

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРО- И ВЕТРОЭНЕРГОРЕСУРСОВ БЕЛАРУСИ

Кандидаты техн. наук, доценты ГАТИЛЛО С. П.,
КРУГЛОВ Г. Г., КУНЦЕВИЧ Н. М., СИНИЦЫН Н. В., СУРМА Н. В.

Белорусская государственная политехническая академия

В настоящее время в Беларуси значительно повысился интерес к использованию возобновляемых источников энергии, что обусловлено стремлением достигнуть независимости от источников невозобновляемых энергоресурсов за ее пределами, а также в связи с постоянно растущей их дороговизной и сложностью приобретения в ближнем и дальнем зарубежье.

Из всех известных на сегодняшний день возобновляемых источников энергии практическое значение для условий республики могут иметь гидро- и ветроэнергетические ресурсы.

Освоение гидроэнергетического потенциала Беларуси возможно по следующим основным направлениям: реконструкция и восстановление ранее построенных и сооружение новых малых ГЭС; использование энергетического потенциала существующих водохранилищ неэнергетического назначения и максимально возможное освоение гидроэнергоресурсов территорий республики, подвергшихся радиационному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС; создание гидроузлов с пониженными подпорными уровнями водохранилищ на крупных реках республики, а также строительство гидроаккумулирующих электростанций с наземными или подземными зданиями и нижними бассейнами [1].

Из перечисленного выше в настоящее время наиболее реально восстановление и реконструкция ранее построенных и сооружение новых малых ГЭС, в том числе и при существующих водохранилищах.

Более детальное обоснование технического перевооружения и реконструкции действующих и восстановления выведенных из эксплуатации ГЭС требует предварительных расчетов энергетических параметров, отвечающих современным условиям. Необходимо также учитывать корректировку величины возможного к использованию стока. Основным условием при этом должно быть максимальное его использование, и как следствие — более значительная экономия топливных ресурсов.

Выполненные именно с таким подходом водно-энергетические расчеты по пятнадцати ГЭС Беларуси, действующим и выведенным из эксплуатации, находящимся в подчинении РЭУ «Витебскэнерго», «Могилевэнерго» и «Гродноэнерго» (результаты расчетов приведены в табл. 1), позволяют сделать следующие выводы:

1) подтверждается необходимость корректировки основных энергетических параметров и показателей ГЭС. С учетом изменения возможных к применению расходов для более полного использования речного стока в большинстве случаев оказывается возможным увеличение установленной мощности ГЭС на величину от 25 до 250%;

2) на низконапорных малых ГЭС, к которым в большинстве случаев следует отнести ГЭС Беларуси, при наличии достаточно емкого водохранилища, способного осуществлять годичное или сезонное регулирование стока, целесообразно определять их энергетические параметры для двух режимов, т. е. как для зарегулированного, так и для режима водотока. Данные расчетов показывают, что при работе ГЭС в режиме водотока ($\nabla_{\text{вб}} = \text{НПУ} = \text{const}$) из-за более высоких значений напоров установленная мощность и выработка электроэнергии ГЭС может быть выше на 20% по сравнению с режимом регулирования стока и неизбежной при этом сработке водохранилища;

Сводные энергетические показатели малых ГЭС Беларуси

| Наименование ГЭС | Напоры, м | | | Установленная мощность $M_{\text{уст}}$, кВт | | Годовая выработка электроэнергии $\mathcal{E}_{\text{ГЭС}} \cdot 10^6$, кВт·ч | $T_{\text{всл}}$, час | Водно-энергетический режим работы |
|------------------|------------------|------------------|--------------------|---|-------------|--|------------------------|-----------------------------------|
| | H_{min} | H_{max} | $H_{\text{ср.вз}}$ | существующая | вычисленная | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

