

# Климатические ресурсы альтернативных возобновляемых источников энергии и возможности ее использования в Беларуси

Г.А. Василенко, П.А. Ковриго

## МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ

Проблема использования возобновляемых источников энергии (альтернативных, нетрадиционных) стоит в ряду важнейших в развитии человечества. В мире широко используются традиционные источники энергии (каменный уголь, нефть, газ, ядерное топливо). Их потребление возросло по экспоненте на протяжении всей истории, что привело к истощению энергетических запасов и, по оценке экспертов [2], к 2025 г. может возникнуть их дефицит.

В одних странах недостаток топлива ощущается еще не так заметно, в других, в том числе и в Беларуси, – это становится острой проблемой. Подсчитано, что с начала своего существования человечеством израсходовано 850 тысяч млрд. киловатт-часов первичной энергии, то есть энергии, образующейся при горении тех или иных видов топлива [56]. Особенно быстро она расходовалась в последние сто лет. Так, потребление угля за период 1950-1998 г.г. возросло в 2 раза, нефти—примерно, в 8 раз, природного газа – в 11,5 раз [42]. Суммарное производство электроэнергии в мире в 1994 г. составило 12680 млрд. кВт·ч. По сравнению с 1990 г. это потребление увеличилось на 7,6 %.

Как известно, использование невозобновляемых традиционных источников энергии в зарубежных странах привело к энергетическому кризису 70-х и 80-х годов прошлого столетия, связанному с ростом стоимости

этих источников. После энергетического кризиса стало понятно, что запасы ископаемых видов топлива истощаются.

Кроме того, возрастающее использование традиционных источников энергии обуславливает загрязнение окружающей среды, увеличение выбросов углекислого газа, усиление парникового эффекта атмосферы и потепление климата Земли.

В целях экономии органического топлива, обеспечения экологической и экономической безопасности, устойчивого развития любой страны важное значение имеет решение проблемы использования нетрадиционной энергетики, развивающейся на возобновляемых источниках энергии. К ней относятся *энергия ветра, солнца, внутреннего тепла Земли, биомассы* и др.

В настоящее время во многих странах мира интенсивно ведутся разработки в этом направлении. Современный мир уже получает 1/7 часть электроэнергии от возобновляемых источников энергии. В табл. 1. приведены данные использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ), которое существенно снижает выбросы в атмосферу экологически опасного углекислого газа.

Если рассматривать прогноз развития энергетики до 2020 г., то доля ВИЭ в общем энергетическом балансе стран Европейского экономического сообщества должна возрасти с 5,4 % в 1996 г. до 10 % в 2010 г. и до 12-15 % в 2020 г. [36].

**Таблица 1.** Выработка энергии из ВИЭ в странах Европейского Сообщества [19]

Тип ВИЭ	Выработка энергии, млн. т. нефтяного эквивалента		Общие капитальные затраты в 1997-2010г.г., млрд. долл.	Снижение выбросов CO <sub>2</sub> к 2010 г., млн. м/год
	1995 г.	2010 г.		
Ветроэнергетика	0,35	6,90	34,56	72
Гидроэнергетика	26,40	30,55	17,16	48
Фотоэлектрическая энергетика	0,002	0,26	10,80	3
Биомасса	44,80	135,00	100,80	255
Геотермальная энергетика	2,50	5,20	6,00	5
Солнечные тепловые коллекторы	0,26	4,00	28,80	19
Всего	74,30	182,00	198,12	402

В 1995 году в Европе на долю возобновляемых источников энергии приходилось 74,3 млн. т нефтяного эквивалента (т.н.э.), или около 6 % общего потребления первичных энергоносителей. Из них на долю биомассы приходило 44,8 млн. т.н.э. (60 % общего вклада ВИЭ). Планируется, что к 2010 г. в Европе за счет ВИЭ будет производиться 182 млн. т нефтяного эквивалента.

В области использования *энергии ветра* наибольшие успехи достигнуты в США и Западной Европе. Во многих промышленно развитых странах созданы национальные программы, стимулирующие исследования, разработку и выпуск промышленностью ветряных двигателей, солнечных батарей и установок по использованию органических и древесных отходов. Подобные программы имеются в США, Англии, Канаде, ФРГ, России, Дании, Швеции, Индии и других странах.

Опыт показывает, что себестоимость электроэнергии, которую производят небольшие ветроагрегаты, в 1,7-2,0 ниже в сравнении с себестоимостью энергии, производимой традиционными дизельными установками такой же мощностью.

Лидирующее место в использовании энергии ветра занимает Германия. Здесь, как и во многих

европейских странах, ведется разработка группового размещения ветроагрегатов в прибрежных зонах Северного и Балтийского морей.

