

DOI: 10.21122/1029-7448-2016-59-4-362-375

УДК 621.311.22:621.175

## Совершенствование систем технического водоснабжения с градирнями с целью улучшения технико-экономических показателей тепловых электростанций

Часть 2

Ю. А. Зенович-Лешкевич-Ольпинский<sup>1)</sup>, Н. В. Широглазова<sup>2)</sup>,  
А. Ю. Зенович-Лешкевич-Ольпинская<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Филиал «Гомельская ТЭЦ-2» РУП «Гомельэнерго» (Гомель, Республика Беларусь),

<sup>2)</sup>Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого  
(Гомель, Республика Беларусь),

<sup>3)</sup>РУП «БелНИПИэнергопром» (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2016  
Belarusian National Technical University, 2016

**Реферат.** Разработана методика расчета экономической эффективности, которая может быть универсальной и использоваться для технико-экономического обоснования модернизации оросительной и водораспределительной систем градирен. Данная методика учитывает эффект от снижения давления отработавшего пара в конденсаторе за счет снижения температуры охлаждающей воды на выходе из градирни с целью улучшения технико-экономических показателей тепловых электростанций. Приведены практические результаты модернизации оросительной и водораспределительной систем градирни. Как результат, применение новой оросительной и водораспределительной систем градирни позволило увеличить охлаждающую эффективность более чем на 4 °С и соответственно получить экономию топлива за счет улучшения вакуума в конденсаторах турбин. Кроме того, повышается располагаемая мощность ТЭЦ в летний период. Результаты работы, опыт модернизации оросительной и водораспределительной систем градирни Гомельской ТЭЦ-2 и методика расчета ее эффективности могут быть учтены при модернизации аналогичных объектов на электростанциях Белорусской энергосистемы. Предложены мероприятия по совершенствованию оборотных систем градирен и их конструкций, которые позволят значительно повысить надежность и эффективность систем технического водоснабжения тепловых электростанций.

**Ключевые слова:** система технического водоснабжения, градирни, водораспределительные устройства, температура охлажденной воды, охлаждающая эффективность, экономический эффект, срок окупаемости, компьютерная математическая модель градирни, ограничения мощности

**Для цитирования:** Зенович-Лешкевич-Ольпинский, Ю. А. Совершенствование систем технического водоснабжения с градирнями с целью улучшения технико-экономических показателей тепловых электростанций. Ч. 2 / Ю. А. Зенович-Лешкевич-Ольпинский, Н. В. Широглазова, А. Ю. Зенович-Лешкевич-Ольпинская // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2016. Т. 59, № 4. С. 362–375

---

### Адрес для переписки

Зенович-Лешкевич-Ольпинский Юрий Аркадьевич  
Филиал «Гомельская ТЭЦ-2»  
РУП «Гомельэнерго»,  
просп. Энергостроителей, 2,  
247010, г. Гомель, Республика Беларусь  
Тел.: +375 232 42-77-88  
y.leshkevich@gomelenergo.by

### Address for correspondence

Zenovich-Leshkevich-Olpinskiy Yury A.  
Branch “Gomel CHP-2” of the “Gomel-  
yenergo” Republican Unitary Enterprise,  
2 Energostroyiteley Ave.,  
247010, Gomel, Republic of Belarus  
Tel.: +375 232 42-77-88  
y.leshkevich@gomelenergo.by

---

## **Improvement of Systems of Technical Water Supply with Cooling Towers for Heat Power Plants Technical and Economic Indicators Perfection**

Part 2

**Yu. A. Zenovich-Leshkevich-Olpinskiy<sup>1)</sup>, N. V. Shiroglazova<sup>2)</sup>,  
A. Yu. Zenovich-Leshkevich-Olpinskaya<sup>3)</sup>**

<sup>1)</sup>Branch "Gomel CHP-2" of the "Gomelyenergo" Republican Unitary Enterprise (Gomel, Republic of Belarus),

<sup>2)</sup>Gomel State Technical University Named after P. O. Sukhoi (Gomel, Republic of Belarus),

<sup>3)</sup>"BelNIPIenergoprom" Republican Unitary Enterprise (Minsk, Republic of Belarus)

**Abstract.** The method of calculation of economic efficiency that can be universal and is suitable for feasibility study of modernization of irrigation and water distribution system of cooling towers has been developed. The method takes into account the effect of lower pressure exhaust steam in the condenser by lowering the temperature of the cooling water outlet of a cooling tower that aims at improvement of technical and economic indicators of heat power plants. The practical results of the modernization of irrigation and water distribution system of a cooling tower are presented. As a result, the application of new irrigation and water distribution systems of cooling towers will make it possible to increase the cooling efficiency by more than 4 °C and, therefore, to obtain the fuel savings by improving the vacuum in the turbine condensers. In addition, the available capacity of CHP in the summer period is increased. The results of the work, the experience of modernization of irrigation and water distribution systems of the Gomel CHP-2 cooling towers system, as well as the and methods of calculating of its efficiency can be disseminated for upgrading similar facilities at the power plants of the Belarusian energy system. Some measures are proposed to improve recycling systems, cooling towers and their structures; such measures might significantly improve the reliability and efficiency of technical water supply systems of heat power plants.