ГЭС РЭУ «Витебскэнерго»

| | | | | | | | | |
|---------------------|------|------|------|-----|--------|-------|------|--|
| Добрымсльская | 4,45 | 6,10 | 5,29 | 200 | 750,0 | 1,637 | 2183 | В режиме водотока |
| Лепельская | 3,36 | 4,59 | 4,09 | 400 | 600,0 | 2,445 | 4075 | На зарегулированном стоке |
| | 3,80 | 4,93 | 4,51 | | 725,0 | 2,819 | 3888 | В режиме водотока |
| «Путь к коммунизму» | 5,55 | 7,64 | 6,74 | 550 | 500,0 | 1,907 | 3814 | В режиме водотока (вариант до 2000 г.) |
| | 5,90 | 7,75 | 7,00 | | 375,0 | 1,497 | 3992 | В режиме водотока (вар. после 2000 г.) |
| Гомельская | 4,66 | 5,37 | 4,96 | 296 | 550,0 | 1,671 | 3038 | На зарегулированном стоке |
| | 4,58 | 5,57 | 5,13 | | 600,0 | 1,741 | 2901 | В режиме водотока |
| Браславская | 2,70 | 5,60 | 3,56 | 410 | 250,0 | 1,482 | 5928 | На зарегулированном стоке |
| | 5,02 | 5,96 | 5,51 | | 625,0 | 2,135 | 3416 | В режиме водотока |
| Ключегорская | 5,05 | 6,26 | 5,67 | 177 | 400,0 | 0,957 | 2392 | То же |
| Клястицкая | 5,90 | 7,48 | 6,74 | 572 | 1050,0 | 3,571 | 3401 | —»— |
| Лукомльская | 8,64 | 9,59 | 9,17 | 520 | 800,0 | 2,561 | 3201 | —»— |

ГЭС РЭУ «Могилевэнерго»

| | | | | | | | | |
|--------------|------|------|------|------|--------|--------|------|---|
| Осиповичская | 4,25 | 5,70 | 5,26 | 2175 | 2500,0 | 12,410 | 4964 | В режиме водотока (с учетом переброски стока) |
| Тетеринская | 4,30 | 5,65 | 5,24 | 220 | 550,0 | 1,729 | 5000 | В режиме водотока |
| Чигиринская | 4,92 | 6,92 | 6,04 | 1560 | 2500,0 | 9,48 | 3792 | То же |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--------------------------|------|------|------|-----|-------|-------|------|-------------------|
| * ГЭС РЭУ «Гродноэнерго» | | | | | | | | |
| Гезгальская | 4,57 | 5,30 | 4,94 | 560 | 550,0 | 3,014 | 5480 | В режиме водотока |
| Волпянская | 4,60 | 5,17 | 4,94 | 310 | 410,0 | 2,104 | 5131 | То же |
| Рачунская | 4,19 | 5,00 | 4,66 | 420 | 390,0 | 2,220 | 5692 | —»— |
| Новосельская | 4,00 | 4,91 | 4,56 | - | 350,0 | 1,689 | 4826 | —»— |

3) дополнительное увеличение значений установленной мощности и годовой выработки электроэнергии малых ГЭС может быть достигнуто машинным водоподъемом из нижнего бьефа в верхний в допустимых пределах за счет использования обратимых гидроагрегатов или аккумулярования воды с помощью ветроэнергетических установок.

Именно ветер является вторым по значимости для условий Беларуси возобновляемым источником энергии. Считается, что использование ветроэнергетических установок является экономически выгодным в тех зонах, где кривая распределения дает наиболее частую повторяемость скоростей ветра в диапазоне 4...9 м/с [2].

Ветровой режим над всей территорией республики практически одинаков. Он обусловлен общей циркуляцией атмосферы над континентом Евразии и над Атлантикой. Направление и скорость ветра зависят от распределения давления, которое имеет значения, различающиеся в разных местах Беларуси летом на 2 ... 2,5 мб, зимой — на 0,5 ... 1,5 мб.

В зимнее время преобладают юго-западные ветры, а в летнее — северо-западные. В переходные периоды ветры всех направлений практически равновероятны. Максимум штилей наблюдается ночью, а минимум — днем. На большей части территории максимальных скоростей ветры достигают в январе, а в июле — августе происходит их снижение. Это благоприятно для использования ветровой энергии, так как в зимнее время потребность в электроэнергии повышается.

