

УДК 551(556.3+521.37)::620.916

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КЛИМАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА СОЛНЕЧНОЙ И ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

И. П. Расторгуев, А. Н. Неижмак

*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж*

Изложены теоретические предпосылки использования альтернативной энергетики, алгоритм и результаты расчета климатических ресурсов для использования установок преобразования энергии ветра и Солнца, а так же их динамика за двадцатилетний период по территории Воронежской области. Приведены предложения по повышению эффективности энергопреобразующих установок. Показана целесообразность комплексного использования энергии Солнца и ветра в качестве дополнительного или резервного источника электроснабжения в автономных условиях, в том числе в умеренных широтах европейской части России (на примере Воронежа).

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА, КЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ.

Последние десятилетия наметилась тенденция к выходу альтернативной энергетики на уровень государственных научных и экономических программ. Речь идет, прежде всего, о возобновляемых источниках энергии.

Полноценной замены традиционных источников энергии альтернативными на сегодняшний день не достигнуто ни в одном государстве мира и в ближайшие годы такой сценарий не подтверждается научными расчетами. Однако уже не редки случаи, когда альтернативная энергетика занимает экономически значимый сегмент в различных промышленных сферах. Прежде всего, это касается территорий с благоприятными физико-географическими условиями: наличие термальных вод, расположение на побережье, на наветренных склонах или в субтропических широтах с ярко выраженным преобладанием солнечных дней. Тем не менее, ресурсы альтернативных источников энергии весьма значительны и в других регионах – не имеющих ярко выраженных благоприятных природных факторов. Сказанное в полном объеме относится и к средней полосе европейской территории Российской Федерации. Данные территории являются своеобразными зонами «рискованного применения». Рискованными – в плане оправданности вложения средств в альтернативную энергетику в данных регионах. Исходя из сказанного, оценка климатических ресурсов использования альтернативной энергетики, в частности потенциально пригодных для преобразования энергии ветра и Солнца, является актуальной задачей.

Использование альтернативной энергетики может быть оправдано и в случае отсутствия экономической целесообразности, поскольку возобновляемые источники энергии обладают экологичностью, к тому же могут быть использованы в нестандартных ситуациях: при обеспечении подразделений силовых структур в автономных условиях или при ликвидации последствий стихийных или техногенных бедствий. Реальной доступностью, в оговоренных ограничениях, обладают энергетические ресурсы ветра и солнечного света у поверхности Земли.

Данные технологии также обладают определенными недостатками.

Использование солнечных батарей возможно только в светлое время суток и, преимущественно, при малооблачной погоде (при увеличении количества и плотности облачности эффективность батарей значительно снижается).

Переработка энергии воздушного потока в электроэнергию возможна только в определенном диапазоне скоростей ветра. Минимальное значение скорости ветра для работы ветрогенератора 2-3 м/с, при оптимальной скорости – от 7 до 10 м/с. Мачты ветрогенераторов, к тому же, имеют значительную высоту и размах лопастей ротора (как правило, от пяти и полутора метров, соответственно), что при определенных условиях, может являться существенным недостатком.

В умеренных широтах ЕТ РФ средняя скорость ветра у поверхности Земли составляет, как правило, 3-5 м/с, при этом в 15-25% времени снижается ниже критических значений (менее 2,5-3 м/с) [1]. Таким образом, в соответствии с климатической нормой для данной местности, ветрогенераторы мо-

гут использоваться 75-85% времени, но, в основном на минимальных уровнях выработки электроэнергии.

Данные о среднегодовых скоростях ветра служат исходной характеристикой общего уровня интенсивности ветра. По их значениям можно судить о перспективности применения ветряных электростанций (ветрогенераторов) в том или ином районе. Более точную информацию несут данные о повторяемости градаций скорости ветра по пунктам. Это обусловлено тем, что в различных диапазонах скоростей количество вырабатываемой энергии не одинаково и изменяется по нелинейному закону.

Количество солнечных часов в году для умеренных широт ЕТ РФ находится в пределах 1500-2400, что составляет 17-27% времени. Еще 8-14% времени приходится на т.н. «полуясные» дни. Таким образом, от четверти до трети годового времени имеет место прямая солнечная радиация, в остальное световое время присутствует только рассеянная солнечная радиация.

За год на Землю приходит  $10^{18}$  кВт·ч солнечной энергии, всего 2% которой эквивалентны энергии, получаемой от сжигания  $2 \times 10^{12}$  т условного топлива. Эта величина сопоставима с мировыми топливными ресурсами. Так что в перспективе солнечная энергия вполне может стать основным источником электроэнергии на Земле [1].

Поток солнечного излучения, проходящий через площадку в  $1 \text{ м}^2$ , расположенную перпендикулярно потоку излучения на расстоянии одной астрономической единицы от центра Солнца (на входе в атмосферу Земли), равен  $1367 \text{ Вт/м}^2$  (солнечная постоянная). Из-за поглощения, при прохождении атмосферной массы Земли, максимальный поток солнечного излучения на уровне моря (на Экваторе) составляет  $1020 \text{ Вт/м}^2$ . Среднее значение принято считать равным  $1000 \text{ Вт/м}^2$ . Однако следует учесть, что среднесуточное значение потока солнечного излучения через единичную горизонтальную площадку как минимум в три раза меньше (из-за смены дня и ночи и изменения угла солнца над горизонтом). Зимой в умеренных широтах это значение еще в два раза меньше.