**Keywords:** technical water supply system, cooling towers, water distribution systems, cooled water temperature, cooling efficiency, economic impact, payback period, computer mathematical model of the cooling tower, capacity restrictions

**For citation:** Zenovich-Leshkevich-Olpinskiy Yu. A., Shiroglazova N. V., Zenovich-Leshkevich-Olpinskaya A. Yu. (2016) Improvement of Systems of Technical Water Supply with Cooling Towers for Heat Power Plants Technical and Economic Indicators Perfection. Part 2. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 59 (4), 362–375 (in Russian)

### **Расчетное сравнение разных типов оросителей**

Для сравнения характеристик градирен с различными типами оросителей выполнены расчеты температуры охлажденной воды на выходе градирни с применением стандартного асбоцементного и современного полимерного сетчатого оросителей [1–9]. Исследования проводились с помощью специально разработанной компьютерной программы. В ее основу была заложена математическая модель градирни (рис. 1). Программа разрабатывалась как инструмент для исследования режимов работы градирни, поиска резервов в повышении ее охлаждающей способности. Для подтверждения достоверности расчетов результаты компьютерной модели проверялись по результатам натурных испытаний градирни.

Для расчета температуры воды на выходе из градирни используются следующие режимные и метеорологические параметры:

- расход циркуляционной воды  $Q$ , м<sup>3</sup>/ч;
- температура воды на входе в градирню  $t_1$ , °С;
- перепад температуры воды в градирне  $\Delta t$ , °С;
- температура воздуха по сухому термометру  $\theta$ , °С;
- относительная влажность воздуха  $\varphi$ , %;
- скорость ветра на высоте 2 м над поверхностью земли  $w$ , м/с.

В результате расчета определяли удельную тепловую нагрузку на градирню  $U$ , Мкал/(ч·м<sup>2</sup>), и температуру охлаждающей воды на выходе из нее  $t_2$ , °С, с учетом поправок на перепад температур и скорость ветра.

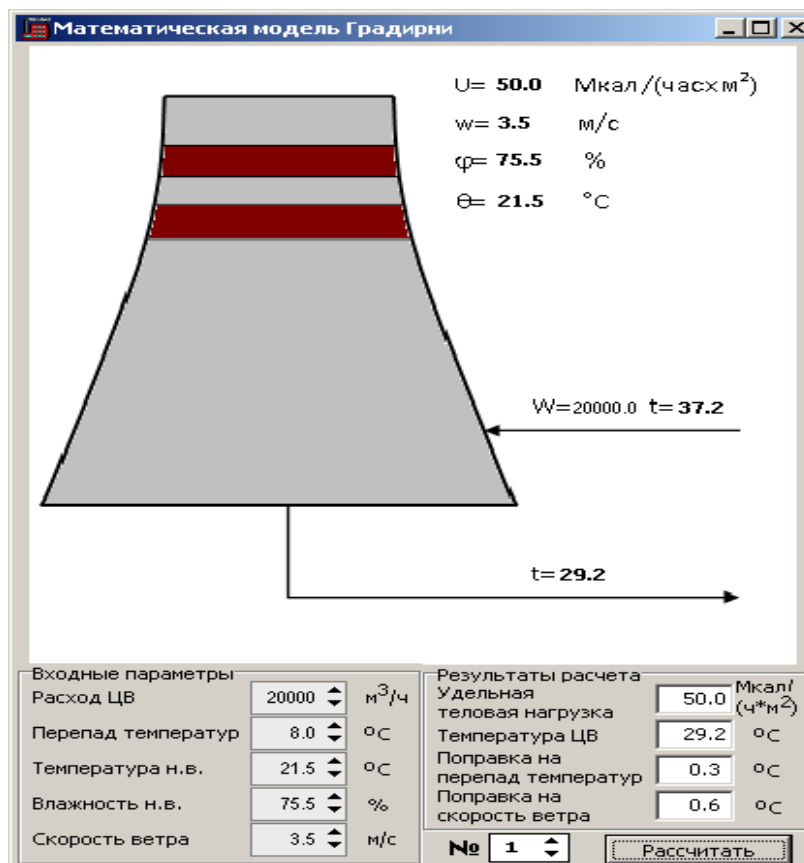


Рис. 1. Компьютерная модель градирни  
Fig. 1. A computer model of the cooling tower

Расчеты выполняли при постоянном расходе воды на градирню  $Q_{гр}$ , неизменных метеорологических факторах и различных тепловых нагрузках  $\Delta t$ . Результаты расчетов охлаждающего эффекта градирни с разными типами оросителей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Наименование параметра	Градирия с оросителем							
	полимерным высотой 0,9 м				типовым асбестоцементным высотой 2,5 м			
Перепад температуры воды в градирне $\Delta t$ , °C	9	11	13	15	9	11	13	15
Температура воздуха по «сухому» термометру $\theta$ , °C	18,6							
Температура воздуха по «влажному» термометру $\tau$ , °C	14,9							
Относительная влажность воздуха $\varphi$ , %	60,0							
Расход воды на градирню $Q_{гр}$ , м <sup>3</sup> /ч	23500,0							
Расчетная температура охлажденной воды в градирне, °C	24,2	24,9	25,4	25,8	26,2	27,6	28,8	29,9

График зависимости температуры охлажденной воды в градирнях от типа оросителя и величины тепловой нагрузки приведен на рис. 2.

