

которые позволяют сохранять их автономное функционирование даже при утрате связи с информационной системой более высокого уровня. Технические средства нижнего уровня осуществляют предварительную обработку и передачу информации, а также регулирование основных технологических параметров и защиту оборудования.

Внедрение автоматизированных систем управления в системе теплоснабжения крупных городов позволило:

- уменьшить циркуляцию теплоносителя в тепловых сетях, вследствие чего улучшить гидравлические характеристики сетей, а также снизить расход электроэнергии на транспортировку теплоносителя;
- исключить зоны дефицитного теплоснабжения;
- реализовать относительную независимость режимов систем потребления от входных параметров сети, таких, как температура и располагаемый напор;
- исключить перетопы в периоды температур наружного воздуха выше точки излома температурного графика;
- оптимизировать режимы потребления под конкретный объект с учетом его особенностей;
- компенсировать недотопы в периоды температур наружного воздуха ниже точки срезки температурного графика;
- обеспечивать качественное горячее водоснабжение;
- стабильно работать на системы отопления с переменным и регулируемым расходом;
- получить значительную экономию топлива (до 25 %);
- присоединить новые объекты без увеличения циркуляции в тепловых сетях.

#### Л и т е р а т у р а

1. Седнин, В. А. Модернизация и автоматизация системы теплоснабжения. Опыт Беларуси / В. А. Седнин, А. А. Гутковский // Энергосбережение. – 2016. – № 8. – С. 52–59.

УДК 621.22

## ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В СОСТАВЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Д. Н. Романюк

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Научный руководитель Т. Ф. Манцерова

*Рассмотрены особенности функционирования гидроэлектростанций в составе объединенной энергосистемы Республики Беларусь, а также перспективы их использования. Проведен SWOT-анализ использования энергии водных потоков для генерации электроэнергии в рамках системы.*

**Ключевые слова:** гидроэлектростанции, гидроэнергетика, график нагрузок, маневренность, энергетика.

## FEATURES OF OPERATION OF HYDROELECTRIC POWER PLANTS AS PART OF THE POWER SYSTEM

D. N. Romaniuk

*Belarusian national technical university, Minsk*

Science supervisor T. F. Mantserova

*In this paper the features of the operation of hydroelectric power plants in the unified power system of the Republic of Belarus, as well as prospects of their use are considered. SWOT-analysis of water flow energy use for electricity generation within the system.*

**Keywords:** hydropower plant, hydropower, load schedule, maneuverability, energy.

Основной тенденцией в развитии энергетики Республики Беларусь является повышение уровня энергетической безопасности. Задачи диверсификации структуры потребления топливно-энергетических ресурсов, повышения технологической эффективности производства электроэнергии и общей устойчивости Белорусской энергосистемы могут быть решены в том числе за счет вовлечения в структуру генерирующих мощностей источников, использующих возобновляемые виды энергии. Одним из актуальных вариантов является использование энергии водных потоков на ГЭС.

По данным водоэнергетических расчетов, на основе гидрологических изысканий потенциальная мощность водотоков республики составляет 850 МВт, из них технически доступная – 520 МВт, экономически целесообразная – 250 МВт. При максимальном количестве часов использования установленной мощности оборудования (8760 часов) выработка электроэнергии будет составлять, соответственно, 7,5, 4,6 и 2,19 млрд кВт·ч. Анализ гидроэнергетического потенциала стран мира позволяет сделать вывод о постепенном увеличении экономически обоснованного потенциала гидроэнергетики по мере истощения запасов ТЭР, изменения конъюнктуры рынка энергоресурсов и других условий.

На данный момент в Республике Беларусь эксплуатируется 52 гидроэлектростанции с установленной мощностью 96,2 МВт. Все станции низконапорного типа, что обусловлено особенностями рельефа. Напор – от 2 до 20 м, расход воды через турбину – от 1 до 10 м<sup>3</sup>/с. В 2022 г. ГЭС было выработано более 370 млн кВт·ч электроэнергии. Проведем анализ динамики установленной мощности и выработки электроэнергии на ГЭС Республики Беларусь (табл. 1, 2).

Таблица 1

## Установленная мощность электростанций Республики Беларусь, МВт

Выработка	2010 г.		2015 г.		2020 г.		2022 г.	
	N	N	Темп роста, %	N	Темп роста, %	N	Темп роста, %	
ГЭС	16	32	200	95	593,8	96,2	601,3	
Всего по стране	8464	10220	120,7	10181	120,3	11498	135,9	

*Примечание.* Темп роста приведен к базовому году (2010 г.). Составлено на основе [1].

Таблица 2

## Выработка электроэнергии в Республике Беларусь, млн кВт·ч

Выработка	2010 г.		2015 г.		2020 г.		2022 г.	
	Э	Э	Темп прироста, %	Э	Темп прироста, %	Э	Темп прироста, %	
ГЭС	45	111	146,7	400	260,4	370	-7,5	
Всего по стране	34890	34232	-1,9	38685	13	35400	-8,5	

*Примечание.* Темп прироста приведен к предыдущему году. Составлено на основе [1].

Анализ динамики показателей мощности ГЭС в составе энергосистемы и выработки ими электрической энергии отражает непрерывный и стремительный рост доли станций данного типа в Республике Беларусь, что обусловлено реализацией государственных программ по строительству гидроэлектростанций (2011–2015 гг.), а также концепций энергетической безопасности, развития электрогенерирующих мощностей и других нормативных актов. Данный аспект определяет необходимость изучения особенностей функционирования ГЭС в структуре энергетической системы.