Одним из перспективных направлений использования ВИЭ является *гелиоэнергетика*. Так, исследования Финских ученых показали, что имеются все возможности для развития гелиоэнергетики не только в южных, но и в северных районах страны. Ими уже создана гелиоустановка в г. Инко, которая является самой северной установкой в мире и которая включена в единую энергетическую систему страны. Здесь получают гелиоэлектричество благодаря использованию устройств, в которых энергия солнечных лучей непосредственно преобразуется в энергию электрического тока.

В Японии суммарная мощность гелиоэлектрических станций достигает 150 тыс. кВт. К настоящему времени за счет Солнца она обеспечивает 2 % потребностей страны в электроэнергии, а к 2010 г. эта доля составит 3 % [6].

Широко используются солнечные батареи Германии. В крупных городах крыши многих домов оснащены фотоэлектрическими установками, превращающими энергию солнца в электрическую. Большое внимание уделяется развитию гелиоэнергетики в

других развитых странах мира, в которых введены в действие или сооружаются солнечные станции. Это Франция, США, Испания, Италия.

Мировой Энергетический Совет прогнозирует, что в 2020 году стоимость гелиоэлектроэнергии составит 2-3 центра за 1 кВт/ч

Наиболее широко используемым видом *биомассы* (БМ) для выработки тепловой и электрической энергии является древесина. В странах ЕС количество энергии, полученной из твердой БМ (в основном древесной), составляет в настоящее время около 3,0 % общего потребления энергоресурсов. Планируется к 2010 г. увеличить этот показатель до 5,5 %.

В США приоритетным направлением использования БМ является выработка электроэнергии и производства жидких топлив (в первую очередь этанола). В настоящее время работает около 500 электростанций общей мощностью 8500 мВт.

В Голландии из зеленой биомассы и через газификацию древесины и ферментацию сахаров добываются кетоны или спирты (метанол, этанол, бутанол). Спирты имеют очень высокое октановое число и являются заменителем высококачественного топлива.

В Бразилии уже с 1981 г. из биомассы получают 4,2 миллиона литров этанола, на котором работают все автобусы крупнейших городов страны. В США этанол получают из отходов кукурузы. Метанол можно получать из любого сырья, содержащего углеводы и водород.

Мировой опыт свидетельствует, что развитие и использование ВИЭ имеет ряд положительных сторон:

1. Широкое применение ВИЭ способствует снижению промышленного загрязнения окружающей среды, препятствует сведению лесов и улучшает условия жизни людей.

2. Уменьшает поступления продуктов сгорания органического топлива в атмосферу, ведущее к увеличению концентрации углекислого газа и глобальному потеплению климата.

3. Снижает долю потребления традиционных видов топлива (нефть, газ, уголь и др.), что является важнейшим направлением устойчивого развития любого государства.

4. Позволяет снизить затраты на транспортировку традиционных видов энергии. Так, по подсчетам П.П. Безруких [4], расход топлива на его доставку потребителям составляет около 20 % от объема транспортировки.

5. Использование ВИЭ позволяет решить проблему обеспечения электроэнергией большого числа мелких территориально разобщенных потребителей, снабжения энергией районов с разной плотностью населения, в том числе сильно населенных центральных и труднодоступных малонаселенных территорий.

В Беларуси также уделяется внимание проблеме использования возобновляемых источников энергии поскольку республика не располагает достаточными природными топливно-энергетическими ресурсами (ТЭР) и около 85 % их вынуждена закупать. Собственными топливно-энергетическими ресурсами республика обеспечена в объеме около 16 % от общего потребления. В табл. 2 приведены показатели импорта (%) основных видов энергоресурсов в республике[57].

**Таблица 2.** Показатели импорта основных видов энергоресурсов в республике (%)

Наименование	1995 г.	1996 г.	1997 г.	1998 г.
Нефть	30,7	28,3	28,0	26,9
Газ природный	86,0	91,1	103,2	102,0
Уголь каменный	50,4	40,5	31,9	29,1
Электроэнергия	76,4	91,2	81,7	113,5

Для получения конкретных оценок по выработке энергии путем использования ВИЭ необходимы, с одной стороны, надежные сведения о характеристиках радиационного и ветрового режимов, первичной биологической продуктивности, производственных отходах биомассы, а с другой - о технических параметрах современных и перспективных энергетических установках.

*Климатические ресурсы и энергетический потенциал климата* Беларуси определяются солнечной радиацией, режимом ветра, термическим режимом, режимом увлажнения, первичной биологической продукцией (биомассой). Знание особенностей и закономерностей климата, факторов его образующих особенно важно при проектировании и планировании разработок по использованию в хозяйстве республики энергии ветра, Солнца, биомассы и других нетрадиционных (альтернативных) источников энергии.