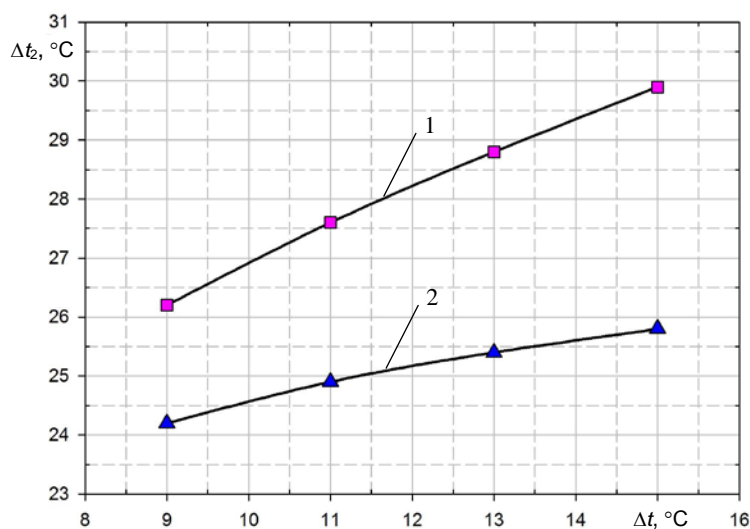


Рис. 2. Зависимость температуры охлажденной воды от тепловой нагрузки в градирнях с оросителем: 1 – асбестоцементным высотой 2,5 м; 2 – полимерным высотой 0,9 м

Fig. 2. The temperature dependence of the cooled water upon the heat load in cooling towers with the sprinkler: 1 – asbestos-cement of 2.5 m height; 2 – a polymer of 0.9 m height

Сравнительные расчеты охлаждающего эффекта градирни с разными типами оросителей при одинаковых метеорологических факторах показали, что полимерный ороситель более эффективен по сравнению с асбестоцементным и эффективность оросителя увеличивается при повышении нагрузки на градирню. Так, при перепаде температур воды 9 °C разница в температуре охлажденной воды в градирне составляет 2,0 °C, а при перепаде температур 15 °C данный показатель равен 4,1 °C.

### Экономическое обоснование установки новых оросительной и водораспределительной систем

Результаты расчета экономической целесообразности замены асбестоцементного оросителя на полимерный ороситель сетчатой конструкции NC20 для башенной градирни площадью орошения  $F = 3200 \text{ м}^2$  Гомельской ТЭЦ-2 приведены в табл. 2.

Таблица 2

Наименование показателя	Обозначение	Расчетная формула	Значение
Площадь орошения градирни, $\text{м}^2$	$F_{\text{ор}}$	Задана	3200
Температура воздуха по «сухому» термометру, $^{\circ}\text{C}$	$\theta$	Задана	21,7
Температура воздуха по «влажному» термометру, $^{\circ}\text{C}$	$q_{\text{вл}}$	Задана	19,2
Относительная влажность воздуха, %	$\varphi$	Задана	75
Скорость ветра, м/с	$w$	Задана	2,5
Расход пара в конденсатор, т/ч	$D_k$	Фактические данные	348
Разность теплосодержаний отработавшего пара и конденсата, ккал/кг	$\Delta i$	550–570 – для конденсаторов современных турбин с промежуточным перегревом пара и параметрами свежего пара 130–240 кгс/см <sup>2</sup>	560
Расход циркуляционной воды, $\text{м}^3/\text{ч}$	$Q$	Фактические данные	19150
Нагрев воды в конденсаторе, $^{\circ}\text{C}$	$\Delta t$	Фактические данные	10,2
Удельная тепловая нагрузка градирни, $\text{Мкал}/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$	$u$	$q\cdot\Delta i$	61,2
<b>Асбестоцементный ороситель</b>			
Температура охлажденной воды, $^{\circ}\text{C}$	$t'_{2a}$	Математическая модель градирни	29,65
Поправка на перепад температуры воды, $^{\circ}\text{C}$	$\delta_{\Delta}$	Математическая модель градирни	-0,03
Поправка на скорость ветра, $^{\circ}\text{C}$	$\Delta_w$	Математическая модель градирни	0,03
Нормативная температура охлажденной воды, $^{\circ}\text{C}$	$t_{2a}$	$t'_{2c} + \delta_{\Delta} + \Delta_w$	29,65
Температурный напор конденсатора, $^{\circ}\text{C}$	$\delta t$	$\Delta t / (e^n - 1)$	3,57
Показатель степени	$n$	Расчет конденсатора	1,35
Температура насыщения, $^{\circ}\text{C}$	$t_s$	$t_{2a} + \delta t + \Delta t$	43,42
Давление в конденсаторе, кгс/см <sup>2</sup>	$p_{2a}$	Таблицы воды и водяного пара	0,0901
<b>Сетчатый ороситель</b>			
Температура охлажденной воды, $^{\circ}\text{C}$	$t'_{2c}$	Математическая модель градирни	27,30

