

## **Актуальность совместного использования солнечной и ветровой энергии для энергетики малых мощностей**

Осадчий Г.Б., инженер

В этом мире всему свое время, и технология (устройство, система), хотя и основанная на аргументированных доказательствах, не пустит корней, и не будет расти (развиваться), если подобно растению, она не будет брошена в землю в нужное время. «Век должен быть подготовлен», — говорят Знающие; и каких-нибудь сорок лет тому назад настоящий материал был бы обречен на саморазрушение собственным содержанием. Но современные достижения в энергетике возобновляемых источников энергии (ВИЭ), несмотря на ежедневные «разоблачения» и насмешки со стороны каждого, связавшего жизнь с традиционной энергетикой (с её многочисленными минусами), растут и усиливаются фактами, если не мудростью и прозрением. То, что тридцать лет тому назад казалось бы просто нелепым, абсурдным, теперь будет выслушано, потому, что теперь достижения энергетики ВИЭ подтверждаются практикой. К несчастью, хотя эффективность технологий энергетики ВИЭ растет с каждым годом, не наступает соответствующего улучшения в сознании части человечества. Распознавания и ответственности не хватает так же, как всегда.

Уже сегодня с ещё порой высокой стоимостью установленного киловатт часа энергетика ВИЭ может быть востребована для энергоснабжения, например, санаторно-курортных комплексов, как отвечающая требованиям для них, по охране окружающей среды, экологии. Так в Омской области, по качеству климато-рекреационных факторов, можно выделить 5 основных курортно-рекреационных зон — 3 из них функционирующие: Омская, Красноярско-Чернолученская и Таврическая. Они удовлетворяют основным требованиям, предъявляемым к курортно-рекреационным и лечебным местностям. Это доступность территории, хорошие транспортные пути, красивые ландшафты, благоприятные климатические особенности, наличие неограниченных запасов природных лечебных факторов, близость промышленных и сельскохозяйственных районов, обеспечивающих бесперебойное продовольственное снабжение. Тюкалинская и Кормиловская зоны выделены в перспективные для дальнейшего развития курортно-оздоровительных учреждений области.

Потребность в экологически чистом производстве энергии есть всегда. Поэтому эволюция использования ВИЭ нашла свое отражение как же в терминологии принятой ООН.

В настоящее время в связи с тем, что в мире преобладает использование ископаемого органического топлива над ВИЭ, то ресурсы ВИЭ различных стран и континентов делятся на валовой потенциал, технический потенциал и экономический. Каждая страна мира в зависимости от своего

географического положения, существующих технологий, имеет свои приоритетные виды ВИЭ, причем каждый вид имеет свои прогнозируемые потенциалы, которые постоянно корректируются:

- технический потенциал — изменяется по мере развития существующих технологий, оборудования и новых инновационных решений не столько в рассматриваемых странах как в мире в целом;

- экономический потенциал — изменяется в зависимости от истощения ископаемого органического топлива и изменения его стоимости на мировых и внутренних рынках, освоения новых территорий, развития дорожной инфраструктуры, а также, особенно в последнее время, с учетом соблюдения экологического равновесия и **приоритетом производства продуктов питания** над энергетическим сектором производства биотоплива.

Кроме того что климат каждой страны вносит свои коррективы в интенсивность развития энергетики ВИЭ, и сами «базовые технологии» энергетики ВИЭ претерпевают изменения с целью более эффективного использования на месте как определенного вида ВИЭ, так и за счет их комплексного использования. У ВИЭ, к сожалению, низкая плотность. Из-за этого её трудно использовать для энергетики **больших** мощностей.

Поскольку современный темп повышения эффективности технологий энергетики ВИЭ очень высок, то при оценке её возможностей следует исходить в первую очередь из технического потенциала, т.к. только он показывает, какое из направлений энергетики ВИЭ следует развивать в первую очередь.

Технический потенциал части видов ВИЭ в России просто огромен. Потенциал, который может быть реализован на современном уровне развития техники в России, составляет 4,6 млрд т у. т. Это в 5 раз больше общего энергопотребления. Если говорить о цифрах по различным видам ВИЭ, то они представлены в таблице 1 из источника [1].

**Таблица 1 – Технический потенциал ВИЭ в России (Институт теплофизики СО РАН, г. Новосибирск)**

| ВИЭ                      | Технический потенциал, млн т у. т. |
|--------------------------|------------------------------------|
| Солнечная энергия        | 2300                               |
| Ветровая энергия         | 2000                               |
| Геотермальная энергия    | 180                                |
| Энергия малых водотоков  | 125                                |
| Низкопотенциальное тепло | 115                                |
| Биомасса                 | 53                                 |

Как видно из таблицы 1 для России технические потенциалы солнечной и ветровой энергии на порядок превосходят остальные виды ВИЭ.

К серьезным недостаткам этих ВИЭ, ограничивающих их широкое практическое применение, относятся **невысокая плотность энергетических**

**потоков** и их **непостоянство во времени** и, как следствие этого, необходимость значительных затрат на оборудование, обеспечивающее сбор, аккумуляцию и преобразование энергии.

Так, например, плотность потока солнечного излучения на поверхность земли в полдень ясного дня составляет всего около 1 кВт/м<sup>2</sup>, а его среднегодовое значение (с учетом сезонных и погодных колебаний) для самых солнечных районов земного шара не превышает 250 Вт/м<sup>2</sup> (для средней полосы России 120 Вт/м<sup>2</sup>).

