



## ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕПЛОВАЯ ЭНЕРГОУСТАНОВКА НА ОСНОВЕ ВИЭ

**В. К. Аверьянов**, советник генерального директора АО «Газпром промгаз»

**В. В. Елистратов**, директор научно-образовательного центра «Возобновляемые виды энергии и установки на их основе» СПбГПУ

**А. И. Тютюнников**, заведующий лабораторией АО «Газпром промгаз»

**А. А. Мележик**, заведующий лабораторией АО «Газпром промгаз»

При развитии технологий, используемых в энергетике, можно выделить два основных направления: разработка инновационного оборудования и замена распространенных топливных технологий альтернативными. Последнее предполагает в том числе вовлечение в энергобалансы возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Одним из таких решений является система теплоснабжения (СТС) на основе ВИЭ, состоящая из подсистем генерации, аккумулирования и потребления тепловой энергии.

Среди приоритетных направлений научно-технического прогресса в энергетике энергостратегией России на период до 2030 года выделено развитие автономного энергообеспечения потребителей с использованием ВИЭ. Особое внимание здесь уделяется вопросам обеспечения потребителей удаленных и изолированных районов. В части, касающейся теплоснабжения, определенные стратегические цели развития для повышения

конкурентоспособности связаны с улучшением технико-экономических показателей тепловых энергоустановок на основе ВИЭ.

Наибольшее распространение по площади территории имеют солнечная и ветровая энергии, а также низкопотенциальное тепло, которые доступны практически повсеместно, но с различными потенциалами их использования (см. справку). В отличие от них использование остальных видов ВИЭ более существенно связывается с местными особенностями. При этом из-за непостоянства во времени и несовпадения пиков поступления энергии от разных ВИЭ и энергопотребления актуальны вопросы их совместного использования, в том числе в комбинации с традиционными энергоисточниками и аккумуляторами тепловой энергии<sup>1</sup>.

### Система теплоснабжения на основе ВИЭ

Авторами предложена система теплоснабжения (СТС) на основе возобновляемых источников энергии,

состоящая из подсистем генерации, аккумулирования и потребления тепловой энергии. Высокая энергоэффективность системы обеспечивается за счет комплексного использования инновационных ветро- и гелиоустановок. Выработка тепла в ветроустановке осуществляется преобразованием энергии давления в тепловую при движении теплоносителя по гидроконтур за счет объемного насоса, установленного на валу ветроколеса. В гелиоустановку дополнительно включен обратный (антигравитационный) термосифон,

обеспечивающий передачу тепла в направлении действия сил гравитации (сверху вниз) на расстояние нескольких метров без затрат электроэнергии. Предлагаемая СТС ориентирована на обеспечение тепловой энергией объектов в регионах с высокой стоимостью топлива (как правило, привозного) и предполагает обеспечение следующих основных свойств:

- повышение степени использования ВИЭ за счет включения в схему одновременно гелио- и ветроустановок;