Окончание табл. 2

Наименование показателя	Обозначение	Расчетная формула	Значение
Поправка на скорость ветра, °С	$\Delta_w$	Математическая модель градирни	0,03
Нормативная температура охлажденной воды, °С	$t_{2c}$	$t'_{2c} + \Delta_w$	27,33
Температурный напор конденсатора, °С	$\delta t$	$\Delta t / (e^n - 1)$	3,57
Показатель степени	$n$	Расчет конденсатора	1,35
Температура насыщения, °С	$t_{sc}$	$t_{2c} + \delta t + \Delta t$	41,10
Давление в конденсаторе, кгс/см <sup>2</sup>	$p_{2c}$	Таблицы воды и водяного пара	0,0798
Снижение давления отработавшего пара после внедрения оросителей	$\Delta p_2$	$p_{2a} - p_{2c}$	0,0103
Изменение мощности турбины при изменении вакуума в конденсаторе на 1 %, кВт	$\Delta N_{0,01}$	Энергетическая характеристика турбины	1060
Увеличение мощности турбоагрегата за счет снижения давления отработавшего пара	$\Delta N$	$\Delta N = \Delta N_{0,01} \Delta p_2 \cdot 10^{-2}$	1091,8
Среднее количество часов работы градирни за межотопительный период, ч	$T$	Фактические данные	4392
Дополнительная выработка электроэнергии, кВт·ч	$\Delta \mathcal{E}$	$\Delta \mathcal{E} = \Delta N T$	4795185
Удельный расход топлива на отпуск электроэнергии от замыкающей КЭС, г у. т./кВт·ч	$b_{зам}$	Фактические данные	319,1
Количество сэкономленного топлива, т у. т.	$\Delta B$	$\Delta B = \Delta \mathcal{E} b_{зам} \cdot 10^{-6}$	1530,1
Топливная составляющая себестоимости электроэнергии, дол./кВт·ч	$S_m$	Принятые данные	0,0350
Эффект от снижения вакуума в конденсаторе, дол./год	$\mathcal{E}_в$	$\Delta \mathcal{E} S_m$	167831
Норма дохода на капитал	$E_n$	Принятые данные	0,20
Затраты на реконструкцию водоохлаждающего устройства градирни, дол.	$K$	Ориентировочные данные	850000
Годовой экономический эффект, дол.	$\Delta \mathcal{E}$	$\mathcal{E}_в - E_n K$	37831
Срок окупаемости, год	$T$	$K / \mathcal{E}_в$	5,1

Расчеты экономического обоснования показывают, что в результате реконструкции градирни будет получена экономия топлива 1530 т у. т. в год, срок окупаемости составит 5,1 года.

### **Результаты внедрения оросительной и водораспределительной систем при реконструкции градирни № 1 Гомельской ТЭЦ-2**

В 2012–2013 гг. на Гомельской ТЭЦ-2 проведена работа по реконструкции оросительной и водораспределительной систем градирни № 1 (проект – РУП «БелНИПИэнергопром», монтаж тепломеханической части оборудования и КИПиА – ЗАО «Белспецэнерго» и ОАО «Белэнергоремналадка», наладка и испытание оборудования – ЧАО «Техэнерго»).

При реконструкции градирни № 1 проведены следующие работы.

1. Для обеспечения снижения температуры охлажденной воды после градирен на 4 °С выполнена замена существующего асбестоцементного оросителя на современный высокоэффективный полимерный решетчатый ороситель типа NC20 высотой 0,9 м. Применение такого оросителя позволило выровнять расходы воздуха по сечению градирни для обеспечения максимальной эффективности ее работы. Это достигалось укладкой оросителя с различной высотой слоя. Например, для выравнивания расходов воздуха в радиальном сечении градирни толщина слоя увеличена в направлении от центра градирни к периферии.

2. Установлены низконапорные водоразбрызгивающие сопла с разбрызгиванием вниз, что позволило при низких напорах воды перед ними обеспечить необходимую площадь орошения, эффективность разбрызгивания, предотвратить отложения в водоподводящих трубах.

3. Для обеспечения равномерного водораспределения произведена замена рабочих и магистральных трубопроводов.

4. Для уменьшения неравномерности распределения потоков воды между охладителями и сливными магистральными циркуловодами выполнена перемычка  $D_y$  1600.

5. По периметру градирни на уровне верха входного окна трубопровода произведена прокладка противообледенительной водяной завесы диаметром 500 мм пропускной способностью до 30 % от номинального расхода, равного 22000 м<sup>3</sup>/ч.

После завершения монтажа технологической части и пуска градирни проведены ее гарантийные испытания с целью определения соответствия фактической охлаждающей способности гарантийным обязательствам. Сравнение характеристик работы градирни № 1 показало, что в результате выполнения реконструкции водоохлаждающего устройства обеспечено абсолютное снижение температуры охлажденной циркуляционной воды на 4,16 °С (табл. 3), что соответствует гарантийным показателям (4 °С). Градирня № 1 при температурах наружного воздуха от 15 до 20 °С обеспечила работу двух энергоблоков с суммарной электрической мощностью 378–354 МВт при средней величине теплофикационного отбора 100 Гкал/ч [10–15].