## РЕСУРСЫ ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГИИ

Мировые тенденции свидетельствуют о том, что энергия ветра является перспективным источником постоянно возобновляемой энергии и в Беларуси. На основании анализа климатических характеристик ветра нами получены количественные данные, которые подтверждают целесообразность эксплуатации ветроэнергетических установок в республике с умеренной скоростью ветра (3-5 м/с), поскольку существуют ветроэнергостанции для выработки электроэнергии при небольших скоростях ветра (2-5 м/с). Эффективность работы ветроэлектрических станций увеличивается в два и более раза в холодный период в связи с увеличением скорости ветра по сравнению с теплым периодом.

Ветер, как энергетический источник, характеризуется большой изменчивостью. Это приводит к

изменению кинетической энергии ветрового потока в больших пределах даже в относительно короткие промежутки времени: от нулевой энергии при штилях и до во много раз превышающей расчетную в периоды ураганных скоростей.

Основными характеристиками ветрового режима являются скорость ветра, направление ветра, изменение скорости ветра по градациям, суточный и годовой ход скорости. Для исследования ветрового режима территории Беларуси были использованы данные наблюдений сети метеостанций.

Территория Беларуси расположена севернее оси Воейкова. В зимний период территория республики находится под влиянием северо-западных и западных циклонов [30]. Давление понижается к северу и северо-востоку. Область более высокого давления устанавливается на юге и юго-востоке. Это обуславливает преобладание в зимний период юго-западных и западных ветров, повторяемость которых составляет 40 %.

На движение воздуха большое влияние оказывает характер подстилающей поверхности (лесные массивы, возвышенности, болота, речные долины), которая обладает значительной шероховатостью. Поверхность Беларуси представляет собой чередование холмистых возвышенностей с плоскими равнинами, или слабоогнутыми низинами. Возвышенности занимают около 30 % территории, плато – 10 %, а остальные – 60 % территории приходится на низменности.

Северная и южная части республики характеризуются относительно равнинным рельефом. Поэтому в северной части, наряду с юго-западным направлением, большую повторяемость имеет южное, а в южной части преобладает западное направление.

В летний период, с июня по август, преобладают ветры северо-западного и западного направления. Сравнительно редки в летние месяцы ветры восточной четверти горизонта.

В переходные периоды, особенно весной (в апреле и мае), ветры всех направлений почти равновероятны, однако, более выражены ветры ЮВ направления.

В осенние месяцы преобладающими становятся ветры юго-западного румба. Однако, на юге республики большую вероятность имеет ветер западного направления. Из-за чередования циклонов и антициклонов погода в республике отличается неустойчивостью. Особой изменчивостью характеризуются весна и осень.

Скорость ветра является характеристикой неисчерпаемых энергетических ресурсов непрерывно движущихся воздушных масс. Режим скоростей ветра, кроме общей циркуляции атмосферы, в значительной степени определяется физико-географическими условиями местности. Приземный ветер находится в тесной зависимости от условий подстилающей

поверхности (вершины, долины, лесные массивы, водная поверхность и т. д.). Естественно, что на возвышенностях или открытых выпуклых формах рельефа ветры сильнее, чем на равнинной местности и низинах.

Средняя годовая скорость ветра на открытых местах центральной возвышенной части республики составляет около 4 м/с, а в южной пониженной части, защищенной грядами холмов со стороны господствующих ветров около 3,5 м/с (табл. 3). В отдельных районах, расположенных в чашеобразных понижениях, на лесных полянах, скорость ветра снижается до 3 м/с. Максимальные среднемесячные скорости ветра наблюдаются в холодный период (ноябрь-март), когда активизируется циклоническая деятельность. Минимальные - в конце лета, когда уменьшается повторяемость прохождения циклонов

**Таблица 3.** Среднемесячные скорости ветра ( м/с )

Станции	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ср. V, м/с
Витебск	4,7	4,5	4,3	4,1	3,9	3,7	3,4	3,3	3,6	4,2	5,0	4,8	4,1
Минск	4,9	5,0	4,7	4,4	4,1	3,9	3,6	3,5	3,7	4,3	4,8	5,0	4,3
Могилев	4,3	4,1	4,0	3,6	3,4	3,2	3,0	2,8	2,9	3,5	4,1	4,1	3,6
Брест	4,0	4,0	4,2	3,5	3,2	3,1	3,0	2,9	2,9	3,2	3,8	3,8	3,5
Гомель	4,6	4,5	4,4	4,1	3,8	3,5	3,3	3,1	3,3	3,8	4,3	4,3	3,9
Гродно	3,9	3,7	3,9	3,5	3,4	3,1	2,9	2,9	2,9	3,0	3,3	3,9	3,4

В течение всего года наибольшую вероятность имеет ветер со скоростью до 5 м/с; повторяемость этих скоростей зимой составляет 80-85%, летом - 70-75%.

