

**ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ,  
ГИДРОЭНЕРГЕТИКА**

**ВЛИЯНИЕ АККУМУЛЯТОРОВ ТЕПЛА НА ПОКАЗАТЕЛИ  
СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ КОТЕЛЬНОЙ И ВЕТРОУСТАНОВКИ  
В ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА**

© 2022 г. В. А. Минин\*

*Центр физико-технических проблем энергетики Севера Кольского научного центра РАН,  
ул. Ферсмана, д. 14, г. Апатиты, Мурманская обл., 184209 Россия*

*\*e-mail: v.minin@ksc.ru*

Поступила в редакцию 25.03.2021 г.

После доработки 05.05.2021 г.

Принята к публикации 26.05.2021 г.

Представлена оценка потенциала ветра западного сектора арктической зоны России, свидетельствующая о высокой интенсивности ветра в прибрежных районах Баренцева и Белого морей. Среднегодовые скорости ветра, по данным метеостанций, в этой зоне составляют 5–8 м/с на высоте около 10 м, что является очевидной предпосылкой для применения ветроэнергетических установок в системах электро- и теплоснабжения удаленных потребителей Севера. Другая важная предпосылка – зимний максимум интенсивности ветра, совпадающий с зимним максимумом потребности в энергии на нужды отопления. Это облегчает вписывание ветровой энергии в график отопительной нагрузки, сокращает время работы отопительной котельной и обеспечивает существенную экономию топлива. На базе результатов синхронных наблюдений за температурой наружного воздуха и скоростью ветра на северном побережье Кольского полуострова, определяющих объемы потребления тепла, рассмотрен годовой график отопительной нагрузки прибрежных потребителей, показано возможное участие котельной и ветроэнергетических установок (ВЭУ) в его покрытии. По результатам выполненного исследования оценена целесообразность внедрения в схему теплоснабжения аккумуляторов тепла, которые могут запасать в периоды сильного ветра избытки энергии и затем в периоды провала ветровой мощности направлять их по мере необходимости на покрытие графика отопительной нагрузки. Внедрение аккумуляторов тепла позволяет увеличить полноту использования энергии ветра, свести к минимуму ее холостые сбросы, сократить время работы котельной, уменьшить расход топлива и эксплуатационные расходы.

*Ключевые слова:* Европейский Север России, энергия ветра, теплоснабжение, котельная, ветроэнергетическая установка, аккумулятор тепла

**DOI:** 10.1134/S0040363622020047

Исследованию перспектив использования энергии ветра для электро- и теплоснабжения потребителей различных категорий в последние годы уделяется повышенное внимание. Возросший интерес определяется тем, что внедрение ветроэнергетических установок позволяет сократить расход органического топлива, снизить себестоимость электрической и тепловой энергии на местных источниках энергии, уменьшить выбросы вредных веществ в атмосферу.

Перспективы развития ветроэнергетики зависят от потенциала ветра, наличия (или отсутствия) местных топливных ресурсов, условий доставки привозного топлива и других факторов [1–3]. Весьма характерным в этом плане является Европейский Север России. В его состав входят Кольский полуостров, архипелаги Новая Земля и Земля Франца-Иосифа. В прибрежных районах

этого сектора Арктики наблюдаются высокие скорости ветра и низкие температуры воздуха [4–6]. Суровые природно-климатические условия определяют повышенную потребность в тепловой энергии метеостанций, маяков, пограничных застав, объектов Северного флота и др. Топливо потребителям доставляется, как правило, морским транспортом в период летней навигации, что вызывает его удорожание на 40–70%. Вовлечение в этих условиях ветровой энергии в процесс теплоснабжения может способствовать вытеснению значительных объемов дорогого привозного топлива. Об этом свидетельствует и зарубежный опыт применения ветроэнергетических установок для выработки тепловой энергии [7]. В Европе для решения вопросов местного теплоснабжения разработана соответствующая дорожная карта [8]. В Канаде в субарктических автоном-



**Рис. 1.** Средние многолетние скорости ветра, м/с, зафиксированные на метеостанциях западного сектора арктической зоны России.