Выше были рассмотрены значения приходящей солнечной энергии на горизонтальную площадку, но солнечную батарею можно разместить и вертикально, и под произвольным углом к горизонту, а, соответственно, и к Солнцу. При этом, угол при котором достигается максимальный уровень инсоляции для разных пунктов, отличается и зависит от широты. Например, для Петрозаводска он составляет  $61^\circ$ , для Москвы –  $56^\circ$ , для Астрахани –  $47^\circ$ , для Сочи –  $44^\circ$ . Помимо этого положение батареи можно изменять таким образом, чтобы она была постоянно расположена по отношению к Солнцу на угол близкий к  $90^\circ$ , что позволяет существенно (1,5-1,8 раза) увеличить преобразуемую энергию.

Энергетический потенциал преобразователей солнечной энергии обладает значительной изменчивостью в течение года. На рисунке 1 показана сезонная динамика энергетического потенциала солнечной батареи единичной мощности для Москвы [1, 2].

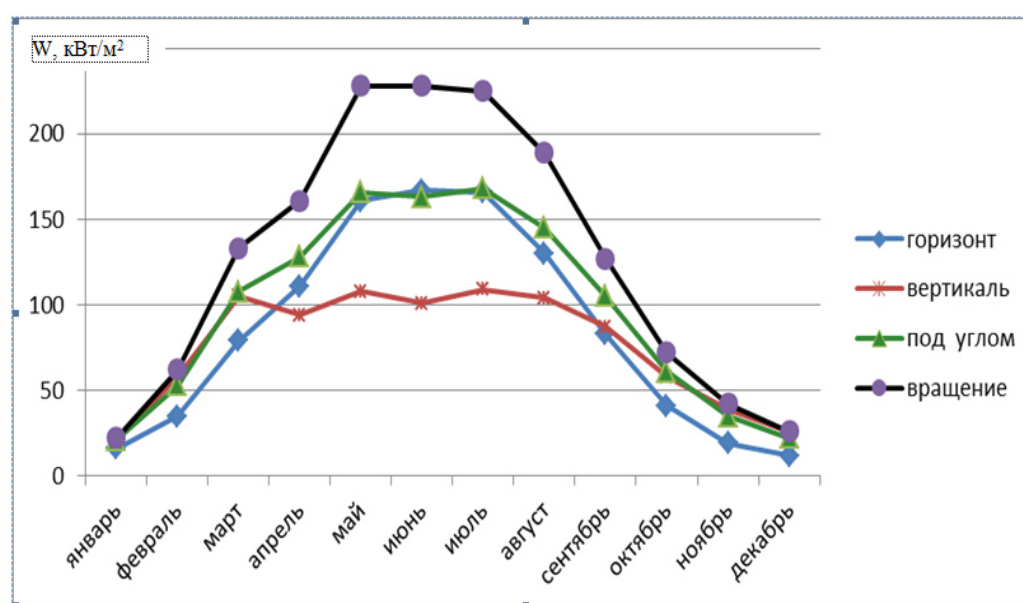


Рис. 1. Сезонная динамика энергетического потенциала солнечной батареи единичной мощности для района Москвы.

Использование в комплексе ветрогенераторов и солнечных батарей, позволяет вырабатывать электроэнергию в течение 80-93% времени. Но это не значит, что оставшееся время оборудование будет обесточено, поскольку современные комплексы позволяют аккумулировать электроэнергию.

Таким образом, исходя из проведенного анализа, можно сделать вывод о подтверждении исходной гипотезы о целесообразности использования для решения оговоренных задач энергии ветра и Солнца.

Рассмотрим современное состояние технологий и технических устройств преобразования энергии ветра и Солнца в электрическую энергию.

Современные ВЭУ, с использованием новейших технологий производства, рассчитаны на срок службы в среднем 20 лет.

В России уже созданы и прошли испытания отечественные модели ветрогенераторов. В разных регионах России разрабатываются не только серьезные проекты создания целых систем ветровой энергетики, но и инвестиционные проекты по развёртыванию производства ветроэнергетических установок мощностью 0,5-10 МВт.

КПД большинства ветрогенераторов составляет около 26% [3].

Не смотря на целесообразность использования преобразователей энергии ветра необходимо отметить, что условия, необходимые для их эксплуатации наблюдаются не всегда. Поэтому рационально рассмотреть и другие возможные источники альтернативной энергии, прежде всего энергии Солнца.

Преимущество солнечных батарей обусловлено отсутствием подвижных частей, их высокой надежностью и стабильностью. Их главное достоинство – предельная конструктивная простота и полное отсутствие подвижных деталей. Как следствие этого – небольшой удельный вес, неприхотливость, максимально простой монтаж и минимальные требования к обслуживанию во время эксплуатации. Представляя собой плоские элементы малой толщины, они не требуют много места и возведения отдельных громоздких конструкций. Ещё одно важнейшее достоинство – это то, что энергия вырабатывается сразу в виде электричества – в наиболее универсальной и удобной на сегодняшний день форме.

Солнечные батареи способны вырабатывать энергию с рассвета до заката даже в пасмурную погоду. КПД данных панелей – приемников солнечной энергии составляет около 12-18% [1].

Практика показала, что срок службы солнечных батарей превышает 20 лет. В тоже время эффективность фотоэлектрических преобразователей падает в течение срока службы. Длительное воздействие высоких температур ускоряет этот процесс.

С учетом нестабильности поступления солнечной радиации на подстилающую поверхность их использование разумно осуществлять в комплексе с ветроэлектрическими установками.