Если рассматривать изменения скорости ветра по грациям в течение года, то штилевые, тихие ветры 0-1 м/с наибольшую вероятность имеют в летнее время, в зимнее время их вероятность меньше в 1,5 раза. Повторяемость таких ветров в течение всего времени года составляет 14-30 % по сравнению с другими грациями скорости ветра. На равнинах повторяемость штилевых

условий варьирует в больших пределах, а на возвышенностях, открытых местах она минимальная.

Умеренные ветры (6-9 м/с) отмечаются в республике на протяжении 6-25 % времени года. Их повторяемость минимальна на Полесье, максимальна - на открытых равнинных и возвышенных участках центральной части Беларуси. В зимний период повторяемость умеренных ветров наблюдается в 1,5-2,0 раза чаще, чем летом.

Зимой особенно хорошо заметны большие скорости преобладающих

направлений ветра. В среднем скорости преобладающих западных и юго-западных ветров в 1,5 раза больше, чем восточных и северо-восточных.

Ветер со скоростью 15 м/с и более называется *сильным ветром*. Число дней с

сильным ветром за год на большинстве метеостанций колеблется от 5 до 10 дней. В пониженных и защищенных местах оно снижается до 2-4 дней (табл. 4).

**Таблица 4.** Число дней с сильным ветром (15 м/сек)

Станции	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Витебск	1,7	1,4	2,1	0,5	0,4	0,5	0,3	0,2	0,1	0,7	0,7	1,3	9,9
Полоцк	1,0	0,8	1,1	0,3	0,1	0	0,1	0,2	0,1	0,6	0,3	0,6	5,3
Могилев	0,9	1,3	1,8	0,5	0,8	1,0	0,2	0,7	0,3	1,4	0,8	0,4	10,1
Брест	0,5	0,3	0,4	0,2	0,1	0	0	0	0,2	0,1	0,2	0,1	2,1
Житковичи	0,2	0	0,1	0,3	0,4	0,1	0	0,1	0	0,2	0	0	1,4
Гродно	0,5	0,2	0,7	0,5	0	0	0,1	0,1	0,3	0,3	0,5	0	3,2
Новогрудок	0,2	0,6	0,4	0	0	0	0	1,0	0	1,0	0	1,0	1,5
Василевичи	0,6	0,8	1,1	0,5	0,4	0,5	0,3	0,6	0,7	0,2	0,7	0,2	6,6
Борисов	0,6	0,5	0,7	0,6	0,1	0,4	0	0,1	0,2	0,6	0,1	0,7	4,6
Слуцк	1,1	0,8	1,3	0,5	0,4	0,1	0	0,5	0,6	1,1	0,7	0,6	7,7

Наибольшее количество дней с сильным ветром наблюдается в период январь-март, когда циклоническая деятельность наиболее активна, наименьшая – август-сентябрь.

Сильные ветры преимущественно бывают западных и юго-западных направлений, на эти два направления их в среднем приходится более 50 %. Реже всего наблюдаются ветры восточного и северо-восточного направлений.

При проектировании ВЭУ имеет большое практическое значение расчет продолжительности скорости ветра в часах. Используя данные о повторяемости различных градаций скорости ветра, были определены значения продолжительности этих градаций в часах за год, которые представлены в табл. 5. Расчет производился следующим образом. Повторяемость каждой градации делится на 100 % и умножается на общую продолжительность года (8766 ч.).

**Таблица 5.** Продолжительность скорости ветра в часах / год по различным градациям

Станции	Градации скорости ветра (м/с)			
	0-1	2-5	6-15	16-20
Витебск	1830,8	4818,0	2242,6	43,8
Минск	1204,5	5174,2	2391,5	19,3
Новогрудок	1506,7	5028,2	2216,3	10,5
Гомель	2181,2	4581,5	1918,4	70,1
Василевичи	2391,5	5282,3	1074,5	21,0
Брест	2172,5	5168,4	1392,8	21,9
Полоцк	1743,2	4747,6	2233,8	35,0
Горки	1979,8	4791,7	1988,5	11,4
Слуцк	2084,9	4870,6	1787,0	12,3
Пружаны	2515,0	4480,7	1471,7	43,8

Анализ данных показывает, что ветер со скоростью 0-1 и 6-15 м/с, имеет продолжительность 1200-2200 час/год, продолжительность ветра со скоростью 2-5 м/с составляет более 4500 час/год, со скоростью 16-20 м/с - менее 100 час/год. Наибольшая продолжительность скоростей ветра в интервалах 0-1 м/с и 2-5 м/с наблюдается в южных областях республики. Для ветровых условий нашей республики практически важными являются ВЭУ с начальной и номинальной скоростями, не превышающими соответственного 2 и 5 м/с. Наибольшая продолжительность ветра со скоростью 6-15 м/с наблюдается в северо-восточной и центральной частях республики. Со скоростью ветра 16-20 м/с - на равнинных участках, занимающих южные и северные районы.