+ – местоположение ветроэнергетического полигона Кольского научного центра РАН

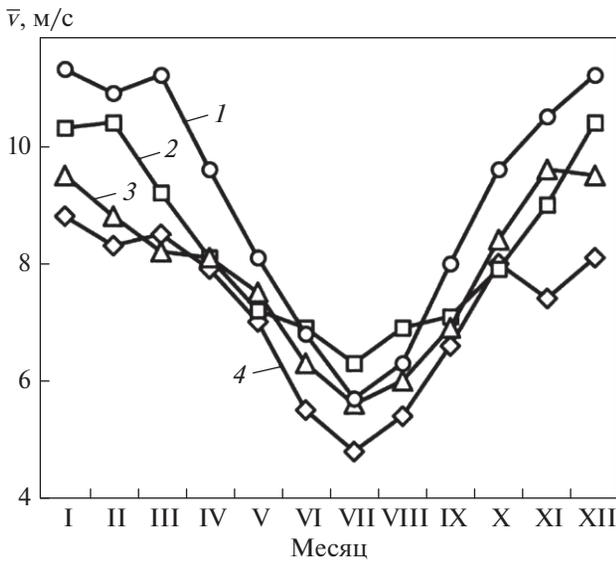
ных районах также организовано альтернативное производство тепловой энергии, ее аккумулярование и хранение в целях экономии привозного топлива [9]. Все сказанное свидетельствует об актуальности исследований, направленных на использование ресурсов ветра для теплоснабжения потребителей Севера.

#### ПОТЕНЦИАЛ ВЕТРА РЕГИОНА

Потенциал ветра в прибрежных районах Европейского Севера России показан на рис. 1. На нем приведены значения средних скоростей ветра, полученные в процессе многолетних наблюдений на почти 80 метеостанциях Европейского Севера

[4, 10]. Наибольший потенциал ветра характерен для прибрежных районов Баренцева моря. Он обусловлен соседством незамерзающего моря и холодной суши. Здесь среднегодовые скорости ветра на высоте 10 м составляют 7–8 м/с. В прибрежных районах сравнительно небольшого Белого моря, которое замерзает зимой, ветер слабее, его среднегодовые скорости едва достигают 5–6 м/с.

Климатической особенностью рассматриваемых районов является зимний максимум скоростей ветра. Об этом свидетельствуют результаты многолетних наблюдений, представленные в [11, 12]. На рис. 2 показан годовой ход ветра, зафиксированный на метеостанциях региона. Сезонная



**Рис. 2.** Среднемесячная скорость ветра  $\bar{v}$  в течение года в районах метеостанций.  
 1 – о. Харлов (Кольский полуостров); 2 – Малые Кармакулы (архипелаг Новая Земля); 3 – Амдерма (Ненецкий автономный округ); 4 – о. Рудольфа (архипелаг Земля Франца-Иосифа)

особенность режима ветра стала благоприятной предпосылкой для вовлечения рассматриваемого источника энергии в процесс обеспечения нужд отопления.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Энергии ветра свойственно значительное непостоянство во времени. С этим негативным фактором приходится активно бороться при использовании ветра для выработки электрической энергии, однако следует все-таки отметить, что этот фактор не является столь уж критичным. Объясняется это тем, что процессы нагревания и остывания теплоносителя инерционны. Поэтому краткие порывы ветра (в течение нескольких секунд) могут легко сглаживаться благодаря аккумулирующей способности теплоносителя, а более продолжительные колебания интенсивности ветра (десятки минут) могут быть выровнены аккумулирующей способностью отапливаемых зданий. Изменения интенсивности ветра в течение нескольких часов уже требуют подключения к работе резервных мощностей или аккумулирующих устройств.

Представляет интерес проследить, как в комбинированной системе теплоснабжения котельная и ветроэнергетическая установки взаимно дополняют друг друга, каким должно быть оптимальное соотношение их мощностей. Также представляется целесообразным определить эффективность внедрения в систему теплоснабже-

ния аккумуляторов тепловой энергии, способных запасать периодически появляющиеся избытки энергии ветра и срабатывать их в периоды повышения нагрузки. Рассмотрению этих вопросов и посвящена настоящая статья.