Таблица 3

Наименование показателя	Номер опыта				
	1	2	3	4	5
Суммарная электрическая мощность двух энергоблоков $\Sigma N$ , МВт	378	378	365	362	354
Суммарный теплофикационный отбор теплоты $\Sigma G_{\text{теп}}$ , Гкал/ч	100	96	94	103	103
Температура воздуха по «сухому» термометру $\theta$ , °С	15,01	15,66	15,29	17,46	20,02
Температура воздуха по «влажному» термометру $\tau$ , °С	9,96	12,71	13,31	14,29	13,62
Барометрическое давление $p_6$ , мм рт. ст.	747,75	748,16	753,75	751,3	749,85
Относительная влажность воздуха $\phi$ , %	52,10	71,57	80,33	71,03	48,40
Скорость воздуха на высоте 2 м от поверхности земли $w$ , м/с	3,64	3,21	1,60	1,85	1,93
Расход воды на градирню $G_{\text{гр}}$ (% $G_{\text{ном}}$ ), м <sup>3</sup> /ч	25401 (1,08)	24894 (1,06)	24398 (1,04)	24372 (1,04)	24234 (1,03)
Средневзвешенная температура воды на входе в градирню $t_1$ , °С	39,96	41,55	40,86	41,38	41,02
Средняя температура воды на выходе из градирни $t_2$ , °С	26,32	26,85	26,14	26,97	26,96
Перепад температуры воды в градирне $\Delta t = t_1 - t_2$ , °С	13,64	14,70	14,72	14,41	14,06
Расчетная температура охлажденной воды в градирне, определенная по гарантийной характеристике градирни $t_2^p$ , °С	25,7	27,0	26,8	27,6	27,7
Недоохлаждение воды в градирне $\Delta = t_2 - t_2^p$ , °С	0,62	-0,15	-0,66	-0,63	-0,74
Среднее недоохлаждение воды в градирне относительно гарантийной характеристики $\Delta_{\text{ср}}$ , °С	-0,31				
Расчетная температура охлажденной воды для градирни с асбестоцементным оросителем $t_{\text{р.аз}}$ , °С	30,25	31,34	30,45	30,95	31,05
Фактическое снижение температуры охлажденной воды по сравнению с градирней с асбестоцементным оросителем $\Delta t_{\text{рек}} = t_2 - t_{\text{р.аз}}$ , °С	3,93	4,49	4,31	3,98	4,09
Среднее снижение температуры охлажденной воды в сравнении с градирней с асбестоцементным оросителем $\Delta t_{\text{рек}}$ , °С	4,16				

Результаты фактической экономической эффективности градирни № 1 после реконструкции представлены в табл. 4.



Таблица 4

Наименование показателя	Обозначение	Расчетная формула	Значение
Число часов работы энергоблоков станции в межотопительный период, ч/год	$\tau$	Фактические данные	7556
Изменение мощности турбоагрегата в зависимости от изменения давления в конденсаторе на 0,01 кгс/см <sup>2</sup> , МВт	$\Delta N_{0,01}$	Энергетическая характеристика турбины	1,06
Температура насыщения отработавшего пара в конденсаторе турбины, °С: до реконструкции после реконструкции	$t_1$ $t_2$	Фактические данные	28,9 26,4
Абсолютное давление отработавшего пара в конденсаторе турбины, кгс/см <sup>2</sup> : до реконструкции после реконструкции	$p_1$ $p_2$	Таблица воды и водяного пара	0,0406 0,0351
Снижение давления отработавшего пара после реконструкции, кгс/см <sup>2</sup>	$\Delta p_2$	$\Delta p_2 = p_2' - p_1'$	0,0055
Увеличение мощности турбоагрегата за счет снижения давления отработавшего пара, МВт	$\Delta N$	$\Delta N = \Delta N_{0,01} \Delta p_2 \cdot 10^2$	0,5867
Дополнительная выработка электроэнергии за счет повышения охлаждающей эффективности водоохлаждающего устройства градирни, МВт·ч	$\Delta \mathcal{E}$	$\Delta \mathcal{E} = \Delta N T$	4433
Удельный расход топлива на отпуск электроэнергии от замыкающей КЭС, г у. т./((кВт·ч)	$b_{зам}$	Фактические данные	319,1
Годовая экономия топлива, т у. т.	$\Delta B$	$\Delta B = \Delta \mathcal{E} b_{зам} \cdot 10^{-3}$	1414

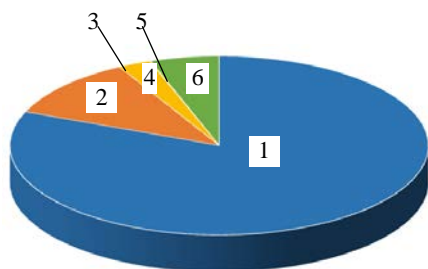
Высокая охлаждающая эффективность градирни № 1 после ее реконструкции позволила получить экономию топлива 1414 т у. т. в год за счет снижения температуры охлаждающей воды на выходе из градирни и улучшения вакуума в конденсаторах турбин, а также обеспечила возможность дополнительного включения в работу одного турбоагрегата типа Т-180/210-130 в конденсационном режиме в летний период года. Результаты проведенных исследований показывают высокую сходимость показателей натурных испытаний с результатами расчетов компьютерной модели градирни для различных типов оросителей.

### Снижение ограничения мощности тепловых электростанций

Ограничения мощности тепловых электростанций представляют собой серьезную проблему в процессе производства электрической энергии и не только как фактор, уменьшающий установленную мощность генерирующего агрегата (электростанции), но и как одна из причин, снижающая надежность и ухудшающая экономичность работы всего оборудования ТЭС. Большие значения ограничений мощности в общей их структуре имеютс-я из-за недостаточного промышленного теплоснабжения, количества охлаждающей воды и высоких значений ее температуры.