Средняя удельная плотность энергии ветрового потока также, как правило, не превышает нескольких сотен Вт/м<sup>2</sup>. Так при скорости ветра 10 м/с удельная плотность потока энергии ( $E = \frac{1}{2}\rho V^3$ ,  $\rho$  — плотность воздуха,  $V$  — скорость ветра) приблизительно равна 500 Вт/м<sup>2</sup>.

Плотность энергии водного потока, имеющего скорость 1 м/с, также составляет всего около 500 Вт/м<sup>2</sup>. Для сравнения укажем, что плотность теплового потока на стенках топки парового котла достигает нескольких **сотен** кВт/м<sup>2</sup>.

Неустойчивость ветра приводит к необходимости применения средств аккумуляции энергии. Это удорожает установку, и в целом стоимость получаемой энергии оказывается выше, чем на гидроэлектростанциях (ГЭС) и многих теплоэлектростанциях (ТЭС).

При современных аэродинамически совершенных винтах и преобразующих устройствах  $2,6 \cdot 10^6$  м<sup>2</sup> фронта ветра могут дать мощность 150 МВт при любой скорости ветра, превышающей 6 – 8 м/с.

Обычно в мировой практике принято считать, что если среднегодовая скорость ветра в данной местности превышает 5 – 6 м/с, то использование ветроэлектрических установок (ВЭУ) здесь весьма перспективно.

Однако, несмотря на это технологии использования этих видов ВИЭ активно развиваются во многих странах мира, многие из них достигли коммерческой зрелости и успешно конкурируют на рынке энергетических услуг, в том числе при производстве электрической энергии.

К особенностям этих видов ВИЭ относится то, что они в максимальном своем проявлении как бы «затеняют» друг друга, особенно в летний период. Так если сильный ветер, при перемене погоды, то обычно большая облачность и меньше инсоляция, а при слабом ветре больше интенсивность солнечного излучения. При солнечной погоде, когда нет облаков, обычно не бывает сильных ветров.

Длительная жаркая (без дождей) погода практически безветренная, способствует образованию смога, уменьшает сток рек, а значит и выработку электроэнергии на гидроэлектростанциях.

Во время дождя плоские солнечные коллекторы очень быстро охлаждаются. А после дождя, когда воздух очищен от пыли и аэрозолей

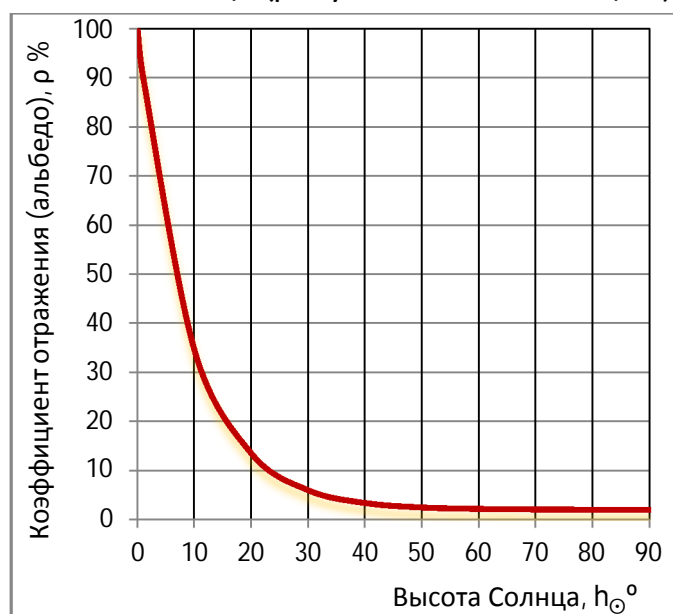
инсоляция повышена, и в то же время, поскольку плотность влажного воздуха меньше, чем сухого, при одинаковых условиях, т.к. молекулярная масса паров воды меньше, чем средняя молекулярная масса воздуха, «работоспособность» ветра понижается.

Кроме того сила ветра влияет на возможность гелиооборудования принимать и сохранять аккумулированную солнечную энергию. Так чем сильнее ветер, тем больше потери тепла из плоских солнечных коллекторов, а также меньшее количество солнечного излучения проникает в солнечный соляной пруд.

**Если небо облачное, то вода (теплоноситель) в плоском солнечном коллекторе, когда Солнце «выходит» из-за туч на непродолжительное время не всегда успеет нагреться до рабочей температуры. Поэтому когда Солнце «заходит» за тучу, теплоноситель остывает, без аккумулирования теплоты, например, водяным баком-аккумулятором. При определенной периодичности чередования солнечных и пасмурных периодов в течение дня аккумулятор может и не восполнить запас теплоты.**

Так такой важный показатель для солнечного соляного пруда, как альbedo водной поверхности, зависящий от степени волнения и высоты Солнца заключается в пределах 3 – 45 % (Альbedo поверхности (коэффициент отражения света) — это отношение потока излучения, отраженного этой поверхностью в окружающее пространство, к потоку, упавшему на неё).

При спокойной водной поверхности альbedo зависит только от высоты Солнца (рисунок 1 или таблица 2).



**Рисунок 1 – Зависимость коэффициента отражения солнечного излучения для спокойной водной поверхности от высоты Солнца.**

**Таблица 2 – Коэффициент отражения ( $\rho$ , %) света при различных углах падения для стекла и воды**

| Вещество | Угол падения, в градусах |     |     |     |     |     |      |      |      |     |
|----------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|-----|
|          | 0                        | 20  | 30  | 40  | 50  | 60  | 70   | 80   | 89   | 90  |
| Стекло   | 4,7                      | 4,7 | 4,9 | 5,3 | 6,6 | 9,8 | 18   | 39   | 81   | 100 |
| Вода     | 2,0                      | 2,1 | 2,2 | 2,5 | 3,4 | 6,0 | 13,5 | 34,5 | 90,0 | 100 |

Ветры «приносящие» облака влияют на продолжительность солнечного сияния (таблицы 3, 4 и 5 [2]), а значит и эффективность работы гелиоустановок.