Что касается абсолютных значений скорости ветра, то они в значительной степени зависят от места расположения и степени открытости флюгеров. На метеостанциях открытых мест северной и центральной части Беларуси средние годовые скорости ветра на высоте флюгеров зафиксированы 4—4,3 м/с, а в пониженных местах, закрытых грядями холмов со стороны господствующих ветров, а также в районах с равнинной местностью эти скорости снижаются до 3,1—3,5 м/с [3].

В настоящее время НПО «Ветроэн» разработало для условий Беларуси ветроустановку ВУ-5,5 с номинальной выходной мощностью 5,5 кВт и диапазоном рабочих скоростей ветра от 3,5 до 20 м/с. Она смонтирована в Заславле и в настоящее время проходит производственные испытания. Для этой установки были выполнены расчеты по определению годовой выработки электроэнергии отдельным агрегатом для 27 пунктов территории республики, для которых известно распределение повторяемости различных скоростей ветра, покрывающих весь имеющийся диапазон среднегодовых скоростей ветра. Результаты расчетов приведены на рис. 1, откуда видно, что

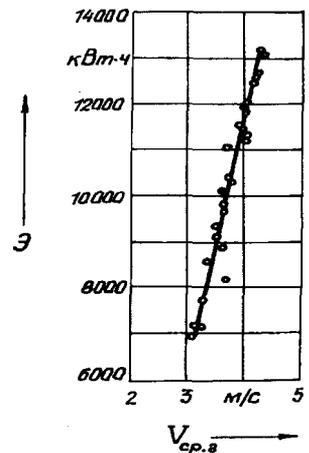


Рис. 1. График зависимости годовой выработки электроэнергии установкой ВУ-5,5 от среднегодовой скорости ветра

в зависимости от среднегодовой скорости ветра, изменяющейся от 3,1 до 4,3 м/с, годовая выработка варьируется от 7000 до 13 000 кВт.ч. Зависимость $\mathcal{E} = f(V_{\text{ср.г.}})$ описывается уравнением прямой линии $\mathcal{E} = -10002,6 + 5445,5 V_{\text{ср.г.}}$, теснота связи переменных в котором характеризуется коэффициентом корреляции $K = 0,972$.

Возможны следующие схемы использования ветроустановок:

1) изолированная работа на автономного потребителя, например, фермерское хозяйство, частное предприятие (лесопилка, мельница, цех и т.д.). Однако надо учитывать, что в течение определенного времени могут иметь место энергетические затишья, когда скорость ветра будет не достаточной для работы ветроагрегата, и на этот период потребителю необходимо иметь резервные двигатели или установки, дублирующие его мощность. Все это усложняет и удорожает ветроэнергоустановки, вследствие чего по удельным затратам они чаще всего не могут конкурировать с другими энергетическими агрегатами. Принимая во внимание, что территория республики имеет единую развитую электроэнергосистему, случаи автономного использования ветроустановок будут достаточно редкими;

2) работа в электроэнергосистеме. Эффективность ВЭУ в электроэнергосистеме обуславливается соотношением их установленных мощностей и разгрузочной способностью системы. Так как ветроустановки, разработанные в республике, имеют небольшие единичные мощности, даже их групповое использование не позволит разгружать тепловые электростанции. В связи с этим, а также с учетом необходимости максимальной экономии топлива, предпочтительнее использование ветроэнергоустановок в комплексе с гидроэлектростанциями, позволяющее аккумулировать воду и увеличивать выработку ГЭС. Объединение ВЭУ и ГЭС целесообразно еще и потому, что расход воды в реках и скорость ветра имеют отрицательную корреляцию (скорость ветра максимальна, когда расход в реке минимальный).

Возможны два способа аккумуляирования воды в водохранилище ГЭС при ее совместной работе с ВЭУ:

1) параллельная работа ГЭС и ВЭУ, когда последняя, выполняя роль дублирующей мощности, позволяет отключать часть агрегатов ГЭС, вследствие чего часть речного стока накапливается в водохранилище и используется для работы агрегатов ГЭС в период безветрия. Такой способ эффективен при равных или сопоставимых единичных мощностях агрегатов ВЭУ и ГЭС и может использоваться в наших условиях для совместной работы с микроГЭС (до 100 кВт).