### ОПТИМАЛЬНОЕ СООТНОШЕНИЕ МОЩНОСТЕЙ ВЭУ И КОТЕЛЬНОЙ

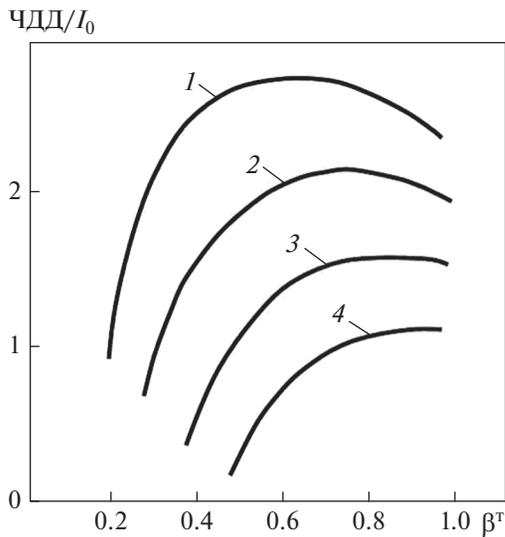
При использовании энергии ветра и внедрении ветроэнергетических установок в схему теплоснабжения всегда встает вопрос о том, какой должна быть оптимальная мощность ВЭУ при ее совместной работе с котельной. В работе [13] показано, что при теплоснабжении оптимальное соотношение  $\beta^T = N_{\text{ВЭУ}}/N_k$  (здесь  $N_{\text{ВЭУ}}$ ,  $N_k$  – мощность ВЭУ и котельной), обеспечивающее минимум приведенных затрат, можно определить по выражению

$$\beta_{\text{опт}}^T = \frac{1}{3.2} \left( \frac{v_p}{\bar{v}_T} \right)^2 \times \ln \left[ \frac{3.2}{1.2b_{\text{ВЭУ}} + E_n} \frac{h_k^{\text{max}} 0.143z_T}{\eta_k \eta_{T,x} 1163 k_{\text{ВЭУ}} \left( \frac{v_p}{\bar{v}_T} \right)^2} \right], \quad (1)$$

где  $v_p$ ,  $\bar{v}_T$  – расчетная и среднегодовая скорость ветра, м/с;  $b_{\text{ВЭУ}}$  – норма амортизационных отчислений;  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений;  $h_k^{\text{max}}$  – продолжительность использования максимальной мощности котельной, ч/год;  $z_T$  – стоимость топлива, руб/т у. т.;  $\eta_k$  – КПД котельной установки;  $\eta_{T,x}$  – коэффициент, учитывающий потери жидкого топлива при транспортировке и хранении;  $k_{\text{ВЭУ}}$  – удельные капиталовложения в ВЭУ, руб/кВт.

Применительно к условиям прибрежных районов Европейского Севера России были проведены расчеты  $\beta_{\text{опт}}^T$  при  $v_p/\bar{v}_T = 1.5-1.6$ ,  $h_k^{\text{max}} = 3000-3500$  ч/год,  $z_T = 90$  тыс. руб/т у. т.,  $b_{\text{ВЭУ}} = 0.07$ ,  $E_n = 0.12$ ,  $\eta_k = 0.7$ ,  $\eta_{T,x} = 0.95$ ,  $k_{\text{ВЭУ}} = 100$  тыс. руб/кВт. При указанных данных себестоимость тепловой энергии, вырабатываемой в котельной мощностью 232 кВт, работающей без ВЭУ, составит 16.3 руб/(кВт · ч). Минимум приведенных затрат при использовании ВЭУ достигается при  $\beta_{\text{опт}}^T = 0.75-0.87$ .

Для расчета чистого дисконтированного дохода (ЧДД) при совместной работе котельной и ВЭУ ставку дисконтирования принимали равной 7%, инфляцию – 4%,  $\beta_{\text{опт}}^T = 0.8$ . Результаты расчета показали, что при реализации тепла по тарифу 15.7, 13.8 или 12.0 руб/(кВт · ч) (что существенно



**Рис. 3.** Зависимость соотношения чистого дисконтированного дохода и инвестиций в котельную и ВЭУ от  $\beta^T$ . Тариф на теплоснабжение, руб/(кВт · ч): 1 – 14.6; 2 – 13.8; 3 – 12.9; 4 – 12.0