**Таблица 3 – Продолжительность солнечного сияния (часы) (при годовом в г. Омске — 2223 ч, Русской Поляне, поселке на юге Омской области (Р. П.) — 2269 ч)**

| Станция | Месяцы |     |     |     |     |     |     |      |     |     |    |     |
|---------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|----|-----|
|         | I      | II  | III | IV  | V   | VI  | VII | VIII | IX  | X   | XI | XII |
| Омск    | 82     | 122 | 192 | 249 | 290 | 318 | 299 | 252  | 191 | 97  | 71 | 60  |
| Р. П.   | 96     | 128 | 190 | 236 | 296 | 318 | 294 | 264  | 206 | 116 | 74 | 63  |

**Таблица 4 – Отношение наблюдавшейся продолжительности солнечного сияния к возможной (%) (при годовой в г. Омске — 51 %, Русской Поляне (Р. П.) — 54 %)**

| Станция | Месяцы |    |     |    |    |    |     |      |    |    |    |     |
|---------|--------|----|-----|----|----|----|-----|------|----|----|----|-----|
|         | I      | II | III | IV | V  | VI | VII | VIII | IX | X  | XI | XII |
| Омск    | 38     | 46 | 55  | 62 | 61 | 66 | 61  | 57   | 53 | 32 | 30 | 30  |
| Р. П.   | 44     | 49 | 55  | 60 | 61 | 66 | 61  | 63   | 59 | 39 | 32 | 31  |

**Таблица 5 – Число дней без солнца (при годовом в г. Омске — 57, Русской Поляне (Р. П.) — 49)**

| Станция | Месяцы |    |     |    |   |     |     |      |    |   |    |     |
|---------|--------|----|-----|----|---|-----|-----|------|----|---|----|-----|
|         | I      | II | III | IV | V | VI  | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
| Омск    | 8      | 5  | 5   | 2  | 1 | 0,4 | 1   | 1    | 2  | 8 | 12 | 12  |
| Р. П.   | 5      | 4  | 4   | 2  | 1 | 0,2 | 0,2 | 0,5  | 1  | 8 | 12 | 11  |

И, несмотря на это солнечную энергию летом в средней полосе России можно с успехом применять там, где сегодня используются такие высоколиквидные виды энергии и энергоносители, как электрическая энергия, газ, жидкое моторное топливо, уголь и дрова.

Перечисленные ниже технологии и устройства на их основе, на базе **солнечного соляного пруда**, могут найти применение: в промышленности, в сельском и жилищно-коммунальном хозяйствах, в индустрии отдыха и лечения, в придорожном сервисе. В технологических линиях сушки сельскохозяйственного сырья, пиломатериалов, торфа, пеллет, ягод, грибов, лекарственных трав, шпал; свежеекрашенных покрытий. В установках пропарки бетонных изделий; искусственного старения металлоизделий. В стендах, предназначенных для температурных испытаний машин, приборов и механизмов. В устройствах: пропитки катушек трансформаторов клеями и лаками; дубления кож; окрашивания толстых тканей (при звукокапиллярных процессах); нанесения гальванических покрытий; очистки деталей от

асфальтосмолистых отложений, нагара и накипи; удаления старой краски и консервационной смазки. В сооружениях производства биогаза и моторного биотоплива в промышленных масштабах. В общественном и частном питании при варке пищи. На птицефабриках и частном подворье при инкубации яиц. Для удовлетворения физиологических потребностей человека (баня).

Поскольку стоимость электроэнергии центрального электроснабжения, газа, жидкого моторного топлива, угля увеличивается по мере удаленности от места их добычи и производства, следовательно, на удаленных территориях она наиболее высокая, а значит, более высокими становятся; и вырабатываемые из нее (посредством ее) основные виды энергии — тепло и холод. Электрифицированные водоснабжение, вентиляция и сушка также очень дороги. Производство этих видов энергии (услуг) из привозного органического топлива, из-за высокой цены, как топлива, так и генерирующих установок, не устраивает любого товаропроизводителя.

Учитывая, высокую стоимость отпускаемых видов энергии установки и системы на базе солнечного соляного пруда могут найти параллельное и независимое применение в качестве нетрадиционных энергоисточников [3]:

- **гелиосушилки** — корпус которой нагревается теплотой придонного слоя искусственно созданного аккумулятора теплоты — солнечного соляного пруда;

- **гелиопечи** — корпус которой нагревается теплотой придонного слоя искусственно созданного аккумулятора теплоты — солнечного соляного пруда;

- **гелиобани** — парная, которая нагревается за счет теплоты придонного слоя искусственно созданного аккумулятора теплоты — солнечного соляного пруда;

- **гелиобиогазовой установки** — корпус, биореактора которой подогревается теплотой придонного слоя искусственно созданного аккумулятора теплоты — солнечного соляного пруда;

- **гелиоводомёта** — водонасосной станции, водомёт (преобразователь тепловой энергии) которого работает от разности температур между двумя искусственно созданными аккумуляторами теплоты и холода, которыми служат солнечный соляной пруд и котлован со льдом;

- **теплового двигателя**, гелиоводомёт которого работает от разности температур между двумя искусственно созданными аккумуляторами теплоты и холода, которыми служат солнечный соляной пруд и котлован со льдом;

- **гелиоэлектростанции**, тепловой двигатель которой работает от разности температур между двумя искусственно созданными