Под комплексными преобразовательными установками подразумеваются технические устройства, позволяющие одновременно преобразовывать энергию от нескольких различных источников, в частности энергии ветра и Солнца.

Исходя из влияния климатических ресурсов на получение электроэнергии из альтернативных источников следует необходимость детального рассмотрения радиационного режима и режима ветра по исследуемой территории.

Климатические ресурсы – неисчерпаемые запасы световой и тепловой солнечной энергии, влаги и всех форм движения воздуха. Играют важную роль в сельскохозяйственном производстве, градостроительстве, при освоении необжитых районов, рекреационном использовании территорий.

В настоящее время экономические затраты на извлечение электроэнергии из возобновляемых источников соизмеримы с затратами на традиционные пути добычи электроэнергии.

Однако, несмотря на достаточно не сложные механизмы извлечения данных видов энергии и относительно дешевизну их преобразования в электроэнергию, существенным препятствием на пути их массового и повсеместного использования является неопределенность с обеспеченностью климатическими ресурсами соответствующих преобразовательных установок [5, 6, 7].

Россия обладает огромным суммарным потенциалом энергии ветра и энергии Солнца, но эти ресурсы распределены крайне не равномерно в силу обширности территории, многообразия климатических и ландшафтных условий. Поэтому рассмотрение климатического потенциала солнечной и ветровой энергетики целесообразно проводить дифференцированно по регионам, отдельным территориям и пунктам.

Воронежская область так же обладает определенным потенциалом альтернативных источников энергии [1]. На территории Воронежской области продолжительность солнечного сияния в среднем за год нарастает с северо-запада (1830-1880 час) на юго-восток (1940-1990 час). Это довольно боль-

шая величина. Исходя из этих данных, можно с уверенностью говорить о том, что использование солнечной энергии, как альтернативной, в Воронежской области является целесообразным.

Наибольшая скорость ветра в области наблюдается в зимнее время – в январе–феврале (до 6,3 м/с), а наименьшая – летом (июнь, июль, август) – около 4 м/с. На большей части области сильные ветры (>15 м/сек) наблюдаются в любое время года. В среднем за год наблюдается до 20 дней с сильным ветром. Однако необходимо иметь в виду, что скорость ветра зависит от рельефа местности, шероховатости поверхности, наличия препятствий, высоты флюгера над поверхностью земли, поэтому ветроэнергетический потенциал (ВЭП) может проявлять значительную пространственную изменчивость даже в одном ограниченном по площади районе. В некоторых пунктах Воронежской области за счет местных особенностей рельефа, число дней с сильным ветром возрастает до 30. Исходя из вышесказанного, следует сделать вывод, что использование энергии ветра в Воронежской области, так же имеет перспективы для дальнейшей разработки.

Фактическая средняя продолжительность солнечного сияния за год в Воронеже составляет 46% возможной продолжительности. В отдельные годы фактически наблюдавшаяся продолжительность солнечного сияния может значительно отклоняться от средних значений. Например, в 1967 г. число часов солнечного сияния составило 2017, а в 1958 г. – всего 1615.

Показателем условий освещенности служит также число дней без солнца. За год по исследуемому пункту в среднем наблюдается 103 дня без солнца. Максимум числа дней без солнца приходится на декабрь – 22 дня. Минимальное число дней без солнца (0-1) наблюдается в теплый период, с мая по август.

Приход прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность при ясном небе составляет 4944 мДж/(м<sup>2</sup>·год). Это возможный приход радиации при отсутствии на небе облачности и в случае чистого атмосферного воздуха. Облачность уменьшает поступление прямой солнечной радиации примерно на 60-63 % в результате на горизонтальную поверхность поступает солнечной радиации в среднем около 1850 мДж/(м<sup>2</sup>·год).

Доля рассеянной солнечной радиации возрастает с уменьшением высоты солнца и увеличением облачности. По расчетам при безоблачном небе к земле должно поступать 1316 мДж/м<sup>2</sup> в год рассеянной солнечной радиации, обычно же облачность увеличивает ее долю до 1937 мДж/м<sup>2</sup> в год.

Суммарная солнечная радиация в обычных условиях составляет 3785 мДж/(м<sup>2</sup>·год). В годовом ходе максимум суммарной радиации наблюдается в июне (620 мДж/м<sup>2</sup>), минимум – в декабре (51 мДж/м<sup>2</sup>).

Приведенные климатические данные, в соответствии с международными стандартами, свидетельствуют о достаточном ресурсе солнечной и ветровой энергии в рассматриваемом районе для исследования вопроса о целесообразности извлечения этой энергии наряду с традиционными источниками ее добычи.

В годовом ходе скорости ветра можно выделить два периода: холодный – с повышенными скоростями ветра (октябрь–апрель) и теплый (май–сентябрь) – с пониженными. Наибольшие средние месячные скорости ветра в Воронеже несколько ниже, чем в среднем по области и составляют в феврале и декабре 3,6 м/с (наибольшие), в августе – 2,3 м/с (наименьшие). Отклонение от средней многолетней скорости ветра в отдельные годы в среднем составляет 0,3 м/с, самые большие отклонения, как положительное (1,7 м/с), так и отрицательное (1,6 м/с), были отмечены в феврале [1].