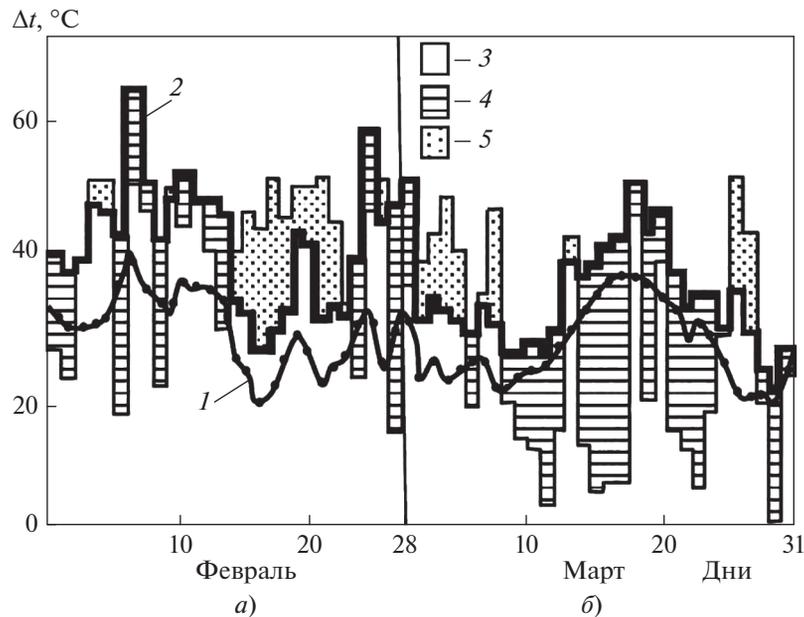
ниже, чем при теплоснабжении только от котельной) сроки окупаемости капиталовложений в котельную и ВЭУ составят соответственно 4, 6 и 9 лет. При этом доход на каждый рубль инвестиций, вложенных в котельную и ВЭУ  $I_0$ , достигает максимума при  $\beta_{\text{опт}}^T = 0.7-0.9$  (рис. 3).

Потребности в тепловой энергии  $Q$  на отопление с учетом ветра вычисляли по формуле

$$Q = qVk_b\Delta t, \quad (2)$$

где  $q$  – удельная тепловая характеристика здания, кВт/(м<sup>3</sup> · К);  $V$  – наружный объем здания, м<sup>3</sup>;  $\Delta t = t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}$  – перепад между внутренней (в помещении) и наружной температурами воздуха;  $k_b$  – поправочный коэффициент на скорость ветра.

Переменной величиной в выражении (2) является произведение  $k_b \Delta t$ . Оно определяет приведенный (с учетом ветра) температурный перепад  $\Delta t$ , который необходимо покрыть с помощью источников тепловой энергии (котельной + ВЭУ). Хронологическое изменение показателя  $\Delta t$  за период февраль–март показано на рис. 4. Все расчеты и построения выполнены для  $N_{\text{ВЭУ}} = 0.8 N_{\text{к}}$ . На рис. 4 линия 1 представляет собой перепад между внутренней температурой  $t_{\text{в}} = +20^\circ\text{C}$  и наружной  $t_{\text{н}}$ . Линия 2 показывает приведенный (с учетом ветра) перепад температур  $\Delta t$ , определяющий график тепловой нагрузки. Видно, что в отдельные периоды времени энергии, поступающей от ВЭУ, недостаточно и котельная дополняет покрытие графика нагрузки. Зато при сильном ветре имеют место периоды, когда благодаря работе ВЭУ не только полностью покрываются потребности в тепловой энергии, но и появляется избыток энергии.



**Рис. 4.** График отопительной нагрузки на полигоне Кольского научного центра РАН при температуре внутреннего воздуха  $20^\circ\text{C}$  в феврале (а) и марте (б).  $\bar{v}$ , м/с: а – 10.3; б – 7.0; 1, 2 – график нагрузки без учета и с учетом ветра; 3, 4 – энергия, вырабатываемая ВЭУ и котельной; 5 – избыточная энергия, вырабатываемая ВЭУ