аккумуляторами теплоты и холода, которыми служат солнечный соляной пруд и котлован со льдом;

- **гелиохолодильника** — установки для выработки среднетемпературного холода, хладомёт (компрессор) которого работает от разности температур между двумя искусственно созданными аккумуляторами теплоты и холода, которыми служат солнечный соляной пруд и котлован со льдом;

- **теплогенератора** системы отопления, горячего водоснабжения и сушки, теплообменник которого воспринимает теплоту придонного слоя искусственно созданного аккумулятора теплоты — солнечного соляного пруда;

- **хладогенератора** системы летнего кондиционирования, теплообменник которого воспринимает холод аккумулятора холода — котлована со льдом;

- **теплого насоса** — установки для выработки тепла, хладомёт (компрессор) которого работает от энергии сгорания органического топлива, а поступление теплоты обеспечивается за счет изъятия ее из талой воды, искусственно созданного аккумулятора — котлована, который летом аккумулировал солнечную энергию, неиспользованную в термодинамических циклах водомёта, хладомёта;

- **подогревателя** системы зимнего поддержания микроклимата в помещениях, теплообменник которого воспринимает, для подогрева наружного зимнего воздуха с температурой ниже минус 5 – 10 °С, теплоту талой воды, искусственно созданного аккумулятора — котлована, который летом аккумулировал солнечную энергию, неиспользованную в термодинамических циклах водомёта, хладомёта.

Резкоконтинентальный климат средней полосы России предопределяет повышенную сезонную потребность населения в отдельных видах энергии. При относительно стабильном спросе в течение всего года на механическую и электрическую энергии, летом резко возрастают расходы воды и искусственного холода, а зимой громадный дефицит тепла.

Исходя из особенностей климата России, в центре комплексного использования солнечной энергии (в центре архитектуры самоэнергообеспечения, вплоть до 60° с. ш.) находится здание с концентратором (**или концентратор**), обеспечивающее увеличение поступления солнечного излучения в солнечный соляной пруд, расположенный с южной стороны, и затеняющее **теплоизолированный** котлован со льдом, находящийся с северной стороны.

**При построении компоновки энергообеспечения и выборе аккумуляторов теплоты и холода автор исходит из того, что:**

- гидродинамический солнечный соляной пруд — это не только аккумулятор, но и мощнейший концентратор солнечной энергии. Плотность

потока тепловой энергии в пруду (при известной инерционности и технологии использования энтальпии) в 100000 раз выше солнечной постоянной ( $1300 \text{ Вт/м}^2$ );

- при аккумулировании солнечной энергии придонным рассолом солнечного соляного пруда прогревается и грунт под ним. При этом образуется существенный запас теплоты — петрогеотермальный ресурс — гарантия бесперебойного энергообеспечения в пасмурные дни;

- при разовом промерзании котлована глубиной 2 м, количество выделяемой энергии фазового перехода составляет  $668 \text{ ТДж/км}^2$ . Если эту выделяющуюся энергию равномерно использовать в течение 150 суток на отопление тепловым насосом или системой поддержания микроклимата, то установленная мощность “водяной топки” будет равна  $51,5 \text{ МВт/км}^2$ . Это сопоставимо с плотностью залежей угля в районах его добычи —  $30 \text{ МВт/км}^2$ . При этом надо учитывать, что к **конечному** потребителю в виде тепла «доходит» примерно  $\frac{1}{10}$  часть энергии залежей угля, а при использовании энергии воды, по предлагаемой технологии, будет «доходить»  $\frac{5}{8}$  —  $\frac{7}{8}$  теплоты фазового перехода. А значит воду можно с полным правом отнести к альтернативному источнику энергии (средняя плотность искусственной энергии, обусловленная хозяйственной деятельностью, равна всего  $0,02 \text{ МВт/км}^2$ , т. е. в 10000 раз меньше средней плотности солнечной энергии —  $200 \text{ МВт/км}^2$ . И только в отдельных местах земного шара этот показатель выше — в Японии  $2 \text{ МВт/км}^2$ , в Рурском районе ФРГ — 20);

- за счет подвижного **концентратора**, направляющего в акваторию солнечного соляного пруда десятки тысяч кВт·ч солнечной энергии можно обеспечить эффективный сбор солнечной энергии. Отражение солнечной энергии от вертикальной поверхности, ориентированной на юг, максимально в высоких географических широтах, а с продвижением на юг оно уменьшается, и на широтах северный тропик-экватор достигает нуля и даже **отрицательного** значения. Солнце в это время находится над северным полушарием, отражать лучи будет северная сторона здания. Использование солнечных прудов малых площадей с концентрацией энергии в том числе от стен здания в средней полосе России, для децентрализованного потребителя, является оптимальным.

Эффективность комплексного использования солнечной энергии, в средней полосе России, за счет отраженного солнечного излучения, намного выше, чем у используемых гелиотехнологий. Летом работа водомёта (хладомёта) осуществляется от энергии солнечного пруда при охлаждении его радиатора льдом (холодом), обладающим высокой удельной теплоемкостью —  $2,06 \text{ кДж/(кг·К)}$ , что обеспечивает работу с **максимальной**, для данной географической широты, разностью рабочих температур.

КПД термодинамического преобразования увеличивается на  $\frac{1}{3}$  и одновременно обеспечивается эффективное аккумулирование котлованом



солнечной энергии (до 85 % от аккумулированной прудом) и сбросного тепла гелиохолодильника на зимний период (в известных технологиях неиспользованная в термодинамических циклах теплота и сбросное тепло с дополнительными затратами энергии (до 20 % от мощности установки) и оборудования принудительно рассеивается в окружающую среду).