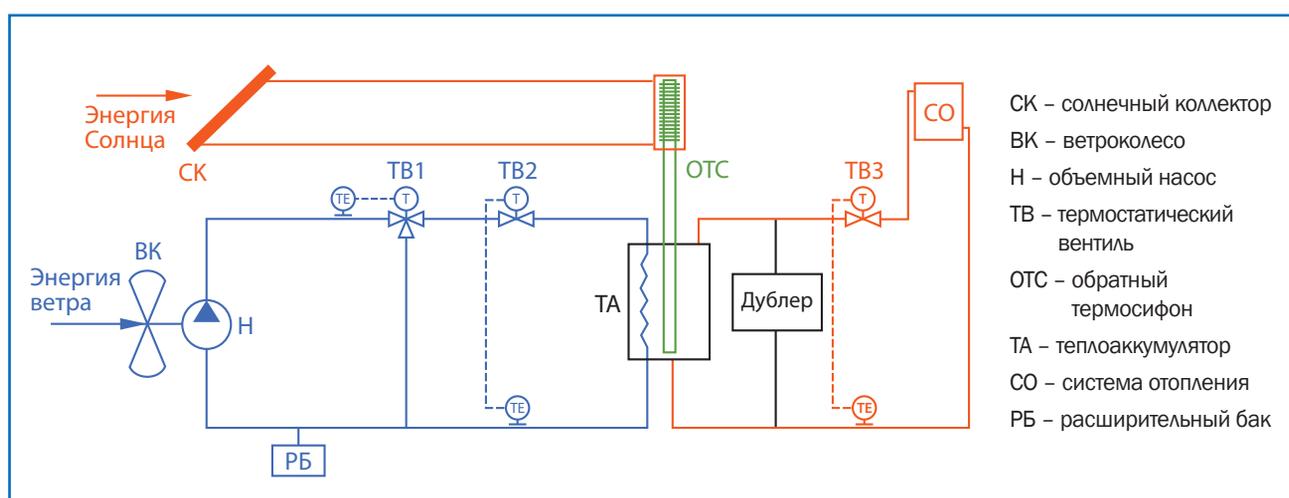


Рис. 1. Принципиальная схема ветро-солнечной СТС

<sup>1</sup> Актуальность работ по комбинированному вовлечению в энергобалансы объектов солнечной, ветровой энергии и низкопотенциального тепла подтверждается работами авторов и других специалистов в области возобновляемой энергетики: П. П. Безруких, В. А. Бутузова, Г. П. Васильева, Ю. С. Васильева, В. А. Минина, О. С. Попеля, В. Н. Толмачева и др.

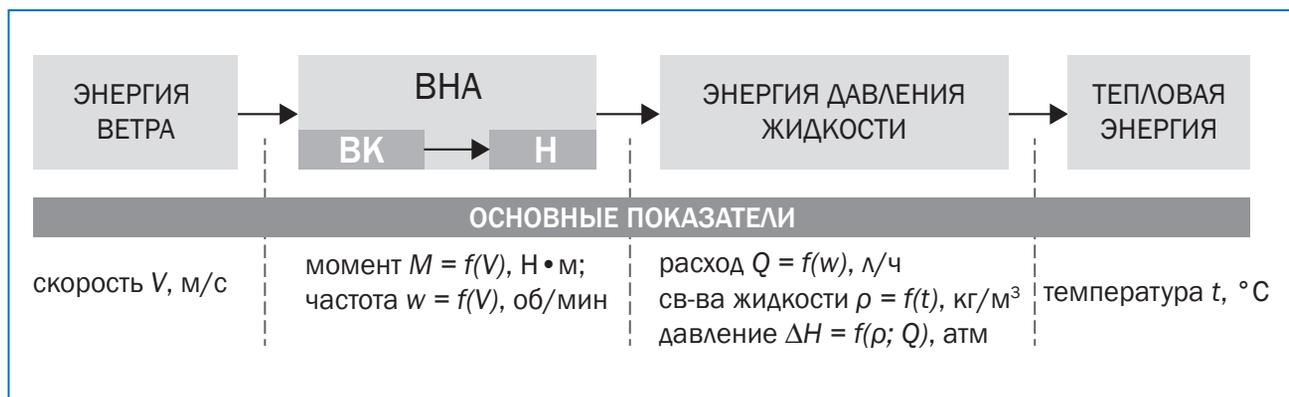


Рис. 2. Блок-схема ветронасосного агрегата

- упрощение технологической схемы путем исключения электрогенераторов в ветроустановке и электродвигателей в геликонтуре и в контуре системы отопления;

- максимальное использование для переноса теплоты ветровой энергии и гравитационных сил.