Ограничения из-за недостаточного теплоснабжения, по существу, зависят от циркуляционных систем технического водоснабжения, так как часто охлаждение и конденсация неиспользуемого в регулируемых отборах пара и дополнительная выработка электроэнергии в конденсационном режиме не обеспечены охлаждающей водой. Недостаток воды и высокие значения ее температуры, как правило, одновременно ухудшают вакуум в конденсаторах и снижают экономичность оборудования в эксплуатационных режимах [3]. Наибольшие ограничения появляются в неотапливаемый период, в период снижения теплоснабжения, когда возникает необходимость выработки электроэнергии в конденсационном режиме или режиме с малым объемом регулируемых отборов пара.

Например, в 2014 г. по ГПО «Белэнерго» из 8994,45 МВт установленной мощности ограничения неотапливаемого периода (для самого жаркого периода лета) составили 1697,3 МВт, в том числе из-за недостаточного теплоснабжения – 228,6 МВт, из-за отсутствия или недостаточной охлаждающей эффективности градирен – 985,0 МВт, или 58,0 % от всех ограничений (рис. 3).



*Рис. 3. Структура ограничений мощности ОЭС Беларуси в июле 2014 г.:  
 1 – располагаемая мощность – 7297,15 МВт;  
 2 – недостаточная производительность градирен – 985; 3 – ухудшенный вакуум – 0;  
 4 – недостаток теплового потребления на турбинах типа «Р» – 228,6; 5 – снижение параметров – 5; 6 – прочие станционные потери 478,7 МВт*

*Fig. 3. The structure of the capacity limitations of UPS of Belarus in July 2014:*

1 – the available power – 7297.15 MW; 2 – inadequate output of cooling towers – 985;  
 3 – degraded vacuum – 0; 4 – lack of heat consumption for turbine type “R” – 228.6;  
 5 – reduced options – 5; 6 – other station's loss 478.7 MW

Кроме того, уменьшение размеров ограничений мощности, весьма актуальное в условиях ограниченных возможностей строительства новых ТЭС, может быть достигнуто усовершенствованием работающих градирен путем применения новых технических решений, в частности заменой физически и морально устаревших элементов градирен на более эффективные. Применение описанных выше технологий позволит значительно снизить такие ограничения. Особенно это актуально в связи с вводом Белорусской АЭС, когда потребуются резервные мощности.

По результатам модернизации водоохлаждающего устройства градирни № 1 Гомельской ТЭЦ-2 получены следующие результаты в части снижения ограничения мощности в летний период года:

- увеличилась располагаемая мощность ТЭЦ примерно на 40 МВт в сравнении с состоянием до модернизации (рис. 4), при смешанном режиме работы трех энергоблоков (один – с теплофикационным отбором 100 Гкал/ч и два – с конденсационным) при значениях температуры наружного воздуха 18,6 °С и его относительной влажности 70 % (средне-

месячные метеофакторы для самого жаркого месяца года – июля). При более высоких температурах наружного воздуха (до 30 °С) и условиях, указанных выше, прирост располагаемой мощности ТЭЦ или уменьшение величины ограничения мощности достигает 52 МВт. Охлаждающая способность градирен соответствует фактической;

- при среднемесячных значениях метеофакторов для самого жаркого месяца года и совместной работе двух энергоблоков (одного в конденсационном и одного в теплофикационном режиме (100 Гкал/ч)) ограничений мощности не происходит [10].

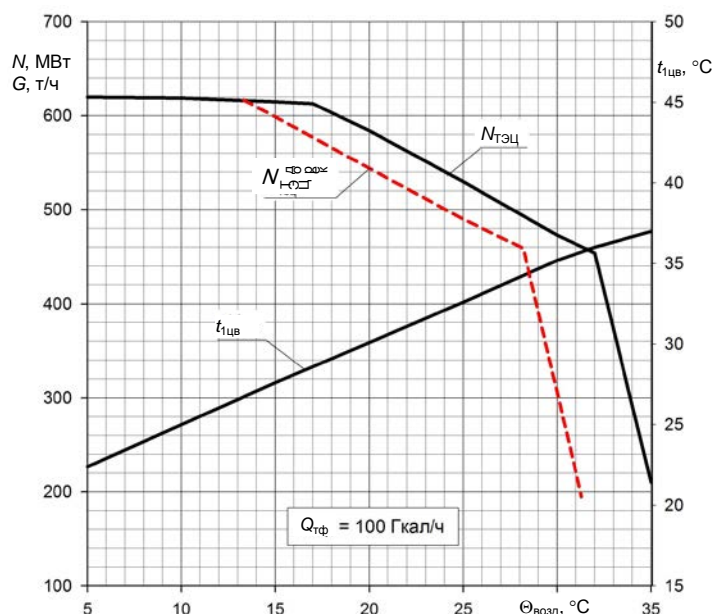


Рис. 4. Параметры работы ТЭЦ в зависимости от температуры воздуха

Fig. 4. Parameters of the operation of the CHP plant depending on the air temperature

### Совершенствование оборотных систем, градирен и их конструкций

Совершенствование оборотных систем, градирен и их конструкций должно производиться комплексно по следующим направлениям.

1. Обеспечение комплексного, эффективного взаимодействия всех элементов циркуляционных систем при различных вариантах работающего оборудования и сочетаний внешних атмосферных факторов при установленной мощности.