Анализ суточного хода скорости ветра свидетельствует о том, что для всей территории республики характерно увеличение среднемесячных скоростей ветра в течение дня к 13.00-15.00 ч, а минимальные значения наблюдаются в 3.00-5.00 ч утра. Значения удельной мощности ветрового потока в период с 13.00 до 15.00 ч в 1,2 раза больше, чем в период 6.00-9.00 и 18.00-21.00 ч. Следовательно, наибольшая производительность ВЭУ будет достигнута в 13.00-15.00 ч.

Следует отметить, что ни одна ВЭУ не может получить потенциальную энергию полностью. При малых скоростях ( $V < V_0$ ), где  $V_0$  – начальная «скорость трогания», ветровое колесо вообще не вращается. То же самое наблюдается и при очень больших скоростях ( $V > V_m$ ), при которых колесо автоматически выводится из-под ветра. Рабочим диапазоном скоростей является лишь интервал  $V_m > V > V_0$ . Причем от начальной скорости до «скорости регулирования»  $V_p$  (расчетной скорости) ВЭУ работает в неустойчивом режиме при переменной частоте вращения ветроколеса. А начиная с  $V_p$  до  $V_m$  осуществляется автоматическое регулирование, вследствие которого ветровое колесо при любой скорости

ветра в этом интервале вращается с той же угловой скоростью, как и при скорости регулирования  $V_p$ .

Для определения удельной мощности ветроэнергоресурсов  $N_e$  (Вт/м<sup>2</sup>) по данным о среднемесячных и среднегодовых значениях скорости ветра используются формулы [20]:

$$N_e = 0.613 * 1,9 * V^3 = 1,16 * (v)^3, [1]$$

Для определения удельной мощности ветрового потока по градациям в [47] предлагается использовать формулу:

$$N_{e(град)} = 0,613 * V^3 * f(v) / 100, [2]$$

где  $f(v)$  - дифференциальная повторяемость скорости ветра по градациям,

Для расчета потенциальной энергии использованы значения средней скорости ветра ( $V_{cp}$ , м/с) для каждого месяца и года, а для расчета утилизированной энергии использованы значения  $V_p$  («скорость регулирования») = 7,7 м/с;  $V_0$  («скорость трогания») = 4,0 м/с. Значения утилизированной энергии в 2,5 раза меньше потенциальной.

По данным, полученным при использовании формулы [1, 2], были выявлены особенности годового хода пространственного распределения повторяемости энергии ветра по направлениям. В результате произведенных расчетов можно сказать, что при западной и юго-западной четверти зимой и западной и северо-западной – летом определены наибольшие значения удельной мощности ветра. Средняя повторяемость энергетических ветров на всех метеостанциях (2-20 м/с) находится в пределах 65-80 %, а ветров со скоростью 4-20 м/с – 45- 65 %.

Удельная мощность ветрового потока ( $N_e$ ) была рассчитана согласно распределения скорости по градациям, что позволяет определить ландшафтные районы, наиболее перспективные для развития ветроэнергетики, а также

составить общее представление о их вкладе в топливно-энергетических баланс республики.

Наибольшее количество энергии может быть получено в зимний период. Наиболее благоприятными в этом отношении являются холмисто-моренные возвышенности (Новогрудская, Минская, Витебская, Городокская, Оршанская), занимающие северо-восточную и центральную части республики, где

отмечаются наибольшие среднемесячные скорости ветра - 5,0 м/с. Максимальные значения удельной мощности ветрового потока здесь превышают 150 Вт/м<sup>2</sup> (табл. 6, 7).

В летнее время ветроэнергоресурсы уменьшаются по сравнению с зимним периодом, значения удельной мощности ветрового потока в данный период менее 100 Вт/м<sup>2</sup>.

**Таблица 6.**Изменение значений удельной мощности ветрового потока  $N_e$  (Вт/м<sup>2</sup>) с высотой

Станции	10 м				25 м				50 м			
	январь		июль		Январь		июль		Январь		июль	
	V, м/с	$N_e$ , Вт/м <sup>2</sup>	V, м/с	$N_e$ , Вт/м <sup>2</sup>	V, м/с	$N_e$ , Вт/м <sup>2</sup>	V, м/с	$N_e$ , Вт/м <sup>2</sup>	V, м/с	$N_e$ , Вт/м <sup>2</sup>	V, м/с	$N_e$ , Вт/м <sup>2</sup>
Минск	4,9	140	3,6	55	5,6	200	4,1	80	6,4	300	4,7	120
Новогрудок	4,8	130	3,2	40	5,5	190	3,7	60	6,2	250	4,2	90
Полоцк	5,0	145	3,4	45	5,7	215	3,9	70	6,5	320	4,4	100
Василевичи	3,5	50	2,6	20	4,0	75	3,0	30	4,6	115	3,4	45