### Структурная схема ветро-солнечной СТС

СТС сформирована из четырех подсистем (рис. 1):

- преобразование ветровой энергии в тепловую и передача ее в теплоаккумулятор объемным насосом, установленным на валу ветроколеса (подсистема генерации теплоты);

- преобразование солнечной энергии в тепловую и теплоотведение от геликolleкторов в нижерасположенный теплоаккумулятор с помощью обратного термосифона (подсистема генерации теплоты);

- гравитационная система отопления здания с дублирующим источником теплоты (подсистема теплопотребления);

- подсистема аккумулирования теплоты.

Комплекс моделей указанных подсистем в совокупности с моделью термодинамических и теплофизических свойств применяемых теплоно-

сителей формируют единую систему моделей системы теплоснабжения.

### Генерация теплоты с использованием энергии ветра

Для генерации теплоты с использованием энергии ветра рассматриваемая СТС включает ветронасосный агрегат (рис. 2).

На основании изложенных в [1] вопросов конструирования ветросиловых агрегатов СТС комплектуется преимущественно многолопастными ветродвигателями. Применение быстрходных ветродвигателей возможно в совокупности со вспомогательными устройствами (центробежные муфты, редукторы). Использование объемных насосов в составе ветронасосного агрегата обосновывает-

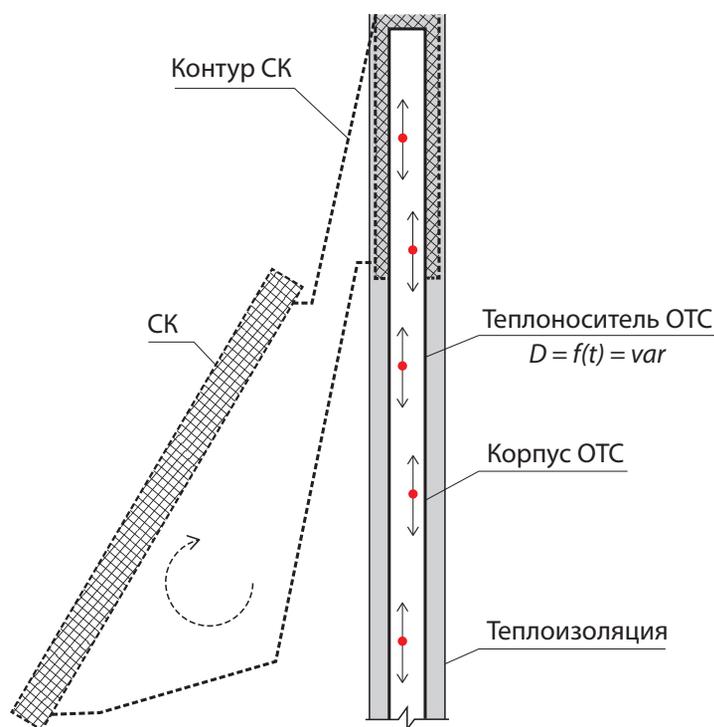


Рис. 3. Схема подключения солнечного коллектора (СК) и обратного термосифона (ОТС)

ся жесткостью их характеристики ( $H \rightarrow \infty$ ) и герметичностью, что позволяет совместить функции двигателя с гидротормозом для ветроколеса и регулятором его частоты вращения [2]. Это позволяет регулировать в широком диапазоне частоту вращения ветроколеса изменением сопротивления гидросети ( $s$ ).

В отличие от известных решений ветроустановок с электрогенераторами работа ветронасосного агрегата не связывается с промежуточным получением электроэнергии, а основана на термодинамическом законе преобразования энергии потока жидкости (энергии давления) в тепловую [2]. Лабораторные исследования выработки тепла таким способом показали, что эффективность преобразования механической энергии в тепловую с учетом потерь на собственные нужды составила около 90% [3].

### Генерация теплоты с использованием энергии Солнца

Гелиоустановка в составе СТС включает солнечные коллекторы и обратный термосифон, обеспечивающие передачу тепла в направлении действия сил гравитации (сверху вниз) на требуемое расстояние без дополнительных затрат электроэнергии. Принцип действия обратного термосифона основан на использовании теплоаккумулирующих теплоносителей с переменной плавучестью [4]. Расчетная мощность обратного термосифона регулируется за счет изменения свойств и количества входящих в их состав теплоносителей.