Предлагаемая технология позволяет; вырабатывая холод котлована запастись теплотой, вырабатывая теплоту аккумулировать холод, т.е. нет промежуточного оборудования и аккумуляторов, которые бы не работали в течение всего года. При этом вырабатывается весь спектр необходимой для производства и быта, лечения и отдыха энергии.

Работа хладомёта теплового насоса (ТН), зимой, обеспечивается за счет сжигания привозного органического топлива, просушенных местных видов топлива или местного биогаза (биометана). Полный отказ от их использования возможен при освоении технологии аккумулирования солнечной энергии, пригодной, по своим параметрам, для привода в работу хладомёта, или за счет ветра, или от геотермального двигателя.

Периодическая работа котлована: летом в качестве источника холода, а зимой теплоты, имеет свои неоспоримые преимущества, которые могут быть оценены **только** в высоких широтах. При замораживании котлована зимой ТН и системой поддержания микроклимата расширяется зона эффективного использования солнечной энергии, как в южном направлении — Кубань, Приморье, где при средней температуре января минус 4 – 10 °С, невозможно сделать намораживанием, без больших затрат, необходимые запасы льда для летней работы, так и в северном, где при средней температуре января минус 25 – 35 °С энергия замерзающей воды теплоизолированного котлована — это единственный вид энергии окружающей среды пригодный по своим параметрам (температура, теплота фазового перехода, теплоёмкость) и объемам для обогрева жилых и производственных зданий ТН, и поддержания микроклимата в животноводческих помещениях.

Положительным фактором использования солнечных соляных прудов является то, что при его возведении не должно быть проблем с оснащением его солью. В земной коре солеродные бассейны имеют огромные размеры. Так кембрийский бассейн занимает почти всю Сибирскую платформу — 2 млн км<sup>2</sup>, мощность соленосных отложений в нем достигает 3 км. Рассолы Сибирской платформы своеобразны, солей в них бывает больше, чем воды. — до 600 г/л. Т.е. для создания солнечных прудов имеются природные рассолы нужной концентрации в неограниченных количествах.

Выработка энергии из солнечного и ветрового потенциалов имеет свои особенности.

Если плотность потока солнечного излучения поступающего к приемнику не превышает 1 кВт/м<sup>2</sup> и чем она выше, тем больше можно

выработать из неё дифференцированных видов энергии, то с энергией ветра малых ВЭУ увеличение скорости ветра не всегда приводит к возрастанию вырабатываемой мощности (таблицы 6 и 7 и рисунок 2).

**Таблица 6 – Зависимость мощности на валу крыльчатки ВЭУ от диаметра ветроколеса и скорости ветра [3]**

| Диаметр ветроколеса, м | Мощность, кВт, при скорости ветра, м/с |       |       |      |       |       |       |
|------------------------|--|-------|-------|------|-------|-------|-------|
|                        | 4                                      | 5     | 6     | 7    | 8     | 9     | 10    |
| 2                      | 0,042                                  | 0,083 | 0,145 | 0,23 | 0,345 | 0,345 | 0,345 |
| 4                      | 0,17                                   | 0,33  | 0,58  | 0,92 | 1,38  | 1,38  | 1,38  |
| 8                      | 0,69                                   | 1,34  | 2,32  | 3,7  | 5,5   | 5,5   | 5,5   |
| 12                     | 1,55                                   | 3,03  | 5,25  | 8,25 | 12,4  | 12,4  | 12,4  |
| 18                     | 3,48                                   | 6,6   | 11,8  | 18,6 | 27,8  | 39,5  | 54,6  |
| 30                     | 9,6                                    | 18,9  | 32,6  | 51,6 | 77,3  | 110,0 | 151,1 |

**Таблица 7 – Мощностные характеристики (P) и КПД ( $\eta_0$ ) ВЭУ мощностью от 4 до 30 кВт [4]**

| Скорость ветра, м/с | ВТН8-10<br>Россия |          | ВЭУ-30<br>Россия, Швеция |          | GEV10-25<br>Франция |          | АВЭУ6-4<br>ССР |          |
|---------------------|-------------------|----------|--------------------------|----------|---------------------|----------|----------------|----------|
|                     | P, кВт            | $\eta_0$ | P, кВт                   | $\eta_0$ | P, кВт              | $\eta_0$ | P, кВт         | $\eta_0$ |
| 5                   | 1,4               | 0,36     | 4,7                      | 0,4      | 1                   | 0,16     | 0,6            | 0,28     |
| 6                   | 3,0               | 0,45     | 8,2                      | 0,4      | 3                   | 0,29     | 1,2            | 0,32     |
| 7                   | 4,7               | 0,45     | 13,0                     | 0,4      | 6                   | 0,36     | 1,8            | 0,30     |
| 8                   | 7,0               | 0,44     | 18,5                     | 0,38     | 9                   | 0,36     | 2,7            | 0,30     |
| 9                   | 9,4               | 0,42     | 24                       | 0,35     | 12                  | 0,34     | 3,6            | 0,29     |
| 10                  | 10                | 0,32     | 30                       | 0,32     | 15                  | 0,31     | 4,0            | 0,28     |
| 11                  | 10                | 0,24     | 30                       | 0,24     | 19                  | 0,29     | 4,0            | 0,17     |
| 12                  | 10                | 0,15     | 30                       | 0,18     | 22,5                | 0,27     | 4,0            | 0,13     |
| 13                  | 10                | 0,14     | 30                       | 0,14     | 27,5                | 0,26     | 4,0            | 0,10     |

**Расчеты показывают, что максимальную энергию ветряной двигатель дает тогда, когда ротор уменьшает скорость ветра на одну треть.**

Считается, что на Земле полезно может быть использовано только 5 % энергии ветра.