**Таблица 7.**Соотношение между плотностью мощности ветра (Вт/м<sup>2</sup>) и средней скоростью ветра на уровнях 10 м, 50 м, 100 м

	Высота над поверхностью земли, м					
	10 м		50 м		100 м	
	Плотность мощности ветра, Вт/м <sup>2</sup>	Средняя скорость ветра, м/с	Плотность мощности ветра, Вт/м <sup>2</sup>	Средняя скорость ветра, м/с	Плотность мощности ветра, Вт/м <sup>2</sup>	Средняя скорость ветра, м/с
1	2	3	4	5	6	
20		2,6	40	3,3	60	3,7
30		3,5	60	3,8	90	4,3
50		4,1	100	4,4	150	5,0
100		4,4	200	5,6	300	6,3
125		4,8	250	6,0	375	6,9
150		5,1	300	6,4	450	7,3
180		5,4	360	6,8	540	7,7



Важной характеристикой ветрового потока является его вертикальный профиль--изменение скорости ветра по высоте. Влияние земной поверхности на скорость ветра и направление уменьшается по мере увеличения высоты. Следовательно, скорость с высотой возрастает, а порывистость и ускорение потока снижаются. Градиент скоростей ветра летом меньше, чем зимой. Это объясняется тем, что вертикальный перепад температур относительно небольшой.

Лопастей ветродвигателя располагаются обычно на значительной высоте от 10 м до 50 м и более, следовательно, для определения ветроэнергоресурсов климатические характеристики ветра должны рассматриваться на указанных высотах. Скорость ветра на высоте 50 м определяется путем экстраполяции данных наблюдений по флюгеру (10-11 м). Этим методом была определена скорость ветра и рассчитаны потенциальные ветроэнергоресурсы на высотах 25 м и 50 м. Данные свидетельствуют (табл. 6, 7), что значения скорости ветра с высотой увеличивается в 1,2 раза, а удельной мощности в 2,0 раза.

Основная проблема использования энергии ветра в Беларуси состоит не в отсутствии достаточного энергетического потенциала, а в возможности и способности его освоения. Правильный выбор места размещения ВЭС и разработка новых ветроустановок, обеспечивающих максимальный съем энергии при относительно слабых ветрах позволит начать широкомасштабное освоение ветровой энергии в условиях республики и сэкономить 2 млн. т.у.т. в год.

## РЕСУРСЫ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

При использовании солнечной энергии существует ряд проблем. Это проблемы её концентрации, накопления и

сохранения, поскольку она очень рассеяна. Солнечные электростанции (СЭС) занимают большие площади, их использование при массовом строительстве может привести к изменению скорости ветра на данной территории, характера почв и растительности.

Количество солнечной радиации, поступающей на земную поверхность, зависит от времени года и суток, широты места, облачности и прозрачности атмосферы, закрытости горизонта. Географическая широта определяет угол падения солнечных лучей, долготу дня и продолжительность солнечного сияния, и этим самым, влияет на энергетический потенциал солнечной радиации.

Важным энергетическим показателем ресурсов солнечной радиации является *продолжительность солнечного сияния*, которая характеризует поступление прямых солнечных лучей в часах при открытом диске солнца. Продолжительность солнечного сияния определяется широтой места, временем, когда Солнце находится над горизонтом, атмосферной циркуляцией и связанной с ней облачностью. Продолжительность солнечного сияния уменьшается в городах из-за запыленности атмосферы и затененности городскими постройками.

На территории Беларуси продолжительность солнечного сияния за год увеличивается с севера, северо-запада на юг, юго-восток от 1750 до 1870 часов, что составляет 40 % от возможного (рис. 1) [7]. В остальное время солнечный диск закрыт облаками, а на земную поверхность поступает рассеянная радиация. В годовом ходе максимум продолжительности солнечного сияния приходится на июнь, а минимум—на декабрь. В июне она меняется от 265 до 290 часов, а в декабре—от 25 до 35. На теплое время года приходится 80 % годовой продолжительности солнечного сияния. Число дней без солнца уменьшается с севера на юг от 100–115 до 93-100 [4].

Средний годовой приход суммарной радиации изменяется от 4100 МДж/м<sup>2</sup> на юге республики до 3500 МДж/м<sup>2</sup> (85-97 ккал/см<sup>2</sup>) на севере (рис. 2) [7]. Облачность существенно снижает поступление прямой радиации и увеличивает рассеянную. Суммы тепла за счет рассеянной радиации составляют примерно 55 % от годовой величины суммарной радиации. Только в теплый период прямая радиация ненамного превосходит рассеянную.