Подбор гелиоустановки ведется с применением математических моделей солнечных установок с естественной циркуляцией теплоносителя [5, 6]. Обратный термосифон конструируется с решением задач тепломас-



сообмена (рис. 3).

Снижение теплотерь в гелиоустановке, в том числе в периоды отсутствия солнечной радиации (в ночные и пасмурные часы), достигается размещением солнечных коллекторов ниже верхнего уровня обратного термосифона с целью исключения циркуляции теплоносителя с естественной конвекцией через солнечный коллектор и теплоизоляцией термосифона. Кроме того, термическое сопротивление промежуточной зоны, которое в случае с однофазными термосифонами оказывает отрицательное влияние [7], в рассматриваемом

обратном термосифоне играет положительную роль. Устойчивость работы ОТС получила подтверждение в ходе проведенных экспериментов.

Предлагаемая конструкция гелиоустановки характеризуется простотой и экономичностью по сравнению с аналогичными установками с насосной циркуляцией теплоносителя.

Основные преимущества при сравнении с решениями:

- на базе тепловых труб [8] – большие расстояния теплопереноса, в то время как для известных тепловых труб расстояние ограничено величиной капиллярного давления, которое составляет около 1 м вод. ст.

Так, в [9] максимальная из представленных высот капиллярного подъема составляет 157 см для фитиля тепловой трубы, выполненного из спеченного медного порошка;

- с обратными двухфазными термосифонами [10] – непрерывность циклов теплопереноса при теплоступлении от солнечного коллектора, отсутствие вспомогательных устройств (концентраторы, вспомогательные конденсаторы и др.) и теплозатрат на реализацию термодинамического цикла.

### Аккумуляция и потребление тепла

Аккумуляция тепла в системе теплоснабжения предусматривается в емкостном теплоаккумуляторе, объединяющем обе подсистемы генерации тепла на основе ВИЭ и подсистему теплоснабжения. Для обеспечения температурной стратификации теплоаккумулятор следует выполнять из отдельных секций. Подключение обратного термосифона может быть выполнено:

- с непосредственным его размещением в теплоаккумуляторе (рис. 1),
- для снижения теплопотерь с размещением конденсаторной части обратного термосифона ниже теплоаккумулятора, что предотвратит

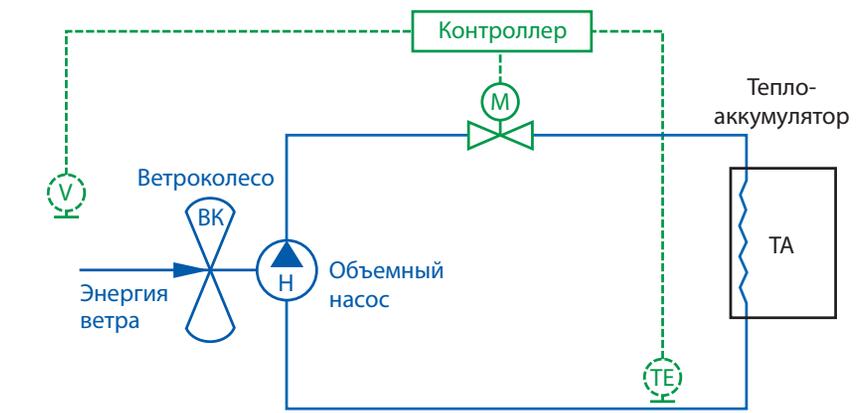


Рис. 5. Схема ветронасосного агрегата при регулировании с изменением сопротивления гидроконтуров

естественную циркуляцию из теплоаккумулятора в термосифон.

Система отопления предусматривается гравитационная, с естественной циркуляцией теплоносителя.