Распределение скоростей ветра в различные сезоны года определяется режимом общей циркуляции атмосферы. Зимой наблюдается значительное различие барических градиентов на юге и севере Европейской части России, что обуславливает в целом большие скорости ветра. Однако скорости ветра, отмечаемые на метеорологических станциях, определяются не только условиями общей циркуляции, но в значительной мере также степенью открытости местоположения самой станции и флюгера. Высокий уровень шероховатости поверхности в городе существенно изменяет структуру воздушных потоков и приводит к местному ослаблению ветра.

Суточный ход скорости ветра хорошо выражен в теплый период года, зимой он несколько сглажен. Изменчивость скорости ветра от срока к сроку в зимние месяцы невелика (0,1 - 0,6 м/с), в летние – немного больше (0,6-1,6 м/с). Наибольшей скорости ветер достигает в послеполуденные часы, когда увеличиваются термические градиенты. Суточный ход скорости ветра наиболее хорошо выражен при антициклонической циркуляции.

Повторяемость средней скорости ветра до 5 м/с составляет 90-94 % летом и 80-85 % зимой. Среднесуточная скорость ветра 6-11 м/с в 3 раза чаще наблюдается зимой (около 20%), чем летом (6-7 %). С повышением скорости ветра резко уменьшается их повторяемость, так, повторяемость средней скорости ветра 14 м/с и более составляет всего 0,1 % за год.

Вследствие усиления циклонической деятельности в холодный период года число дней с сильным ветром увеличивается. В среднем в году бывает до 18 дней с сильным ветром (хотя бы за один срок  $\geq 15$  м/с). Максимальное число дней с сильным ветром – 33. Абсолютный максимальный порыв ветра (34 м/с) зарегистрирован в январе 1971 года.

Таким образом, можно сделать вывод о наличии в исследуемом районе определенного климатического ресурса ветра, потенциально пригодного для преобразования кинетической энергии в электрическую.

Наличие необходимых ресурсов еще не означает возможность их рационального преобразования в электрическую энергию. Рассмотрим возможные подходы к оценке потенциала извлекаемой электрической энергии из альтернативных источников дифференцировано по видам ресурсов.

Значения скорости ветра по Воронежской области, как было приведено выше, в течение года превосходит минимальное потребное значение скорости ветра, необходимое для работы ветрогенератора, за исключение определенных значимых периодов на ряде пунктов. Исходя из вышесказанного, следует, что использование энергии ветра в Воронежской области, как альтернативного источника энергии, можно считать целесообразным. Для определения рациональности использования ветровой энергетики в конкретных пунктах области необходимо проводить дополнительные исследования.

В работе были исследованы изменения характеристик солнечного сияния и ветрового режима за двадцатилетний период – с середины 80-х до середины нулевых годов. За этот период ресурс солнечной энергии по югу области увеличился на 2–2,5 %, по северной части – существенной динамики не выявлено. Приращение поступления солнечной радиации на территории Воронежской области приходится в основном на теплый период года.

По ресурсам ветра на большей части региона также наблюдается увеличение потенциала на несколько процентов, но уже преимущественно в холодный период года.

Результаты исследования позволяют констатировать общую тенденцию возрастания потенциала климатических ресурсов альтернативной энергетики на территории Воронежской области за рассматриваемый период.

Динамика скорости ветра за исследуемый период и прогностический тренд на ближайшие 10 лет по району Воронежа представлены на рисунке 2.



Рис. 2. Динамика суммы эффективных скоростей ветра за исследуемый период и прогностический тренд на ближайшие 10 лет по району Воронежа.

Из рисунка видно, что к 2015 году следует ожидать увеличение энергетического потенциала ветра по району Воронежа на 2% относительно предшествующего десятилетия.

В целом, по результатам проведенного исследования следует сделать вывод о тенденции к увеличению климатического потенциала нетрадиционной (возобновляемой) энергетики по рассматриваемому району.

Удельная мощность ветра ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ) однозначно определяется двумя характеристиками: скоростью движения воздушной массы  $v$  и плотностью воздуха  $\rho$  при текущих значениях температуры окружающей среды и атмосферного давления. Удельная мощность ветра определяется по формуле:

$$N_{y0} = 0,5\rho Sv^3 \quad (1)$$

Из формулы (1) следует доминирующее влияние величины скорости ветра. Как правило, при предварительной оценке ветропотенциала не учитывают изменения плотности воздуха. Однако для средней полосы России при изменении температуры от  $-25^{\circ}\text{C}$  до  $+35^{\circ}\text{C}$  плотность воздуха изменяется на  $0,24 \text{ кг/м}^3$ , что соответствует почти 20 %-ному изменению мощности воздушного потока при прочих равных условиях, т.е. величину, которой не стоит пренебрегать при расчёте вероятной годовой выработки энергии.

В практике мировой ветроэнергетики плотность воздуха при нормальных условиях: температуре  $t_0 = 15^{\circ}\text{C}$  ( $T_0 = 288\text{K}$ ) и атмосферном давлении  $p_0 = 760 \text{ мм}$  ртутного столба равна  $\rho_0 = 1,225 \text{ кг/м}^3$ .

В оперативной практике можно использовать упрощенные расчеты [6-9] по формулам (2, 3), обеспечивающим достаточную точность:

$$P = \frac{D^2 V^3}{7000}, \quad (2)$$

$$P' = 0.6 \cdot S \cdot V^3, \quad (3)$$

где  $P$  – мощность (кВт);  $P'$  – мощность (Вт);  $D$  – диаметр винта (м);  $V$  – скорость ветра (м/с);  $S$  – площадь ( $\text{м}^2$ ), на которую дует ветер под углом  $90^{\circ}$ .