**Рис.1.** Продолжительность солнечного сияния (час/год)

В годовом ходе максимум суммарной радиации приходится на июнь, когда она 11-15 раз больше, чем в декабре, что объясняется увеличением высоты солнца и уменьшением облачности в теплый период.

Приведенные данные распределения продолжительности солнечного сияния и суммарной радиации, закономерностей их изменения по сезонам года позволяют определить периоды наибольшей экономической эффективности работы гелиоустановок, возможности дальнейшего развития гелиоэнергетики в республике.

Чтобы представить энергетическую величину солнечной радиации на территории Беларуси, отметим, что для покрытия всех потребностей республики в электроэнергии достаточно задействовать суммарную площадь земной поверхности эквивалентную площади квадрата со

стороной 18 км, или 0,5 % всей площади территории нашей страны (площадь Минска в пределах кольцевой дороги). Для этого необходимо использовать крыши домов, ферм, непригодные для сельского хозяйства земельные участки.



**Рис.2.** Суммы суммарной солнечной радиации (МДж/м<sup>2</sup> год)

В Беларуси используются устройства, работающие за счет солнечной энергии. Это электропастухи на солнечных батареях (выпускают минская фирма «Электрет» и новополоцкий завод «Измеритель»). На Гомельском химическом заводе получены первые образцы главного компонента солнечных батарей – кремния, который может производиться из отходов химического производства. Известно, что одним м<sup>2</sup> солнечного коллектора можно отопить 5 м<sup>2</sup> площади жилого помещения. Эти показатели зависят от климатических условий, прежде всего от продолжительности солнечного сияния, интенсивности солнечной радиации и температуры воздуха.

Однако, в ближайшей перспективе, основными направлениями использования энергии солнца будут гелиоводоподогреватели (ГВН) и различные гелиоустановки для интенсификации процессов сушки и подогрева воды в сельскохозяйственном производстве.

В республике разработаны и подготовлены к крупносерийному производству ГВН со сварными полиэтиленовыми коллекторами. При благоприятных экономических и производственных условиях можно рассчитывать на самое широкое использование ГВК в южных районах республики. За счет использования солнечной энергии к 2005 г. возможно замещение около 5 тыс. т. у. т.

## ЭНЕРГИЯ БИОМАССЫ

Под термином биомасса (БМ) понимаются углеродсодержащие органические вещества растительного и животного происхождения (древесина, древесные отходы, солома, навоз, сельскохозяйственные отходы и т. д.).

Беларусь обладает значительными лесными ресурсами. Общая площадь лесов составляет 8 676,1 тыс. га, запас древесины более 1100 млн. м<sup>3</sup>. Ежегодный прирост составляет 32,37 млн. м<sup>3</sup>, средний прирост за вычетом опада - 25 млн. м<sup>3</sup>. Прогнозируется систематический и устойчивый рост ресурсов лесного сырья (до 1,7 раза к 2015 г.) на фоне улучшения возрастного и породного состава лесов. Леса и отходы их переработки в Беларуси обладают достаточно высокими возможностями для решения энергетических задач.

Широкое использование древесной биомассы в качестве топлива может обеспечить до 15 % ее собственного потенциала энергоресурсов, хотя в настоящее время доля древесного топлива в общем энергобалансе составляет 5%, тогда как в Австрии и Финляндии - 13-15 % при равной лесистости.

Отсутствие собственных значительных топливно-энергетических ресурсов ставит задачу более полного использования возобновляемого

энергетического источника – древесной массы (тонкомера, дров, некондиционной древесины, лесосечных отходов, отходов лесопиления и деревообработки).

Ресурсы топливного древесного потенциала Беларуси состоят из:

1. Древесной массы, заготавливаемой в порядке:
  - а) главного пользования лесов;
  - б) рубок ухода за лесом;
  - в) санитарных рубок;
  - г) прочих рубок.

В состав последних включаются сплошные санитарные рубки, рубки реконструктивные, а также расчистка площадей под разработки торфа, песка, гравия и др. нерудных материалов и т. д.

2. Отходами лесозаготовок.
3. Отходами лесопиления, образуемыми в результате переработки древесины [5].

Основными производителями древесной массы для топливных целей являются Минлесхоз Беларуси и концерн Беллесбумпром. Древесная масса на топливо используется в объеме: дрова – 2,8 млн. м<sup>3</sup>/год (около 700 тыс. т. у. т.), древесные отходы – 0,5 млн. м<sup>3</sup>/год (около 100 тыс. т. у. т.).

Приведенные в табл. 8 данные показывают, что лесные ресурсы и их перерабатывающие хозяйственные отрасли являются устойчивым поставщиком возобновляемых топливно-энергетических ресурсов Беларуси. В настоящее время эти отрасли могут обеспечить поставку 1,5 млн. т. у. т. древесного топлива в год с ростом поставок до - 2,5 млн. т. у. т. в год на период до 2015 года. Положительной стороной является тот факт, что древесно-топливные ресурсы в основном равномерно распределяются по территории республики. Рациональное их использование может обеспечить существенное снижение потребности в углеводородном ископаемом топливе и его производных.