### Регулирование технологических процессов

В предлагаемой системе теплоснабжения предусматривается регулирование следующих аспектов:

- производительности ветронасосного агрегата,
- процессов зарядки/разрядки теплоаккумулятора.

Для рассматриваемого ветронасосного агрегата выбраны два метода регулирования:

- Изменение гидравлического сопротивления сети с применением регулирующего вентиля (рис. 4а). Схема ВНА с устройством автоматики по данному методу регулирования представлена на рис. 5.

- Параллельное включение нескольких насосов с подключением их при достижении ветроколесом ВК заданной скорости вращения за счет центробежных муфт ЦМ (рис. 4б).

Регулирование производительности ветронасосного агрегата в первом случае осуществляется по анемометру и обеспечивает положение рабочей точки гидросистемы вблизи вершины характеристики ветродвигателя при различных скоростях ветра

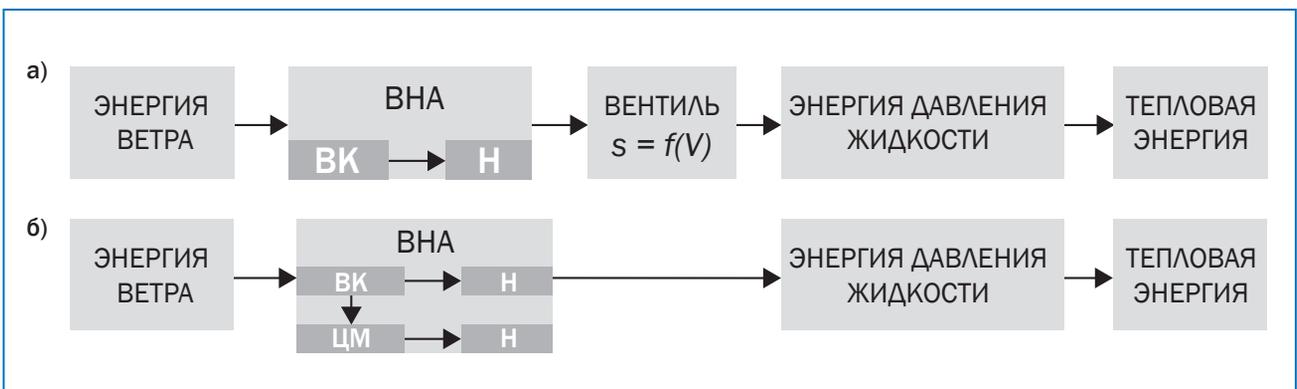
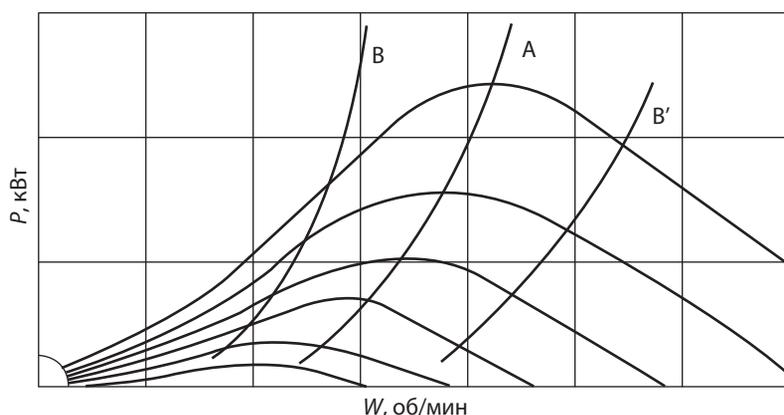


Рис. 4. Блок-схема регулирования производительности ветронасосного агрегата (ВНА) за счет изменения: а) гидравлического сопротивления сети; б) количества работающих насосов



**Рис. 6.** Рабочая характеристика ветронасосного агрегата с различными режимами работы

(рис. 6, линия A), в то время как при отсутствии регулирования ветродвигатель будет тормозиться гидросетью (рис. 6, линия B) или не будет полноценно использован потенциал ветра (рис. 6, линия B').