Для длины лопасти 1 метр при средней скорости ветра 3 м/с за сутки установка вырабатывает всего около 0,5 киловатт электроэнергии. При 5 м/с этот показатель уже возрастает до 1,7 киловатт. При увеличении длины лопасти до 2м максимальная суточная выработка электроэнергии составит, соответственно 1,5 и 7кВт, что уже достаточно для обеспечения бытовых нужд среднестатистической двухкомнатной квартиры или работы подвижной метеостанции (ПМС-72).

Дополнительно для уточнения ветроэнергетического потенциала на конкретном участке нужно учитывать следующие факторы.

1. Увеличение ветра с увеличением высоты флюгера. У поверхности Земли ветер замедляется за счет трения. При увеличении высоты над поверхностью земли в два раза наблюдается увеличение скорости ветра в среднем на 12%.

2. Годовой ход ветра. В большинстве регионов наблюдаются значительные сезонные изменения ветровых потоков. В холодный период года скорость ветра обычно выше, чем в теплый.

3. Суточный ход ветра. Днем с прогревом скорость ветра усиливается. Ночью ветер может стихать до штиля.

4. Характер земной поверхности. Холмы или возвышенности в большей степени обдуваются ветром, поэтому на них скорость ветра выше по сравнению с окружающей равнинной территорией. Направление ветра, вблизи крупных и средних водных объектов, как правило, повторяет направление береговой черты.

5. Роза ветров. Климатическая повторяемость ветров различных направлений может значительно отличаться друг от друга и это отличие непостоянно в различные сезоны года.

При оценке потенциала солнечной энергии для данного пункта так же необходимо учитывать значительное количество факторов. Количество попадающего на освещаемую поверхность потенциально полезного солнечного излучения определяется понятием, именуемым инсоляцией. Солнечная инсоляция сильно изменяется от одной точки земной поверхности к другой [1, 2].

При нахождении величины инсоляции какого-либо района необходимо учитывать несколько факторов [5, 10]:

- влияние времени года, обуславливающее меньшую продолжительность солнечного свечения в холодный период года и, соответственно, более низкую накопленную за сутки освещенность;
- характер местности, освещаемой Солнцем (рельеф, наличие затеняющих препятствий, пространственная ориентация склонов);
- местные погодные условия (прозрачность воздушной массы, режим облачности, осадков и других явлений погоды, ослабляющих солнечную радиацию);
- пространственная ориентация приемника, относительно Солнца – падающие лучи на освещаемую поверхность под меньшим углом дают меньшую энергетическую освещенность.

Расчет потенциала солнечной энергии для конкретного пункта можно провести по следующему алгоритму [8].

Энергетическая освещенность, которую создают солнечные лучи на перпендикулярной к ним плоскости вне земной атмосферы на среднем расстоянии от Земли до Солнца, характеризуется солнечной постоянной.

$$E_{SUN} = (1365 \pm 14) \quad (4)$$

Освещенность естественных ландшафтов определяется высотой Солнца над горизонтом  $h_0$  и влиянием атмосферы. Высота Солнца  $h_0$  для района с геодезической широтой  $\varphi$  и долготой  $\lambda$  определяется по формуле:

$$\sinh_0 = \sin \delta_{sun} \cdot \sin \varphi + \cos \delta_{sun} \cdot \cos \varphi \cdot \cos \Delta\lambda_0, \quad (5)$$

где  $\delta_{sun}$  – склонение Солнца на дату наблюдения;  $\Delta\lambda_0 = \lambda_0 - \lambda$  – разность долгот Солнца  $\lambda_0$  и наблюдателя (часовой угол).

Разность долгот  $\Delta\lambda_0$  связана с местным временем  $\tau$  соотношением  $\Delta\lambda_0 = 180 - 15\tau$ , где  $\tau$  – время в часах и его долях.

На заданный момент московского времени  $\tau_{моск}$  величина  $\Delta\lambda_0$  определяется следующими равенствами для зимнего и летнего времени соответственно:

$$\Delta\lambda_0 = 225 - 15(\tau_{моск} - \eta_0) - \lambda, \quad (6)$$

$$\Delta\lambda_0 = 240 - 15(\tau_{моск} - \eta_0) - \lambda, \quad (7)$$

где  $\eta_0$  – поправка по времени в долях часа.

Склонение Солнца  $\delta_0$  задается таблично, но с достаточной для моделирования точностью может быть определено аналитически:

$$\delta_0 = 23,5 \cdot \sin\left(\frac{2\pi d_0}{365}\right), \quad (8)$$

где  $d_0$  – время в сутках от дневного равноденствия (22 марта) до расчетной даты. Значения определяются  $\eta_0$  по номограмме или по таблицам. Используя данные наблюдений с дискретностью 1 час,  $\eta_0$  принимается равной 0,5.

Для моделирования энергетической освещенности при естественном освещении необходимо определить также азимут Солнца:

$$\sin A_0 = \frac{\sin \Delta\lambda_0 \cdot \cos \delta_0}{\cosh_0}, \quad (9)$$

$$\cos A_0 = \frac{\sin \delta_0 - \sinh_0 \cdot \sin \varphi}{\cos \varphi \cdot \cosh_0}. \quad (10)$$

Следует отметить, что все используемые в расчетах данные имеются в распоряжении у пользователя или их не сложно получить из астрономических справочников.

На следующем этапе вводятся поправки на состояние погоды – прежде всего, учитывается характер облачности.