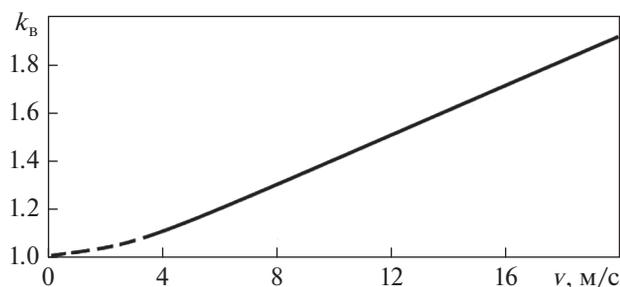


Рис. 5. Зависимость поправочного коэффициента на ветер от скорости ветра  $v$

Из рис. 4 видно, что ВЭУ при “хорошем” ветре может покрыть большую часть нагрузки. При сильном ветре могут образоваться значительные избытки энергии и возникнет вопрос о рациональном их использовании, недопущении холостого сброса энергии. Для этого целесообразно запасать избыточное тепло в аккумулирующих устройствах и затем расходовать в периоды со слабым ветром. Тепловые аккумуляторы могут представлять собой емкости, заполненные водой. Известны технические решения, предусматривающие применение аккумуляторов фазового перехода, в которых используется тепло плавления, например, кристаллогидратов солей. Благодаря такой “начинке” аккумуляторы оказываются более компактными.

Чтобы проследить, как аккумуляторы тепла могут способствовать более полному использованию энергии, вырабатываемой ветроэнергетическими установками, были привлечены результаты наблюдений за скоростью ветра и температурой наружного воздуха на ветроэнергетическом полигоне Кольского научного центра РАН.

Перепад температур воздуха является главным климатическим фактором, определяющим объемы теплоснабжения. Второй важный фактор — ветер, который увеличивает тепловые потери зданий. Этот фактор может быть учтен с помощью поправочного коэффициента  $k_B$  [14, 15], зависимость которого от скорости ветра показана на рис. 5.

При особо сильном ветре и не слишком низкой температуре наружного воздуха могут возникать значительные избытки энергии, частичный перегрев зданий и некоторый дискомфорт. В такие моменты ветроэнергетическая установка может быть даже выведена из работы. Но представляется целесообразным не допускать принудительной остановки ВЭУ и холостого сброса избытков энергии ветра, а направлять их в аккумулятор тепла для дальнейшего использования при ослаблении ветра.

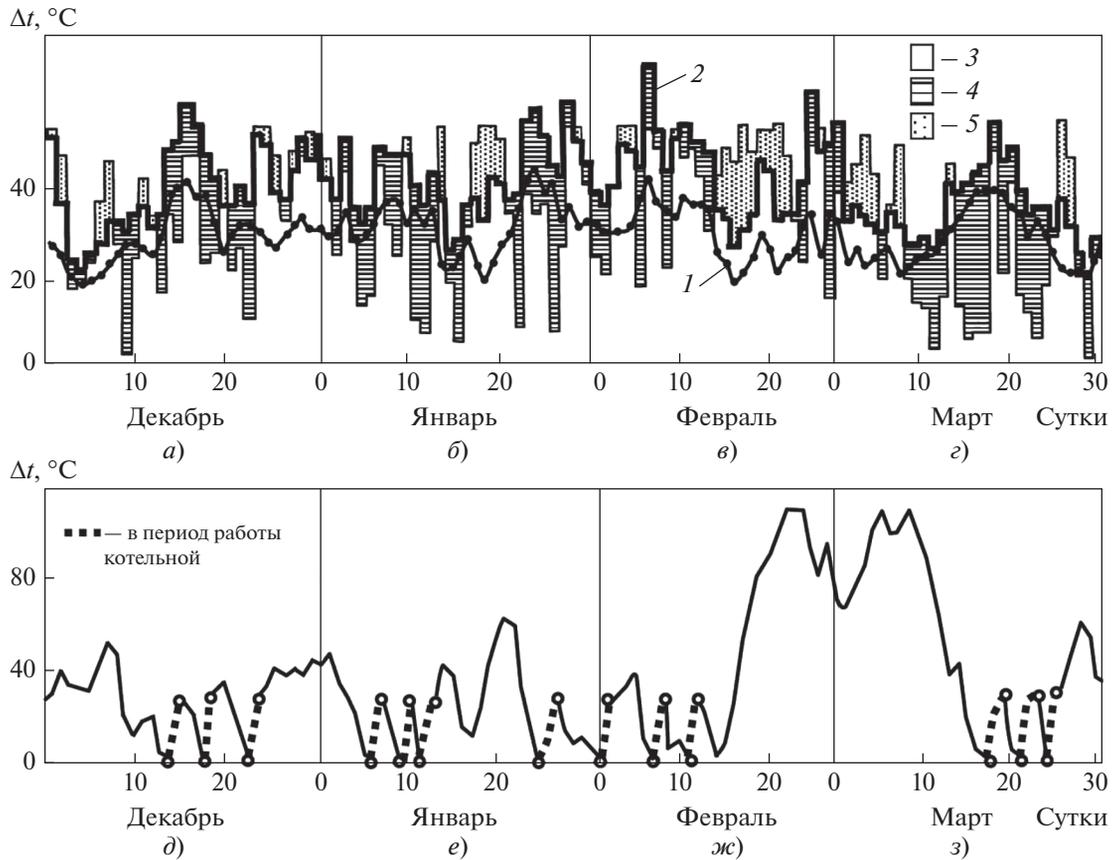
## ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ С АККУМУЛИРОВАНИЕМ ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ

Анализ режимов совместной работы котельной, ветроэнергетической установки и аккумулятора тепла на побережье Баренцева моря можно выполнить с помощью графиков отопительной нагрузки, энергии, поступающей от ВЭУ, и выработки котельной при средней наружной температуре воздуха  $\bar{t}_n$  (рис. 6, а–з). Они охватывают самое холодное время года (с декабря по март). Максимальная тепловая нагрузка была отмечена 6–10 февраля.

В периоды слабого ветра или значительного понижения температуры наружного воздуха, когда с помощью ВЭУ не удается полностью покрыть график нагрузки, возникающий дефицит тепла можно покрывать за счет включенной котельной.

График работы аккумулятора тепла показан на рис. 6, д–з. Определение рациональной, наиболее выгодной емкости аккумулятора — отдельная оптимизационная задача. В данном случае в качестве примера емкость аккумулятора была принята равной двухсуточному потреблению тепла при максимальной нагрузке ( $\Delta t = 106^\circ\text{C}$ , см. рис. 6, д–з). Котельная при включении работала не только для покрытия графика нагрузки, но еще и для создания полусуточного запаса тепла, достаточного для отопления с максимальной нагрузкой.

Из рис. 6, д–з следует, что аккумулятор по состоянию на начало декабря имел некоторую небольшую зарядку, достаточную для работы с максимальной нагрузкой чуть больше полусуток. В течение первых суток декабря ветер был достаточной силы и ВЭУ смогла полностью обеспечить отопительную нагрузку, определяемую произведением  $k_B \Delta t$ , а также создать небольшой избыток энергии, который был направлен в аккумулятор и увеличил его заряд. В последующие сутки при более высокой наружной температуре все повторилось, но с той лишь разницей, что избыток энергии от ВЭУ был больше и в аккумулятор было направлено больше энергии. В последующие трое суток ситуация в корне изменилась. Энергии от ВЭУ не хватало для покрытия графика нагрузки. Трехдневный дефицит энергии покрывался за счет аккумулятора, заряд аккумулятора стал уменьшаться. Далее в шестые и седьмые сутки декабря ветра было более чем достаточно, и заряд стал увеличиваться, а в последующие трое суток ветра не хватало и заряд стал снижаться. Через две недели аккумулятор разрядился полностью и в работу включилась котельная, которая обеспечила не только покрытие графика отопительной нагрузки, но и зарядку аккумулятора, достаточную для полусуточного покрытия максимальной нагрузки. Далее описанный поря-



**Рис. 6.** Графики отопительной нагрузки (а–с) и работы аккумулятора тепла (д–з).  $\bar{v}$ , м/с ( $\bar{t}$ , °С): а – 8.9 (–9.4); б – 8.8 (–11.0); в – 10.3 (–9.9); г – 7.0 (–7.2); остальные обозначения см. рис. 4

док совместной работы ВЭУ, аккумулятора и котельной повторялся. Можно отметить, что в зимние месяцы полная зарядка аккумулятора наблюдалась лишь однажды (23–24 февраля). В

остальные, более теплые месяцы отопительного периода это повторялось чаще.