**Таблица 8.** Общий запас ресурсов производства древесного сырья в Беларуси, пригодного для использования в качестве топлива (прогноз по всем видам лесозаготовок и видам потребления<sup>\*\*</sup>)

Виды древесного сырья		Среднегодовые ресурсы, млн.м <sup>3</sup>			
		До 2000 г.	2001-2005	2006-2010	2011-2015
		Древесные ресурсы			
1	Деловая, всего	7,7	9,6	12,3	14,6
2	В том числе мелкотоварной	1,0	1,1	1,6	2,3
3	Дрова	4,5	5,3	5,9	6,2
4	Всего мелкотоварной и дров	5,5	6,4	7,5	8,5
5	Отходы лесозаготовок (реальнодоступные)	2,0	2,7	3,3	3,8
6	Отходы лесопиления	1,7	2,1	2,7	2,8
7	Всего древесно-топливное сырье*	8,2	10,1	11,9	12,8

\* В строке 7 «всего древесно-топливное сырье» – сумма строк 3 «дрова», 5 «отходы лесозаготовок», 6 «отходы лесопиления». Строка 2 «в том числе мелкая» включена в ресурс как сырье для технологических целей и на экспорт.

\*\* В прогноз не включены объемы технически доступной древесной массы от других видов деятельности и древесина, загрязненная нуклидами.

В республике имеется определенный опыт использования древесной биомассы и других органических отходов в энергетических целях. Все необходимое оборудование, предназначенное для выработки энергии, выпускается на собственных предприятиях. При этом используются различные технологии получения тепла— паротурбины, газогенераторные и котловодогрейные циклы преобразования биомассы в тепло,

Кроме того, успешно могут использоваться и другие виды органического вещества в качестве источника энергии. Например, на Поставском льнозаводе освоили японскую технологию получения топлива. С отходов льнопереработки здесь производят кастробрикеты, которые

по теплоотдаче не уступают каменному углю

На основе проведенных исследований можно сделать вывод, что использование нетрадиционных видов топлива уже вошло в экономические программы развитых стран мира. С учетом мировых тенденций в Республике Беларусь необходимо проводить интенсивные исследования по разработке и усовершенствованию систем и технологий, изучению и снижению возможных неблагоприятных последствий их эксплуатации, налаживанию массового производства дешевых портативных и мощных ветровых, солнечных и биологических станций и систем для получения тепловой и электрической энергии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Безруких П.П.* Экономические проблемы нетрадиционной энергетики. // Энергия: экономика, техника, экология. 1995. № 8. С. 23-29.

2. *Богуславский Э.И.* Перспективы и проблемы освоения геотермальных ресурсов России// Гидротехн. стр-во. 1995. № 6. 11 с.

3. Изменения климата и использование климатических ресурсов. Под общей ред. П. А. Ковриго. Мн., БГУ. 2001. 262 с.

4. Климат Беларуси. Под ред. чл.-корр. Логинова В.Ф. Мн., 1996. 234 с.

5. *Гелетухина Г.Г., Железная Т.А.* Обзор современных технологий сжигания древесины с целью выработки тепла и

электроэнергии // Экотехнологии и ресурсосбережение, 1999. № 5. – 3 с.

6. Климатические ресурсы Беларуси и их рациональное использование. - Мн., 1996.

7. *Каўрыга П.А., Василенка Г.А.* Сумарная радыяцыя // Атлас Рэспублікі Беларусь. Мн.: 2004.

8. *Ковриго П.А. Василенко Г.А.* Возможности использования ветровой энергии в Беларуси // Вестник БГУ. – 1998. - № 1. С. 57-60.

9. *Малик Л.К.* Проблемы развития нетрадиционной энергетики // Известия АН РГО. Серия географическая. 1999. № 4. 30с.

10. *Переведенцев Ю. П. Николаев А.А.* Климатические ресурсы солнечной радиации и ветра на территории Среднего Поволжья и возможности их использования в энергетике. Казань, 2002. 120 с.

11. *Переведенцев Ю.П., Матвеев Ю.Л., Гудрий В.Д.* Основы экологии атмосферы. – Изд-во Каз. ун-та. Ч. 2. 2001.

12. Рекомендации по определению климатических характеристик ВЭР. - Л., 1989. - 16 с.

13. *Уваров Г.Я., Ершов А.А.* Солнечная энергетика. - М. : Знание, 1974. - 37 с.

14. *Черноусов С.В., Руднева С.П.* Энергосбережение как средство решения экологических проблем. // Энергоэффективность. 1999. № 11. С. 34-41.