Кроме того, закрытие вентиля по датчику температуры на выходе из теплоаккумулятора обеспечивает предотвращение перегрева системы, а по анемометру – позволяет произвести остановку ветроколеса при критических значениях скорости ветра.

При отсутствии автоматики, требующей электропитания, регулирование в процессе функционирования рассматриваемой системы теплоснабжения осуществляется на базе трех основных термостатических вентилях (ТВ) (рис. 1):

– Вентиль ТВ1 предназначен для предварительного нагрева теплоносителя в ветронасосном агрегате и предотвращения охлаждения теплоаккумулятора. При начале работы ветронасосного агрегата ТВ1 обеспечивает циркуляцию теплоносителя по малому контуру через перемычку перед теплоаккумулятором. При нагреве теплоносителя до заданной температуры вентиль ТВ1 открывается в направлении к теплоаккумулятору.

– Вентиль ТВ2 служит для предотвращения перегрева теплоносителя

в теплоаккумуляторе. При достижении максимальной температуры теплоносителя в обратном трубопроводе вентиль ТВ2 закрывается, ветронасосный агрегат прекращает теплогенерацию. При этом благодаря вентилю ТВ1 в малом контуре поддерживается заданная температура теплоносителя, что позволяет при открытии вентиля ТВ2 одновременно организовать теплоступление в теплоаккумулятор от ветронасосного агрегата.

– Вентиль ТВ3 обеспечивает количественное регулирование теплоступления в систему отопления по температуре в обратном трубопроводе данной системы. Кроме того, при теплоснабжении от дублера благодаря вентилю ТВ3 излишки тепла сбрасываются в теплоаккумулятор. При открытом вентиле ТВ3 и работающем дублере циркуляция теплоносителя осуществляется через систему отопления за счет большего температурного напора по сравнению с контуром теплоаккумулятора.

Итак, разработанная система теплоснабжения позволяет обеспечить повышение степени использования ВИЭ за счет комбинированного использования энергии ветра и Солнца. Технологическая схема системы те-

плоснабжения на основе ВИЭ упрощена и не требует наличия электрогенераторов и электродвигателей. Перенос теплоты в системе теплоснабжения организован с использованием инновационных ветро- и гелиоустановок под действием механической энергии ветронасосного агрегата и гравитационных сил в обратном термосифоне.

### Литература

1. Фатеев Е. М. Ветродвиатели и ветроустановки. М., 1948.
2. Башта Т. М., Руднев С. С., Некрасов Б. Б. и др. Гидравлика, гидромашинны и гидроприводы. М., 1982. 422 с.
3. Аверьянов В. К., Толмачев В. Н., Мележик А. А. Улучшение экономических показателей ветроустановок за счет применения новых технических решений // Наука и техника в газовой промышленности. 2013. № 1.
4. Патент RU 152114 U1. Теплопередающее устройство.
5. Duffie, J. A., Beckman, W. A. Solar Engineering of Thermal Processes. Fourth Edition. John Wiley Sons: Hoboken, NJ, USA, 2013.
6. Елистратов В. В., Аронова Е. С. Солнечные энергоустановки. Оценка поступления солнечного излучения : Учебное пособие. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2012.
7. Елисеев В. Б., Сергеев Д. И. Что такое тепловая труба? М. : Энергия, 1971.
8. Huang, B. J., Yang, P. E., Wang, J. H., Wu, J. H. Integral-type solar water heater using loop heat pipe. Proceedings of ISES Solar World 680 World Congress 2007: Solar Energy and Human Settlement.
9. Reay, D., Kew, P., McGlen, R. Heat Pipes. Theory, design and applications. Sixth Edition. Elsevier Ltd, 2014.
10. Бондаренко Ю. И. Двухфазный обратный термосифон для системы гелиотеплоснабжения : Автореферат. Ашхабад, 1985. ■