По режиму работы в системе снабжения ГЭС подразделяются на системные, подключенные к объединенной энергосистеме Республики Беларусь, и автономные, обеспечивающие электроснабжение отдельных потребителей. Режим работы энергосистемы, определяемый графиками нагрузок в суточном, недельном и годовом разрезе, оказывает основное влияние на особенности диспетчерского управления. Различные виды потребителей электрической энергии имеют специфический режим нагрузок для систем. Графики данных режимов имеют несколько пиков и провалов в суточном разрезе, а также стабильную базисную зону [2]. Максимальную мощность электроэнергетической системы можно представить в следующем виде:

$$N_{\text{тах системы}} = N_{\text{базовая}} + N_{\text{пиковая}} \quad (1)$$

Гарантированная мощность энергосистемы обеспечивается за счет базовых электростанций, которыми являются ТЭС (КЭС и ТЭЦ) и АЭС. Данные типы станций обладают низкой маневренностью, т. е. не имеют возможности изменять мощность в краткосрочном периоде, что необходимо для покрытия пиков нагрузки. Это определяет трудности в диспетчерском управлении при функционировании при провалах в нагрузке, обуславливающих избыток электроэнергии в системе, и при пиках в электропотреблении. Изменение нагрузки ТЭС и АЭС увеличивает удельный расход топлива, себестоимость производства энергии, а также снижают эффективность работы и приводит к аварийным ситуациям. Наиболее целесообразна эксплуатация базовых станций с постоянной мощностью в базисной зоне нагрузки. Верхняя пиковая и полупиковая часть нагрузки в энергосистеме обеспечивается за счет работы ГЭС, что обусловлено высокими маневренными характеристиками при изменении мощности, пуске, останове оборудования, широким диапазоном регулирования и др. [3]. В табл. 3 представлены маневренные характеристики станций разного типа.

Таблица 3

Маневренные характеристики электростанций различных типов

Тип электростанции	Диапазон регулирования, %	Время набора установленной мощности, минут	
		После остановки	Из горячего резерва
ТЭС	10–15	390–660	60
АЭС	20–30	90–180	20–50
ГТУ	100	15–30	0,5
ГЭС	100	1–2	0,25–0,5

Примечание. Составлено на основе [3].

Функционирование ГЭС в пиковой части составляет примерно 2–5 часов в сутки, в полупиковой – 5–15 часов в сутки. Использование ГЭС для покрытия пиков позволяет оптимизировать структуру генерирующих мощностей, повысить равномерность выработки, снизить потребление ТЭР для работы базовых станций и пиково-резервных источников ГТУ [3].

Особенностью использования энергии водных потоков для производства электроэнергии в составе системы является необходимость резервирования мощности за счет станций, использующих традиционные источники энергии. Это обусловлено непостоянством водного режима рек, особенностями использования водохранилищ и др. Однако ГЭС должны обеспечивать покрытие зоны нагрузок даже в неблагоприятный по водности год. В период паводков возможно замещение части нагрузок базовых станций при помощи ГЭС для наиболее рационального использования ресурсов.

Перспективным является создание гидроаккумулирующих электростанций для резервирования избыточных мощностей в энергосистеме. При их эксплуатации создается возможность замещения нагрузок базовых станций в пиковых и полупиковых зонах, повышения стабильности графика потребления. Данные станции могут использоваться в качестве аварийного резерва, позволяя поддерживать оптимальные характеристики систем.

Проведем SWOT-анализ использования ГЭС в составе энергосистемы (табл. 4).

Таблица 4

## SWOT-анализ

Сильные стороны	Слабые стороны
<p>Высокая эксплуатационная надежность. Высокие маневренные характеристики. Используются для покрытия пиковых и полупиковых зон графика нагрузок. Используются в качестве аварийного резерва. Низкая себестоимость производства электроэнергии</p>	<p>Низкий гидроэнергетический потенциал водотоков Республики Беларусь. Неравномерный режим работы. Необходимость резервирования мощностей. Высокие удельные капиталовложения</p>
Возможности	Угрозы
<p>Повышения уровня энергетической безопасности государства. Повышение уровня энергоэффективности. Повышение устойчивости энергосистемы. Рационализация использования ресурсов</p>	<p>Изменение гидрологического режима водотоков. Вред для флоры и фауны. Непредсказуемые последствия аварийных ситуаций</p>

Таким образом, можно сделать вывод о том, что функционирование гидроэлектростанций в составе объединенной энергосистемы Республики Беларусь позволит увеличить устойчивость, эффективность работы генерирующих источников, рационализировать использование топливно-энергетических ресурсов, тем самым повысить уровень энергетической безопасности государства.

## Литература

1. Энергетический баланс Республики Беларусь / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь ; редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Минск : Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 2021. – 148 с.
2. Графики нагрузки энергосистем. – Режим доступа: [http://hva.rshu.ru/ob/gidroteh/uch/3/chapter16/3\\_16\\_3.htm](http://hva.rshu.ru/ob/gidroteh/uch/3/chapter16/3_16_3.htm). – Дата доступа: 20.04.2023.
3. Режим работы ГЭС и ГАЭС в объединенных энергосистемах. – Режим доступа: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-3/part-2/section-2/2-8>. – Дата доступа: 20.04.2023.