Ветродвигатели крыльчатые имеют коэффициент использования энергии ветра до 0,48, карусельные или роторные и барабанные не более 0,15.

В настоящее время ВЭУ находят все более широкое применение для выработки электроэнергии. Однако известно, что нерегулярность и колебания мощности ветрового потока вынуждают усложнять электротехническую часть ВЭУ системами автоматического регулирования и дублирования электроснабжения объектов. Вследствие этого стоимость «ветроэнергетического» киловатт-часа возрастает примерно в 1,5 раза.

В России наибольшей величины средняя скорость ветра достигает на побережье морей и океанов (8 – 9 м/с), снижаясь в континентальных областях до 2 – 5 м/с.

Высокие скорости ветра (более 6 м/с) характерны для прибрежных районов Архангельской и Мурманской областей, Ямало-Ненецкого и Таймырского автономных округов, Магаданской области, Чукотки, Камчатки, Сахалина, островов Северного Ледовитого и Тихого океанов, побережий Балтийского и Черного морей, а также некоторых горных районов Северного Кавказа и Полярного Урала. Зоны средних скоростей ветра (4 – 6 м/с) охватывают некоторые горные районы, побережья крупных озер (Каспийского, Ладожского, Байкала), долины больших сибирских рек (Оби, Енисея, Ангары, Лены), а также территории Европейской части страны, Сибири и Дальнего Востока, примыкающие к зонам наибольших скоростей ветра. Зона слабых ветров (менее 4 м/с) охватывает большую часть континентальных районов страны.

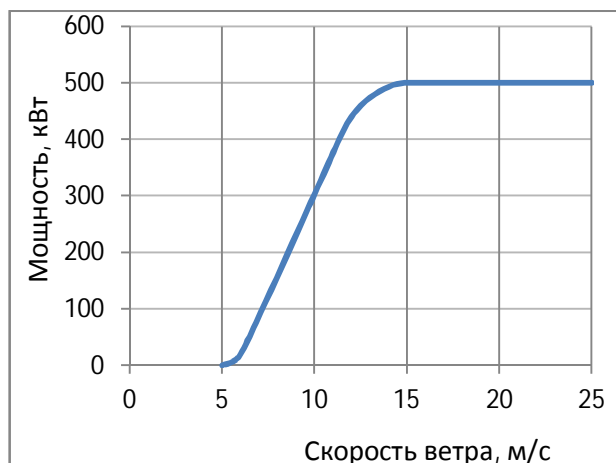
Россия имеет гигантский ветровой потенциал — только в части сухопутных ресурсов он составляет примерно 21 % от общего объема мировых ресурсов ветра.

Несмотря на большой потенциал, установленная мощность ВЭУ, действующих в России, составляет 13,2 МВт. Эта цифра несопоставима с мощностью ВЭУ, действующих в развитых странах. В Германии — мировом лидере ветроэнергетики — мощность ветроустановок составляет более 22 ГВт, в США — 17 ГВт, в Испании — 15 ГВт [5].

Для преобразования и стабилизации параметров электроэнергии, выдаваемой большими ВЭУ (установленной мощностью 1 МВт и более, со стоимостью 1 кВт установленной мощности до 1000 \$) в общую систему электроснабжения, требуется достаточно сложная аппаратура, применение которой более чем на 30 % увеличивает стоимость станций.

Таким образом, ВЭУ большой мощности стоят дорого в значительной мере из-за аппаратуры для кондиционирования напряжения, подаваемого в общую сеть [6].

На рисунке 2 приведена характеристика одной из ВЭУ европейского уровня



**Рисунок 2 – Характеристика эффективности ветряной электростанции Чешского энергетического агентства (EKIS CAE) мощностью 500 кВт**

На Европейском континенте в условиях, например, Чешской Республики пригодными для ветроэнергетики являются области, в основном расположенные высоко над уровнем моря, обычно на высоте более 500 метров над уровнем моря, хотя плотность атмосферы на высоте 500 м на 5 % меньше чем на уровне моря. На меньшей высоте над уровнем моря средняя годовая скорость ветра низкая (2 – 4 м/с).

Для малых ВЭУ, размещаемых во внутренних районах (вдали от морей) минусом является то, что они располагаются на небольших высотах, а значит, находятся в ветровом потоке низкой плотности по сравнению с крупными ВЭС (рисунок 3) [7].



**Рисунок 3 – Средние скорости ветра для различных мест в зависимости от высоты**

Как известно, обобщенным показателем эффективности любых электрических станций является **коэффициент использования установленной мощности** (Киум), определяемый как отношение фактически выработанной за год электроэнергии к электроэнергии, которую могла бы выработать электростанция, если бы весь круглый год работала с полной (номинальной) мощностью. Для традиционных электростанций Киум зависит от графика нагрузки, задаваемого диспетчером, от надежности

оборудования и, следовательно, времени, затраченного на аварийный ремонт; времени, требуемого на обслуживание и плановые ремонты.

Среднее значение  $K_{иум}$  для электростанций России составляет 50 %, для атомных электростанций — 75 – 78 %. Для ВЭУ  $K_{иум}$  зависит, кроме всех вышеуказанных факторов, ещё и от ветровых условий, т. е. поступления ветровой энергии, которая, как известно, весьма непостоянна. Поэтому среднее значение  $K_{иум}$  (таблица 8) в странах лидерах оценивается величиной порядка 25 %.