Погодные условия значительно влияют на солнечную инсоляцию. Больше всего на поступление солнечной радиации влияют облачность. Даже не полностью закрывая солнце, она может значительно ослабить прохождение солнечного излучения. В зависимости от типа облачности интенсивность солнечного излучения может уменьшаться на 20-50 % [10].

Особую проблему представляет разнообразие водности, микрофизического строения и вертикальной мощности облачности. Тонкие перистые облака лишь незначительно снижают количество

солнечного света, достигающего земной поверхности. Мощные кучево-дождевые облака снижают инсоляцию в разы.

Поступление излучения на приемные батареи зависит не только от количества и формы облаков, но и от диспозиции приемных устройств, относительно Солнца и облачных элементов – на сколько перекрывает или ослабляет облачность поступлению излучения на приемники.

Учесть детально все факторы не представляется возможным, поэтому целесообразно определить нижний предельный уровень поступающего света и сравнить его с минимальным значением поступающей солнечной энергии, целесообразной для фотоэлектрического преобразования. Дальнейшие расчеты проводятся, если интенсивность света превышает этот уровень. В противном случае расчет прекращается.

Осадки, туман, дымка, мгла, дымы также вносят свои поправки. Фактически погода – единственная в своем роде переменная условий окружающей среды. Участки местности, находящиеся на расстоянии всего сотен метров, могут иметь различные условия инсоляции.

Для расчета среднестатистических показателей влияния облачности на величину инсоляции используют, так называемую, «среднюю облачность», значения которой получают из климатических справочников. Однако такой подход нередко приводит к значительным погрешностям в оценке ослабления инсоляции.

С ростом водности облака увеличивается как поток излучения, поглощенного облаком, так и отраженного облаком вверх, что приводит к уменьшению потока излучения, приходящего на подстилающую поверхность, и к уменьшению поглощенной поверхностью радиации. Даже при незначительной водности  $0,05 \text{ г/м}^3$  радиационный баланс на подстилающей поверхности уменьшается в три раза.

На величину инсоляции у поверхности земли также влияет размер облачных капель. С достаточной для практических целей точностью это влияние можно оценить по среднему радиусу облачных частиц.

При производстве расчетов принимались значения водности и размеров облачных частиц приведенных в [2,11].

Расчеты, проведенные по представленным алгоритмам, позволили уточнить величину климатических ресурсов энергии Солнца и ветра, потенциально пригодных для преобразования в электроэнергию. Оценка, проведенная по ежечасным фактическим, а не по осредненным климатическим данным, позволила установить, что реальный потенциал энергии ветра для района Воронежа в среднем за год больше на 14%. По месяцам этот показатель колеблется от 3 до 21 %. По энергии, потенциально извлекаемой с использованием солнечных батарей, климатический ресурс по району Воронежа, рассчитанный по фактическим данным, превосходит климатические данные на 11%. Пересчет по месяцам показал, что в зимние месяцы за счет увеличения повторяемости десятибалльной облачности с большой вертикальной мощностью ресурсы солнечной энергии уменьшились на 1-3%, в то время, как летом наблюдается их значительное увеличение на 14-17%. В целом, с учетом всех выше перечисленных факторов, за счет использования осредненных данных и общепринятых допущений, недооценивается около четверти климатических ресурсов альтернативных источников энергии [16].

Необходимо акцентировать внимание еще на одном факте: межгодовая изменчивость рассчитываемых ресурсов за исследуемый период (отклонение от среднего многолетнего) составила от -7,4 до 12,4%.

Наибольшие потери энергии, извлекаемой из альтернативных источников, в неблагоприятные по погодным условиям годы наблюдаются в зимние месяцы, а так же в середине теплого периода. В первом случае это вызвано увеличением дней с облачной погодой, а во втором - с, так называемыми, «застойными условиями» в области стационарных антициклонов, характеризующихся высокой повторяемостью штилей и повышенным содержанием атмосферных примесей, ослабляющих солнечное излучение. Указанную изменчивость необходимо учитывать при расчете потенциала доступной к преобразованию энергии. Рассчитывать при этом следует на минимальные из возможных значений (в некоторые месяцы снижение до 10%). Однако, даже в этом случае рассчитанный потенциал по ежечасным данным наблюдений выше, чем оцениваемый по климатическим показателям.

Несмотря на положительную динамику климатических ресурсов энергии ветра и Солнца по исследуемому региону, по-прежнему открытым остается вопрос об экономической целесообразности использования преобразователей данных видов энергии в электрическую в более широких масштабах.



Для повышения эффективности использования ветроэнергетических установок представляется перспективным использование искусственного усиления скорости воздушного потока. В истории становления ветроэнергетической отрасли известны различные подходы к реализации данного направления: от дооборудования установок специальными «юбками», позволяющими использовать энергию восходящих вертикальных потоков, до создания особой конфигурации лесонасаждений, способствующих перераспределению воздушных потоков в пользу их усиления в местах установки ветрогенераторов.