Наличие теплового аккумулятора позволяет полнее и рациональнее использовать ветровую

Показатели участия ВЭУ и аккумулятора тепла в покрытии графика отопительной нагрузки на северном побережье Кольского полуострова

Параметр	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
$\bar{v}$ , м/с	8.8	10.3	7.0	8.5	6.1	5.9	4.6	5.0	5.4	9.3	8.7	8.9	7.4
$\bar{t}$ , °С	–11.0	–9.9	–7.2	–5.1	1.7	3.6	8.2	9.9	6.5	0.3	–3.7	–9.4	–1.3
$\alpha_{ВЭУ}$ , %	71.2	85.0	65.0	88.5	74.0	76.5	65.7	73.8	70.8	90.8	84.0	82.5	78.5
$\alpha_{ВЭУ, ак}$ , %	80.2	90.6	77.3	97.9	97.3	100.0	92.1	100.0	100.0	100.0	96.1	87.2	91.3
$\tau_{к}$ , СУТ	23	12	21	12	18	13	20	13	13	5	13.1	18	171
$\tau_{к,а}$ , СУТ	6	3	5	1	1	–	1	–	–	–	1	4	22

Примечание.  $\bar{v}$ ,  $\bar{t}$  – среднемесячные и среднегодовые скорости ветра и температуры наружного воздуха;  $\alpha_{ВЭУ}$ ,  $\alpha_{ВЭУ, ак}$  – доля ВЭУ в покрытии графика нагрузки при отсутствии аккумулятора тепла и при его наличии;  $\tau_{к}$ ,  $\tau_{к,а}$  – продолжительность работы с включением котельной без аккумулятора тепла и с аккумулятором.

энергию. При этом время работы котельной значительно сокращается, увеличиваются объемы сэкономленного органического топлива. Для более полной оценки эффективности предлагаемого внедрения ВЭУ и аккумулятора тепла в схему теплоснабжения временной горизонт исследований был расширен путем привлечения данных о скорости ветра и температуре воздуха за целый год. Как показали результаты расчетов, представленные в таблице, благодаря внедрению аккумуляторов тепла доля участия ВЭУ в теплоснабжении (отношение количества тепла, полученного за счет применения ВЭУ и аккумулятора, ко всему объему потребленного тепла, в том числе от котельной) в холодное время года (октябрь – май) возрастает на 5–12%. В летние месяцы использование энергии ветра сокращается в силу его меньшей интенсивности и более высоких температур наружного воздуха. Но доля энергии ветра в месячном потреблении возрастает до 25–30%.

Из рис. 6 видно, что график отопительной нагрузки может в значительной мере покрываться за счет энергии ветра. Благодаря этому котельная реже включается в работу. Удалось помесечно проследить, насколько часто потребовалось включение котельной. Оказалось, что при отсутствии аккумулятора необходимость включения котельной возникает 13–20 раз в месяц и примерно 170 раз в год. При использовании аккумулятора тепла включение котельной требуется только 1–6 раз в месяц и около 20 раз в год, т.е. в 5–8 раз реже. Это позволяет существенно сократить расход топлива в котельной.

## ВЫВОДЫ

1. Прибрежные районы западного сектора арктической зоны России характеризуются высоким потенциалом ветра, который может быть востребован при организации теплоснабжения потребителей Севера. Предпосылкой для этого является совпадение сезонных (зимних) максимумов интенсивности ветра и потребности в энергии со стороны потребителя.

