни по их установленной мощности. Так, постановлением Министерства экономики № 100 от 30 июня 2011 г. не принято во внимание, что такие источники энергии, как биоэнергетика, ветроэнергетика, гидроэнергетика, имеют различный энергетический потенциал, разные доступ для его освоения и объемы необходимого финансирования проектов по их реализации;

отсутствие системы обязательств, устанавливаемых государством для предприятий коммунального хозяйства и других отраслей по потреблению определенной доли энергии из возобновляемых источников. Такая система широко применяется в мировой практике и является эффективным инструментом стимулирования развития возобновляемых источников энергии на государственном уровне;

отсутствие стабильной системы государственных гарантий для инвесторов, а также эффективных механизмов привлечения инвестиций в возобновляемую энергетику.

**Меры и механизмы, необходимые для привлечения инвестиций в возобновляемую энергетику.**

Организация в Республике Беларусь собственного производства отдельных элементов конструкций для возобновляемой энергетики на основе имеющегося научно-технического потенциала.

Упрощение порядка отведения земельных участков для размещения возобновляемых источников энергии.

Долгосрочный контракт на покупку всей произведенной возобновляемой энергии.

Дифференцированная надбавка к стоимости произведенной энергии как по видам источника энергии, так и по установленной мощности.

Гарантия сохранения (не ухудшения) правовых и экономических условий, определенных законодательством на момент ввода в эксплуатацию установки возобновляемого источника энергии.

Организация подготовки в стране квалифицированных специалистов по проектированию, монтажу, ремонту и техническому обслуживанию ВИЭ.

Снижение предпринимательских и некоммерческих рисков инвестирования, разработка программ комплексного страхования.

### Выводы

1. Сохраняется тенденция роста объема производства электроэнергии в мире, в том числе за счет возобновляемых источников энергии.

2. Беларусь обладает значительным потенциалом возобновляемых источников энергии, который позволяет в ближайшее время существенно сократить объемы импортируемого углеводородного топлива.

3. При замещении энергетических мощностей, использующих углеводородное топливо, возобновляемыми источниками энергии существенно снижается нагрузка на окружающую среду.

4. Возобновляемая энергетика является конкурентоспособной по отношению к другим видам производства энергии, а экологические факторы значительно повышают ее экономическую эффективность.

5. Применение возобновляемых источников энергии вместо ископаемого углеводородного топлива будет способствовать повышению энергетической и экологической безопасности Республики Беларусь.

### Литература

1. Key World Energy Statistics. МЭА, 2013.
2. Бельй О. А., Крыжановский Н. К., Бернацкий А. Е. // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 2012. № 1. С. 83–89.
3. Сб. технико-экономических показателей работы тепловых электрических станций и котельных ГПО «Белэнерго» за 2010 год. Мн., 2011.
4. Renewables 2013. Global status Report. UNEP, 2013
5. Национальная программа развития местных и возобновляемых энергоисточников на 2011–2015 годы. Утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь 10 мая 2011 г. № 586.
6. Государственная программа строительства в 2011–2015 годах гидроэлектростанций в Республике Беларусь. Утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь 17 декабря 2010 г. № 1838.
7. Первое национальное сообщение в соответствии с обязательствами Республики Беларусь по Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Мн., 2003.
8. Пятое национальное сообщение Республики Беларусь в соответствии с обязательствами по Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 2009 г.
9. Методика расчета выбросов диоксида углерода в атмосферу от котлов ТЭС и котельных. Методика 0212.16–99. Мн., 1999.

*O. A. BELY, A. E. BERNATSKI, M. K. KRYZHANOUSKI, F. A. ROZANOWA*

### **RENEWABLE ENERGY IS AN EFFICIENT WAY TO IMPROVE BOTH ENERGY AND ENVIRONMENTAL SECURITY OF REPUBLIC OF BELARUS**

### Summary

The structure of the world electricity production is reviewed. It provides an assessment of actual use of the most promising renewable energy sources in Belarus; an environmental impact assessment of different power sources and fuels; an evaluation of economic efficiency of renewable energy considering environmental factors. It also presents an analysis of the reasons impeding the development of renewable energy in Belarus, and possible solutions.