При использовании ветрогенераторов малой мощности, рассматриваемых в данной работе, рационально осуществлять концентрацию воздушного потока у приемного элемента (турбины, ветроколеса, винта) посредством доработки установки дополнительным устройством в виде сужающейся трубы (полого тонкостенного срезанного конуса) перед приемником в направлении ведущего потока. Данное устройство (концентратор) крепится к подвижной части ветрогенератора и постоянно занимает такую позицию, что воздушный поток перед воздействием на приемный элемент установки проходит через него. За счет сужения конструкции наблюдается конвергенция потока и, соответственно, скорость его увеличивается. Физическим основанием указанного подхода является уравнение неразрывности:

$$V_1 S_1 = V_2 S_2, \quad (11)$$

где  $V_1$ ,  $V_2$  – скорость воздушного потока на входе и выходе;  $S_1$ ,  $S_2$  – площадь сечения входного и выходного отверстия устройства.

На практике увеличение скорости ветра наблюдается существенно меньше, чем следовало ожидать за счет вычислений. Это происходит из-за нарушения ламинарности потока и образования турбулентных движений на входе и выходе устройства. Для проверки представленной гипотезы был проведен эксперимент, в ходе которого было получено подтверждение усиления ветра на съемном устройстве за счет использования представленного устройства, а значит и увеличение возможной к потенциальному преобразованию энергии ветра.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 3.

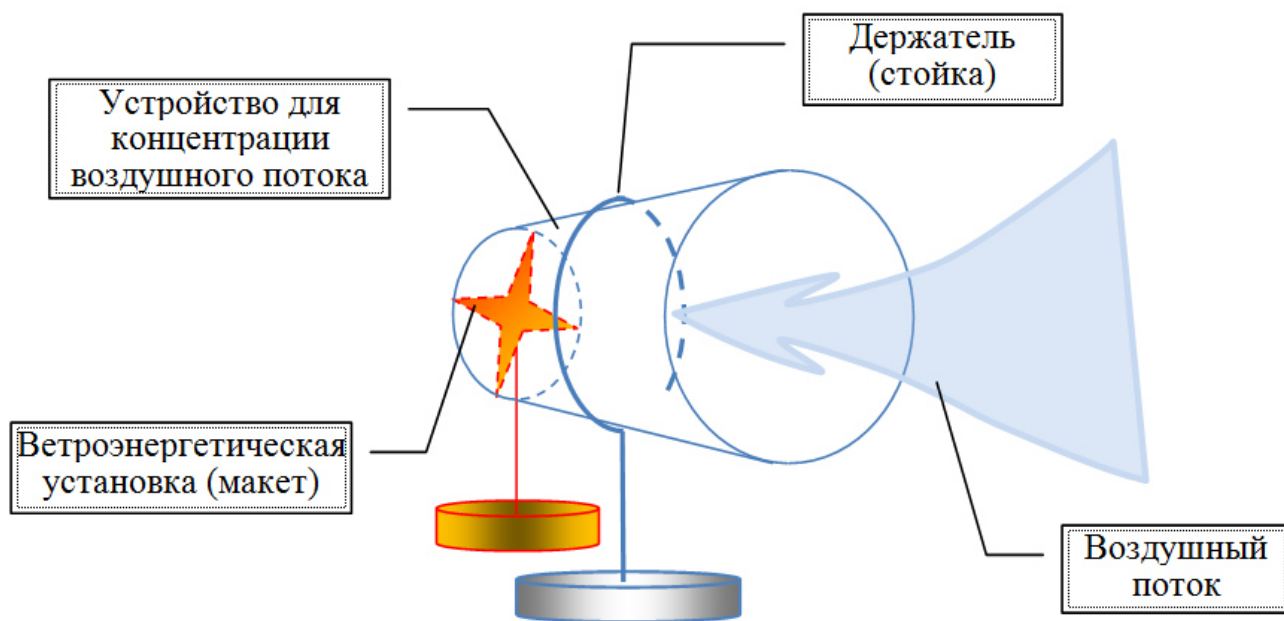


Рис. 3. Схема экспериментальной установки.

Исходя из эмпирических соображений, малый диаметр устройства был выбран равным диаметру приемного элемента – площади, «ометаемой» винтом, а расстояние от винта до устройства – минимальным, обеспечивающим отсутствие контакта. Диаметр входного отверстия выбирался произвольно, и составил два диаметра выходного устройства. Длина устройства так же выбиралась произвольно, с условием обеспечения минимального искажения потока, что возможно при слабом сужении воздуховода.

В качестве генератора воздушного потока использовался вентилятор с дискретно изменяемой мощностью. Интенсивность потока воздуха регулировалась так же изменением расстояния от вентилятора до входного отверстия концентратора.

Выбранные параметры экспериментальной установки не являются оптимальными – для определения оптимальных характеристик необходимо проведение отдельного специального исследования. В ходе данного эксперимента главной задачей являлось не определение точных максимальных значений повышения эффективности ветроустановок, а установление достоверности факта возможности искусственного увеличения потенциала энергии ветра, доступной для преобразования в электрическую энергию.

Всего было проведено более тридцати пар замеров. Исходная скорость варьировала от 1,5 до 12 м/с. При пропускании потока через концентратор во всех случаях наблюдалось увеличение скорости ветра в пределах от 27 % до 2,7 раза. При этом имеет место однозначная тенденция уменьшения эффекта применения установки с увеличением исходной скорости воздушного потока.

Таким образом, в ходе проведения эксперимента опытным путем подтверждена исходная гипотеза о возможности повышения искусственным путем потенциала альтернативных источников энергии, в частности энергии ветра.

Также была разработана автоматизированная программа, предназначенная для расчета климатического потенциала энергии ветра, используя данные о размере винта ветрогенератора и ежечасных значений скорости ветра.