2. Для более полного использования энергии ветра при совместной работе ВЭУ с котельной можно рекомендовать применение аккумуляторов тепла, позволяющих запасать избытки энергии в периоды сильного ветра и использовать их в дальнейшем при ослаблении ветра. Это открывает возможность нарастить масштабы вытеснения котельной из графика отопительной нагрузки дополнительно на 10–25%, увеличить экономию дорогого привозного топлива и снизить эксплуатационные расходы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Фортгов В.Е., Попель О.С.** Энергетика в современном мире. Долгопрудный: Изд. дом “Интеллект”, 2011.
2. **Концепция** использования ветровой энергии в России / под ред. П.П. Безруких. М.: Книга–Пента, 2005.
3. **Елистратов В.В.** Использование возобновляемой энергии. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008.
4. **Зубарев В.В., Минин В.А., Степанов И.Р.** Использование энергии ветра в районах Севера. Л.: Наука, 1989.
5. **Ресурсы** и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России / П.П. Безруких, Г.А. Борисов, В.И. Виссарионов, В.М. Евдокимов, Н.К. Малинин, Н.В. Огородов, В.Н. Пузаков, Г.И. Сидоренко, А.А. Шпак. СПб.: Наука, 2002.
6. **Marchenko O.V., Solomin S.V.** Efficiency of wind energy utilization for electricity and heat supply in northern regions of Russia // *Renewable Energy*. 2004. V. 29. № 11. P. 1793–1809.
7. **Ozgener O.** Use of solar assisted geothermal heat pump and small wind turbine systems for heating agricultural and residential buildings // *Energy*. 2010. V. 35. P. 262–268.
8. **Heat roadmap Europe: towards EU-Wide, local heat supply strategies** / B. Moeller, E. Wiechers, U. Persson, L. Grundahl, R.S. Lund, B.V. Mathiesen // *Energy*. 2019. V. 177. P. 554–564.
9. **Giordano N., Raymond J.** Alternative and sustainable heat production for drinking water needs in a subarctic climate (Nunavik, Canada): Borehole thermal energy storage to reduce fossil fuel dependency in off-grid communities // *Appl. Energy*. 2019. V. 252. P. 113–463.
10. **Minin V.A., Furtaev A.I.** Wind potency in the western sector of the Russian Arctic and its possible uses // *IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science*. 4th International Scientific Conference Arctic: History and Modernity. St. Petersburg: Polytechnic University. IOP Publishing Ltd, 2019. P. 012067. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/302/1/012067>
11. **Справочник по климату СССР.** Вып. 1. Ч. III. Ветер. Л.: Гидрометеиздат, 1967.
12. **Справочник по климату СССР.** Вып. 2. Ч. III. Ветер. Л.: Гидрометеиздат, 1966.
13. **Минин В.А., Дмитриев Г.С.** Перспективы использования энергии ветра и малых ГЭС в удаленных районах Мурманской области. Апатиты: Кольск. науч. центр РАН, 2007.
14. **Мичурина К.И.** Влияние ветра на тепловые потери жилых зданий и требования, предъявляемые к автоматизации режимов теплоснабжения // *Автоматизация отопительных котельных и тепловых пунктов*. 1965. Вып. 4. С. 136–147.
15. **Минин В.А.** Перспективы использования энергии ветра для теплоснабжения потребителей Севера // *Теплоэнергетика*. 2009. № 11. С. 34–40.

## The Influence of Heat Accumulators on the Performance Indicators Characterizing Joint Operation of a Boiler House and Windmill in the European North Coastal Regions

V. A. Minin\*

*Center for Power Engineering Physical and Technical Problems of the North, Kola Scientific Center,  
Russian Academy of Sciences, Apatity, Murmansk oblast, 184209 Russia*

*\*e-mail: v.minin@ksc.ru*

**Abstract**—An assessment of the wind potential in the western sector of Russia's arctic zone is given, which testifies that there is high wind intensity in the Barents Sea and White Sea coastal regions. According to the meteorological stations data, the annual average wind velocities in this zone are in the range from 5 to 8 m/s at a height of around 10 m, which is an obvious prerequisite for using windmills in the power and heat-supply systems of remotely located consumers in the north. Another important prerequisite is that there is a winter maximum of wind intensity, which coincides with the winter maximum of energy demand for space heating needs. This helps incorporate the wind energy into the space heating load schedule, decrease the heating boiler house operation time, and achieve essential fuel saving. Based on the results from synchronous observations of the outdoor air temperature and wind velocity in the Kola Peninsula's northern coast, which determine the heat consumption amounts, the annual heating load schedule of coastal consumers is considered, and the possible participation of a boiler house and windmills in covering this schedule is shown. Based on the study results, it has been evaluated whether it is feasible to supplement the heat-supply scheme with heat accumulators that can store energy surpluses in the strong wind periods and then produce them, in the periods of low wind power, for covering the heating load schedule, as necessary. The incorporation of heat accumulators makes it possible to utilize the wind energy to a fuller extent, to minimize its idle rejections, decrease the boiler house operation time, and achieve lower fuel consumption and operation costs.

*Keywords:* European north of Russia, wind energy, heat supply, boiler house, windmill, heat accumulator