Для малых ГЭС, имеющих гидроагрегаты мощностью в несколько десятков и сотен кВт, потребуются использование либо нескольких ВЭУ, либо увеличение их единичной мощности;

2) ветроэнергоустановка работает только на насосный агрегат, который перекачивает воду из нижнего бьефа в верхний, чем достигается увеличение выработки электроэнергии на ГЭС. Для оценки такой схемы работы были выполнены расчеты по определению объемов воды, которые могут быть перекачены из нижнего бьефа в верхний одним насосом, работающим от одного ветроагрегата ВУ-5,5. Они проведены для тех же пунктов территории республики, для которых определялась годовая выработка электроэнергии одной данной установкой. Результаты расчетов, приведенные на рис. 2, показывают, что объемы перекачки изменяются в

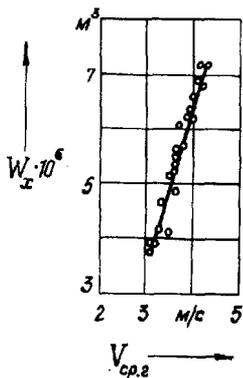


Рис.2. График зависимости объемов воды, перекачиваемой насосным агрегатом, работающим от ВУ-5,5, от среднегодовой скорости ветра

диапазоне от 0,38 до 0,72 млн. м³ в год. Зависимость $W = f(V_{\text{ср.г}})$ представляет собой уравнение прямой линии $W = (-0,56 + 0,3 V_{\text{ср.г}}) \cdot 10^6$, теснота связи переменных в котором характеризуется коэффициентом корреляции $K = 0,967$. Учитывая, что по условиям охраны природы забор воды из нижнего бьефа не должен превышать 20% от расхода воды в реке, используя несколько ветроагрегатов ВУ-5,5, можно увеличить объем используемого на ГЭС речного стока до 20%, что обеспечит примерно такое же увеличение выработки электроэнергии ГЭС. При этом использование дополнительно вырабатываемой электроэнергии возможно как равномерно в течение суток (в базисе графика нагрузки системы), так и нескольких часов, участвуя в покрытии пиковых нагрузок в энергосистеме, что может потребовать корректировки гарантированной и установленной мощности ГЭС в сторону их увеличения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Современное состояние и возможные пути развития гидроэнергетики Беларуси / А. Н. Альферович, П. М. Богославчик, Л. А. Гриневич, Г. Г. Круглов, Н. В. Синицын // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объедин. СНГ).— 1993. — № 3—4.
2. Шефтер Э. И. Использование энергии ветра. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 200 с.
3. Справочник по климату СССР. Вып. 7. Белорусская ССР. Часть III. Ветер. — Л.: Гидрометиздат, 1966. — 156 с.

Представлена кафедрой
гидротехнического
и энергетического строительства

Поступила 27.04.1994

УДК 621.1.1.7:66.023

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗА В МНОГОТРУБНЫХ АППАРАТАХ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ДВУХФАЗНЫХ СИСТЕМ

Докт. техн. наук, проф. ЕРШОВ А. И., инженеры САЕВИЧ Н. П., КАЛИШУК Д. Г.

Белорусский государственный технологический университет

В химической и смежных отраслях промышленности широко используются вертикальные трубчатые аппараты с восходящими газожидкостными потоками, включая теплообменники, реакторы, абсорберы и др. [1,2]. Их важным узлом является распределитель газа (пара), обеспечивающий равномерную подачу его во все трубки трубного пучка. Для этих целей в некоторых конструкциях [1] применяют патрубки с калиброванными отверстиями, выступающими под трубной доской.

Согласно данным [3,4], при вводе острого пара на начальном участке труб в трубчатых испарителях и выпарных аппаратах достигается интенсификация теплоотдачи со стороны кипящей жидкости. С учетом изложенного в Белорусском технологическом институте разработана установка [5], в которой предусматривается утилизация тепла паров дистиллята одной ректификационной колонны в испарителе другой. Так как теплообмен осуществляется при малых температурных напорах между