Программа позволяет получить значение количества электрической энергии, вырабатываемой ветрогенератором за сутки для соответствующих параметров установки, тем самым позволяет сравнить извлекаемую энергию с потребной для конкретного прибора (станции).

Таким образом, в ходе проведенного исследования были обобщены сведения о современном состоянии и тенденциях развития альтернативных источников энергии. На основании чего была показана целесообразность использования преобразованной энергии ветра и Солнца в средней полосе европейской России. В частности, сделан вывод о том, что использование энергии ветра и Солнца в Воронежской области, так же имеет перспективы для дальнейшей разработки.

Предложена методика расчета суммарного потенциала пригодной для преобразования энергии ветра и Солнца на основе оценки климатических ресурсов местности. Отличительной особенностью представленной методики является расчет ресурсов потенциально доступной для преобразования энергии ветра и Солнца не по многолетним осредненным данным, а по фактическим данным ежечасных метеорологических наблюдений.

Расчеты, проведенные по представленным алгоритмам, позволили уточнить величину климатических ресурсов энергии Солнца и ветра, потенциально пригодных для преобразования в электроэнергию. Оценка, проведенная по ежечасным фактическим, а не по осредненным климатическим данным, позволила установить, что реальный потенциал энергии ветра для района Воронежа в среднем за год больше на 14 %.

По энергии, потенциально извлекаемой с использованием солнечных батарей, климатический ресурс по району Воронежа, рассчитанный по фактическим данным, превосходит климатические данные на 11 %.

В целом, с учетом всех выше перечисленных факторов, за счет использования осредненных данных и общепринятых допущений, недооценивается около четверти климатических ресурсов альтернативных источников энергии. Даже при расчете потенциала доступной к преобразованию энергии по данным за месяцы с наиболее неблагоприятными погодными условиями по облачности и скорости ветра рассчитанный по ежечасным данным наблюдений потенциал выше, чем оцениваемый по климатическим показателям.

В работе так же показано, что ветровая и солнечная энергетика имеет непосредственное практическое применение для использования в силовых структурах в автономных условиях: климатические ресурсы в данной местности позволяют круглогодичную эксплуатацию штатного оборудования от преобразователей нетрадиционных источников энергии.

По результатам проведенного исследования была выявлена тенденция к увеличению климатического потенциала альтернативной (возобновляемой) энергетики по рассматриваемому району за последние 20 лет и оценен ее тренд на ближайшие годы.

На завершающем этапе работы опытным путем подтверждена исходная гипотеза о возможности повышения искусственным путем потенциала альтернативных источников энергии, в частности энергии ветра.

Также была предложена методика расчета суммарного потенциала энергии ветра и Солнца и разработана программа расчета потенциала энергии ветра.

Таким образом, на основании полученных результатов можно сделать вывод о целесообразности использования преобразователей энергии ветра и Солнца в средней полосе европейской России, в частности в Воронежской области.

## METHODOLOGY OF EVALUATION OF THE CLIMATIC POTENTIAL OF SOLAR AND WIND ENERGY

I.P. Rastorguev, A. N. Neizhmk

The theoretical prerequisites of application of alternative energy, algorithm and results of calculation of climatic resources for use units for conversion of wind and solar energy, as well as their dynamics for the twenty-year period on the territory of the Voronezh region. Are the proposals on increasing the efficiency of the plants, transforming the energy. The expediency of complex use of solar and wind energy as a secondary or backup source of power supply in Autonomous conditions, including in the temperate zones of the European part of Russia (on the example of Voronezh).

**KEYWORDS:** ALTERNATIVE ENERGY, CLIMATE RESOURCES.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас ветрового и солнечного климатов России. – СПб: Издательство им. А.И.Воейкова, 1997. – 173 с.
2. Облака и облачная атмосфера: справочник / Под ред. И.П. Мазина, А.Х. Хргиана. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 647 с.
3. Энергия ветра [электронный ресурс] // <http://www.vetrogenerator.ru/index.html>.
4. Энергосберегающие технологии [электронный ресурс] // <http://www.overs-energy.ru/products>.
5. Алфёров Ж. И., Андреев В. М., Румянцев В. Д. Тенденции и перспективы развития солнечной фото-энергетики // Физика и техника полупроводников, 2004, Т. 38, вып. 8. – С. 937-948.
6. Каргиев В.М. и др. Ветроэнергетика. – М: Интерсоларцентр, 2001. – 58с.
7. Расчет ресурсов ветровой энергетики. Под ред. В.И.Виссарионова. – М.: Издательство МЭИ, 1997. – 32 с.
8. Германович В., Турилин А. Альтернативные источники энергии. – М: Наука и Техника, 2011.
9. Методические указания. Проведение изыскательских работ по оценке ветроэнергетических ресурсов обоснования схем размещения и проектирования ветроэнергетических установок, РД 52.04.275-89. – М.: Госкомгидромет, 1991. – 57 с.
10. Шатунова М.В., Дмитриева-Араго Л.Р. Зависимость потоков солнечного излучения в облачной атмосфере от микрофизических свойств облачности.
11. Авиационно-климатический атлас-справочник СССР. Статистические характеристики пространственной и микрофизической структуры облаков. Том 1. Вып. 3. – М.: Гидрометеоиздат, 1975. – 160 с.
12. Расторгуев И.П., Неижмак А.Н., Землянухина О.С. Региональные особенности динамики климатических ресурсов альтернативной энергетики. Материалы Международной научной конференции «Региональные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды». – Казань: Изд. К(П)ФУ. 2012. – С.191-192.