**Таблица 8 – Среднее значение  $K_{иум}$  ветроустановок стран — членов OECD, %**

| Страны    | 2000 г. | 2001 г. | 2002 г. | 2003 г. | 2004 г. |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Австралия | 19,4    | 31,1    | 37,5    | 42,0    | 21,1    |
| Канада    | 32,4    | 29,1    | 28,6    | 28,6    | 35,0    |
| Дания     | 20,0    | 19,2    | 19,3    | 20,4    | 24,1    |
| Германия  | 17,5    | 13,6    | 15,1    | 14,7    | 17,3    |
| Япония    | 14,8    | 16,3    | 17,1    | 18,7    | 19,4    |
| Испания   | 24,3    | 22,5    | 21,6    | 23,1    | 21,6    |
| Норвегия  | 27,2    | 23,7    | 8,8     | 25,7    | 30,4    |
| США       | 26,9    | 19,6    | 26,1    | 20,9    | 24,8    |

К сожалению, в таблице 8 приведены общие сведения об  $K_{иум}$ , без разделения на системы (автономные станции, установки), не зависящие от распределительной сети (grid-off) и системы (станции, подключенные к сети), поставляющие электроэнергию в сеть (grid-on). Однако цифры более чем красноречиво говорят о необходимости наличия резервного источника, если требуется бесперебойное электроснабжение.

Тем не менее, сравнительно низкий  $K_{иум}$  — один из существенных недостатков ветровой энергетики, который нивелируется, по крайней мере, двумя факторами: экологическим (нет эмиссии  $CO_2$  и не нужно топливо) и эксплуатационным. Последний фактор состоит в том, что на ветроэлектрической станции (ВЭС) мощностью, например, 200 МВт, укомплектованной ВЭУ единичной мощностью 2 МВт, выход из строя одной ВЭУ означает отключение одной сотой части мощности ВЭС. Тогда как выход из строя энергоблока мощностью 200 МВт традиционной ТЭС означает потерю 200 МВт.

Другим, весьма преувеличенным недостатком ВЭУ, считается «невозможность» прогнозировать выработку ВЭУ. Однако опыт стран-лидеров ветроэнергетики говорит о том, что этот прогноз возможен с вероятностью 95 %, т. е. аналогичный гидростанциям. Это объясняется определенными закономерностями в повторяемости скоростей ветра, а также накоплением статистических данных по выработке ВЭУ за год, месяц и дни месяца [8].

При выборе площадки для установки ВЭУ исходят из особенностей микрорельефа местности (небольшие холмы и котловины, высокие насыпи, овраги, балки и т.д.), а в горных районах — особенности микро- и

мезорельефа местности (гребни, склоны, платообразные участки, днища долин, межгорные долины и т. п.).

Для ВЭУ, установленных в условиях, способствующих резкому увеличению скоростей ветра (высокий берег большой реки, резко выделяющаяся над окружающей местностью возвышенность, гребневые зоны хребтов, межгорные долины, открытые для сильных ветров, прибрежная полоса морей и океанов, больших озер и водохранилищ в пределах 3 – 5 км) при отсутствии данных наблюдений скорость ветра следует увеличивать на 20 % по сравнению с принятой для данного района.

Для уточнения ветрового потенциала, в первом приближении, можно пользоваться также таблицей 9 [3].

**Таблица 9 – Поправочные коэффициенты на возрастание скоростных напоров ветра для высот более 10 м (за исключением горных местностей)**

| Высота насыпи, м        | До 5 | 5 – 10 | 11 – 20 | 21 – 30 |
|-------------------------|------|--------|---------|---------|
| Поправочный коэффициент | 1,0  | 1,17   | 1,39    | 1,63    |

#### **И в завершении о забытом способе использования энергии ветра.**

Поскольку ВЭУ это довольно сложная конструкция, гораздо легче построить просто тепловую машину с приводом от ветра, так называемую «джоулевую» мешалку. Света от нее конечно не будет. Но будет тепло. Эти ветровые теплогенераторы можно производить в любой механической мастерской. Делается простое ветроколесо — из жести, листового железа, текстолита, дерева. Напоминает оно колесо колесного парохода, только вращаться будет в горизонтальной плоскости. Половина колеса прикрывается кожухом, чтобы ветер воздействовал только на одну часть, иначе вращения не будет. На кожухе — флюгер, чтобы колесо само ориентировалось по ветру. Лучше делать колесо метра три в диаметре. Лопастями укрепить растяжками для жесткости или уголки подварить. Колесо ставится на металлическом или деревянном шесте над крышей. Этот шест передает вращение колеса и нижним концом уходит в бочку с водой, которая находится в доме. В бочке с водой — перегородки, приваренные к стенкам, на шесте — лопасти. Между подвижными лопастями и перегородками — небольшие зазоры. Вращаясь, лопасти нагревают воду. Обычное очень простое устройство для перевода механической работы в тепло. Вода в бочке может нагреваться до кипения. Горячую воду можно отводить и направлять прямо в отопительные батареи, она будет циркулировать, и греть дом. В конструкции должен быть предусмотрен стопор, чтобы её не сломало при сильных ветрах.

А теперь немного истории.

Если возьмете наши самые ходовые (в СССР и современной России) купюры — червонцы, то там нарисованы плотины электростанции. И не зря. Лицо СССР очерчивалось, с одной стороны, его величественными плотинами и рукотворными морями, с другой — залитыми этими морями лучшими

пашнями, торчащими из воды куполами церквей, гибнущей под плотинами рыбой. И этот облик молодой Советской страны берет свое начало в двадцатых годах, когда Ленин склонился к плану ГОЭРЛО. А мог склониться и к другому плану электрификации. Тогда символом мощи страны был бы вовсе не ДнепрогЭС.