2. Разработка и внедрение высокоэффективных градирен нового поколения индивидуально применительно к конкретным системам электростанций и метеорологическим условиям их расположения. Градирни нового поколения должны:

- проектироваться на конкретные метеорологические условия;
- обеспечивать работу электростанций с полной конденсационной нагрузкой в любых климатических зонах;

- обеспечивать температурные значения воды согласно требованиям обеспечения заданной заводом-изготовителем глубины вакуума в конденсаторах паровой турбины;

- изготавливаться из современных конструкционных материалов (предпочтительно из полипропилена);

- иметь большую технологическую оснащенность, позволяющую безаварийно эксплуатировать градирни в различных климатических зонах;

- иметь автоматическое управление работой градирни;

- иметь меньшие значения потерь оборотной воды.

3. Утилизация и использование низкопотенциальной теплоты, производительно выбрасываемой гидроохладителями в атмосферу.

4. Перевод электростанций с прямоточных систем на оборотные с искусственными гидроохладителями-градирнями.

5. Автоматизация и дистанционное управление распределением воды и процессами теплообмена в гидроохладителях [3, 11].

6. Разработка и внедрение высокоэффективных мероприятий по противонакипной обработке воды и борьбе с биообрастанием поверхностей теплообмена, с применением современных антисколянтов.

7. Применение малозатратной технологии – дифференцированная плотность орошения при реконструкции и строительстве новых градирен для более равномерного распределения потоков воздуха (за счет применения водоразбрызгивающих сопел разного диаметра выходного отверстия, различная высота полимерного оросителя по сечению градирни и др.).

8. Создание автоматизированных систем управления процессами распределения потоков воздуха в зависимости от эксплуатационных режимов и метеорологических условий (вертикальные жалюзи облегченной конструкции вместо поворотных щитов, возможность их управления в автоматическом режиме, создание метеорологического пункта возле градирен с возможностью измерений метеорологических параметров – скорости и направления ветра, влажности, барометрического давления).

9. Создание и использование компьютерных математических моделей градирен для повышения эффективности работы систем технического водоснабжения ТЭС с целью улучшения их технико-экономических показателей.

Таким образом, только комплексный подход, основанный на анализе и статистике результатов эксплуатации систем технического водоснабжения многих электростанций, позволит повысить надежность и улучшить технико-экономические показатели ТЭС, рационально расходовать денежные средства, оздоровить экологическую ситуацию, снизить потребление невозполняемых энергетических ресурсов, внедрить новые энерго- и ресурсосберегающие технологии в области потребления воды [11].

## **ВЫВОДЫ**

1. В настоящее время высокоэффективные водоохлаждающие устройства градирен полипропиленовой конструкции успешно эксплуатируются по всему миру, в том числе на электростанциях Франции (градирни для

АЭС фирмы EDF), России (Нововоронежская и Ростовская АЭС), Украины (Зуевская ТЭС), Беларуси (Гомельская ТЭЦ-2) и т. д.

2. Внедрение нового водоохлаждающего устройства градирни № 1 Гомельской ТЭЦ-2 позволило увеличить охлаждающую эффективность на  $4,16\text{ }^{\circ}\text{C}$  за период года с положительными температурами наружного воздуха, дополнительно выработать 4,433 млн кВт·ч электроэнергии в год и соответственно получить экономию топлива 1414 т у. т. за счет улучшения вакуума в конденсаторах турбин.

3. Увеличилась располагаемая мощность ТЭЦ в летний период на 40 МВт, что обеспечило возможность дополнительно включить в работу один турбоагрегат типа Т-180/210-130 в конденсационном режиме в летний период года.

4. Результаты работы, опыт реконструкции и модернизации водоохлаждающего устройства градирни № 1 Гомельской ТЭЦ-2 и методика расчета его эффективности могут быть учтены как при реконструкции существующих, так и при строительстве новых вентиляторных и башенных градирен не только на электростанциях Белорусской энергосистемы, но и на других аналогичных объектах промышленных предприятий Республики Беларусь.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Берман, Л. Д. Испарительное охлаждение циркуляционной воды / Л. Д. Берман. М.: Госэнергоиздат, 1957. 318 с.
2. Кравченко, В. П. Сопоставление охлаждающей способности асбоцементного и сетчатого оросителя башенных градирен / В. П. Кравченко, Е. Н. Морозов, М. П. Галацан // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2011. Т. 2, № 8 (50). С. 13–16.
3. Мошкарин, А. В. Современные основы технического перевооружения систем технического водоснабжения тепловых электростанций / А. В. Мошкарин, В. А. Калатузов // Вестник ИГЭУ. 2008. Вып. 2. С. 1–5.
4. Зенович-Лешкевич-Ольпинский, Ю. А. Создание и эффективность автоматической системы шариковой очистки конденсатора 180-КЦС-1 турбины Т-180/210-130-1 ЛМЗ. Ч. 2 / Ю. А. Зенович-Лешкевич-Ольпинский, А. Ю. Наумов, А. Ю. Зенович-Лешкевич-Ольпинская // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2015. № 4. С. 74–85.
5. Методика построения нормативных характеристик градирен испарительного типа: СО 34.22.302–2005. М.: СПО ОРГРЭС, 2005. 15 с.
6. Руководство по оптимизации оборотной системы водоснабжения электростанций с градирнями. М.: Минэнерго СССР, 1981. 44 с.
7. Бененсон, Е. И. Теплофикационные паровые турбины / Е. И. Бененсон, Л. С. Иоффе. М.: Энергия, 1976. 270 с.
8. Ильченко, О. Т. Тепло- и массообменные аппараты ТЭС и АЭС / О. Т. Ильченко. Киев: Вища шк., 1992. 207 с.
9. Пономаренко, В. С. Градирни промышленных и энергетических предприятий: справ. пособие / В. С. Пономаренко, Ю. И. Арефьев. М.: Энергоатомиздат, 1998. 376 с.
10. Гарантийные испытания градирни № 1 и определение ограничений электрической мощности Гомельской ТЭЦ-2 со стороны системы охлаждения после реконструкции градирни № 1: техн. отчет, № 13.09.92–01. Львов: ЧАО «Техэнерго», 2013.
11. Калатузов, В. А. Основы технического перевооружения тепловых и атомных электростанций / В. А. Калатузов // Академия энергетике. 2009. № 4 (30). С. 92–95.
12. Дифференциальная модель тепломассообмена в испарительных градирнях / А. П. Солодов [и др.] // Вестник МЭИ. 2005. № 2. С. 43–53.

13. Методические указания по определению обеспеченности электрической мощности электростанций циркуляционными системами водоснабжения: РД 153-34.1-22.508–2001. Введ. 01.09.2001. М.: СПО ОРГРЭС, 2001. 56 с.
  14. Энергетические характеристики оборудования Гомельской ТЭЦ-2 и алгоритм определения нормативного удельного расхода топлива на отпущенную электрическую и тепловую энергии. Гомель: Гомельская ТЭЦ-2, 2008. Т. 2. 156 с.
  15. Указания по нормированию показателей работы гидроохладителей в энергетике. М.: СПО ОРГРЭС, 1981. 79 с.
- Поступила 02.11.2015    Подписана в печать 22.01.2016    Опубликовано онлайн 03.08.2016

#### REFERENCES

1. Berman L. D. (1957) *Evaporative Cooling of Circulating Water*. Moscow, Gosenergoizdat. 318 (in Russian).
2. Kravchenko V. P., Morozov E. N., Galazan M. P. (2011) Comparison of the Cooling Ability of Asbestos Cement Sprinkler and Reticulated Sprinkler of Cooling Towers. *Vostochno-Evropeiskiy Zhurnal Peredovyyh Tekhnologiy* [East European Journal of Advanced Technologies], 2 (8), 13–16 (in Russian).
3. Moshkarin A. V., Kalatuzov V. A. (2008) Modern Foundations of Technical Re-Equipment of Technical Water Supply Systems of Heat Power Plants. *Vestnik IGEU* [Herald of Ivanovo Power Engineering Institute], 2, 1–5 (in Russian).
4. Zenovich-Leshkevich-Olpinsky Yu. A., Naumov A. Y., Zenovich-Leshkevich-Olpinsky A. Yu. (2015) Designing and Efficiency Effect of Automatic Ball-Cleaning System for Condenser 180-ktss-1 of Turbine T-180/210-130-1 LMZ. Part 2. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii I Energeticheskikh Obedinenii SNG* [Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.], (4), 74–85 (in Russian).
5. Standard of the Organization 34.22.302–2005. A method of Constructing the Normative Characteristics of Cooling Towers of Evaporative Type. Moscow, SPO ORGRES, 2005. 15 (in Russian).
6. *Manual on Optimizing of Circulating Water System of Power Plants with Cooling Towers*. Moscow: USSR Ministry of Energy, 1981. 44 (in Russian).
7. Benenson E. I., Ioffe L. S. (1976) *Central Heating Steam Turbine*. Moscow, Energiya. 270 (in Russian).
8. Ilchenko O. T. (1992) *Heat and Mass Transfer Devices of Heat and Nuclear Power Plants*. Kiev, Vyscha shkola. 207 (in Russian).
9. Ponomarenko V. S., Aref Yu. I. (1998) *Cooling Towers of industrial and Energy Companies: a Resource Book*. Moscow, Energoatomizdat. 376 (in Russian).
10. Technical. Report No 13.09.92–01. Guarantee Tests of Cooling Tower No 1 and the Evaluation of Restrictions of Electric Power to the Gomel CHP-2 by the Cooling System after the Reconstruction of Cooling Tower No 1. Lviv, “Tekhenergo” JSC, 2013. (in Russian, Unpublished).
11. Kalatuzov V. A. (2009) Fundamentals of Technical Re-Equipment of Heat and Nuclear Power Plants. *Akademiya Energetiki* [Academy of Power Engineering], 30 (4), 92–95 (in Russian).
12. Solodov A. P., Romanenko A. N., Egorova N. V., Ezhov E. V. (2005) Differential Model of Heat and Mass Transfer in Evaporative Cooling Towers. *Vestnik of MEI* [MPEI Vestnik], (2), 43–53 (in Russian).
13. RD 153-34.1-22.508–2001. Procedural Guidelines for the Determination of Sufficiency of Electric Power for Circulating Water Supply Systems for Electric Power Plants. Moscow, SPO ORGRES, 2001. 56 (in Russian).
14. *The Energy Characteristics of the Equipment of the Gomel CHP-2 and the Algorithm for Determining the Normative Specific Fuel Consumption for Delivered Electricity and Thermal Energy. Vol. 2*. Gomel: Gomel CHP-2, 2008. 156 (in Russian, Unpublished).
15. *The Instructions for Rationing the Performance Indicators of Water Coolers in the Energy Sector*. Moscow, SPO ORGRES, 1981. 79 (in Russian).