Сейчас в Курске стоит дом-музей Уфимцева. Этот Уфимцев ещё в тридцатые годы решил проблему, которые немцы решали в программе «Эльдорадо-ветер». Он построил в Курске первую ветростанцию, которая давала ток, даже когда не было ветра.

Он аккумулировал механическую энергию также как Кулибин с помощью инерционного аккумулятора, то есть маховика. Пока дует ветер, он не только крутит электрогенератор, но и раскручивает маховик. Когда ветер стихал, этот огромный маховик по инерции вращался и крутил генератор. Станция освещала двухэтажный дом Уфимцева, питала его станки, которые стояли в подвале, и освещала часть улицы Семеновской в Курске. И это, при том, что в Курске сильных ветров не бывает. Аккумулированной маховиком энергии хватало на несколько часов. В 1936 году Уфимцев умер, и после его смерти станцию запустить уже никому не удалось, потому что никто не мог понять, как она работает. Этот ветряк высотой 40 метров до сих пор стоит в Курске. Профессор Нурбей Гулиа, когда работал семь лет в Курске завкафедрой Политеха, пытался со студентами запустить уфимскую ветростанцию. Ничего не вышло. А, он по его словам «не последний человек в механике». Для того времени конструкция Уфимцева была просто фантастической! Он на сто лет опередил свое время.

Во-первых, Уфимцев вместе с довольно известным тогда аэродинамиком профессором Ветчинкиным создал первое в мире ветроколесо с поворотными лопастями и переменным углом атаки — как в современных вертолетах! Во-вторых, знаменитый маховик на двух подшипниках, который весил 320 кг, был помещен в специальную вакуумную камеру, чтобы воздухом не тормозился. И это в тридцатых годах! В конце XIX века Гулиа с немцами пытались повторить конструкцию Уфимцева. На современном уровне техники и материаловедения.

Уфимцев на практике показал, что наша страна могла пойти другим путем. Не нужно было бы плотины строить, затоплять города. Уфимцев и Ветчинкин связывали расцвет России с тотальным использованием ветра. Они это называли «сплошной анемофикацией России». У них были даже статистические расчеты по районам России, которые подтверждали, что вся энергетика России может быть основана на энергии ветра. Но, к сожалению, был выбран другой путь. Как завещал вождь.

*Для справки: площадь водохранилища Рыбинской ГЭС — 4580 км<sup>2</sup>. При мощности ГЭС 346 МВт выработка электроэнергии составляет 644 млн кВт·ч в год. А значит удельная электрическая мощность равна всего*

0,075 МВт/км<sup>2</sup>, и с 1 м<sup>2</sup> водохранилища в год вырабатывается 0,14 кВт·ч электроэнергии. Среднегодовой Коэффициент использования ГЭС составляет около 21 %.

**Как видно из изложенного, технологии преобразования солнечной и ветровой энергий при выработке энергии малых мощностей могут и должны дополнять и поддерживать друг друга, потому что каждый из этих ВИЭ далеко не идеален.**

*Они могут решать задачи, возлагаемые на малую и нетрадиционную энергетику России, к которым относятся:*

*1. Обеспечение гарантированного минимума энергоснабжения населения и производства в зонах централизованного энергоснабжения.*

*2. Обеспечение устойчивого тепло- и электроснабжения населения и производства в зонах децентрализованного энергоснабжения.*

*3. Компенсация снижения завоза топлива в труднодоступные районы и на Крайний Север при одновременном увеличении надежности и экономичности энергоснабжения.*

*4. Снижение вредных выбросов от энергетических установок в отдельных городах и населенных пунктах со сложной экологической обстановкой.*

## Список литературы

1 Алексеев С.В. Нетрадиционная энергетика и энергоресурсосбережение / С.В. Алексеев // Инновации Технологии Решения. 2006. № 3. С. 36 – 39.] и [Энергетика, экология, энергосбережение, транспорт [Текст]: ч. 1 / под ред. В.П. Горелова, С.В. Журавлева, В.А. Глушец. – Омск: Иртышский филиал ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта», 2007. – 265 с. (Труды 3-й международной науч.-техн. конф., 5 – 8 июня 2007)/

2 Справочник по климату СССР выпуск 17, часть I. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 276 с.

3 Осадчий Г.Б. Солнечная энергия, её производные и технологии их использования (Введение в энергетику ВИЭ) Омск: ИПК Макшеевой Е.А., 2010. 572 с.

4 Харитонов В.П. Новая конструкция ветроэлектроагрегата / В.П. Харитонов // Энергосбережение. 2007. № 4. С. 80 – 81.

5 Кожуховский И. Конец эры углеводородов / И. Кожуховский, И. Хузмиев // Альтернативная энергетика. 2008. № 3. С. 6-10.

6 Кокоев М.Н. Теплофикационная ветросиловая установка// Энергия Экономика Техника Экология. – 2007. – № 3. – С. 18 – 22/

7 Мааке В. Учебник по холодильной технике / В. Мааке, Г.-Ю. Эккерт, Ж.-Л. Кошпен. М.: Издательство Московского университета. 1998. 1142 с.



8 Безруких П. Поветруэнергетика / П. Безруких // Альтернативная энергетика. 2008. № 3. С. 12-16.

Автор: Осадчий Геннадий Борисович, инженер, автор 140 изобретений СССР.

Тел дом. (3812) 60-50-84, моб. 8(962)0434819

E-mail: [genboosad@mail.ru](mailto:genboosad@mail.ru)

Для писем: 644053, Омск-53, ул. Магистральная, 60, кв.17.