

DOI: 10.21122/1029-7448-2016-59-3-235-248

УДК 621.311.22:621.175

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

Часть 1

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.** Для снижения температуры охлаждающей воды и повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов приведены основные направления перевооружения систем технического водоснабжения с градирнями тепловых электростанций. Рассмотрены проблемы эксплуатации оросительных и водораспределительных систем башенных градирен. Проанализированы конструкции применяемых теплообменников, их недостатки и влияние на охлаждающую способность градирни. Применение капельного теплообменного устройства на основе решетчатого полипропилена практически исключает недостатки пленочных и капельно-пленочных теплообменников, что приводит к увеличению срока эксплуатации, а также повышению надежности и экономичности работы основного оборудования тепловых электростанций. Рассмотрены конструкции водораспределительных устройств градирен. Отмечено, что наиболее эффективными являются низконапорные водоразбрызгивающие сопла из полипропилена, которые обеспечивают равномерное распыление воды и имеют высокую надежность и долговечность.

**Ключевые слова:** тепловые электростанции, система технического водоснабжения, градирни, ороситель, сопла, охлаждающая способность

**Для цитирования:** Зенович-Лешкевич-Ольпинский, Ю. А. Совершенствование систем технического водоснабжения с градирнями с целью улучшения технико-экономических показателей тепловых электростанций. Часть 1 / 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, № 3. С. 235–248

---

### 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 Steam Power Plants Technical and Economic Indicators Perfection

Part 1

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.** In order to reduce the temperature of cooling water and increase the efficiency of use of power resources the main directions of modernization of systems of technical water supply with cooling towers at steam power plants are presented. The problems of operation of irrigation systems and water distribution systems of cooling towers are reviewed. The design of heat and mass transfer devices, their shortcomings and the impact on the cooling ability of the cooling tower are also under analysis. The use of droplet heat and mass transfer device based on the lattice polypropylene virtually eliminates the shortcomings of the film and droplet-film heat and mass transfer devices of the cooling tower, increasing lifetime, and improving the reliability and efficiency of the operation of the main equipment of thermal power plants. The design of the water distribution devices of cooling towers is also considered. It is noted that the most effective are water-splattering low-pressure nozzles made of polypropylene that provides uniform dispersion of water and are of a high reliability and durability.

**Keywords:** steam power plants, technical water supply system, cooling towers, sprinkler, nozzles, cooling capacity

**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 Steam Power Plants Technical and Economic Indicators Perfection. Part 1. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 59 (3), 235–248 (in Russian)

### Введение

Одной из главных задач экономики в энергетике является постоянное и непрерывное повышение энергоэффективности, в первую очередь – на действующих и строящихся тепловых электростанциях (ТЭС) и атомных электростанциях (АЭС). Концерн Duke Energy (США) назвал энергоэффективность «пятым видом топлива» – наряду с углем, природным газом, атомной энергией и возобновляемыми источниками. Повышение энергоэффективности неразрывно связано с внедрением технологий, снижающих воздействие на экологическую среду через системы топливоприготовления, газоудаления и системы технического водоснабжения (СТВ) с градирнями.

СТВ – это основное технологическое устройство низкочастотной части ТЭС и АЭС, а также промышленных предприятий независимо от профиля производства. СТВ выполняют функцию определенного регулятора эмиссии вредных и парниковых газов, состояния природных источни-

ков воды, изменений микроклимата, эффективности и экономичности ТЭС и АЭС, промышленных предприятий. Через природные гидроохладители и градирни в окружающую среду отдается до 60 % тепловой энергии, полученной в результате сжигания топлива для выработки электроэнергии. Для сравнения: через дымовые трубы отдается до 10 % тепловой энергии [1].

В структуре производства электроэнергии ТЭС представлены теплоэлектроцентралями (ТЭЦ) и государственными районными электростанциями (ГРЭС). На ТЭЦ в основном используются оборотные СТВ с башенными (без вентиляторов) градирнями испарительного типа. На действующих ГРЭС в качестве охладителей воды чаще используются реки, водохранилища и озера, т. е. применяется прямоточная СТВ, иногда оборотная СТВ, например с прудами-охладителями [2].

Анализ результатов обследований и технологических испытаний градирен и СТВ выявил, что охлаждение воды в системах хуже нормативного в среднем на 2–10 °С, а недостаток воды для обеспечения охлаждения расчетных объемов пара в конденсаторах турбин составляет 30–40 % [3]. Градирни – наиболее распространенные компактные искусственные гидроохладители, позволяющие размещать электрические станции на значительном расстоянии от источников воды, на территории городов, вблизи от энергопотребителей. От совершенства СТВ и градирен, при прочих равных условиях, зависят величины удельных расходов топлива и выбросов вредных газов CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> в окружающую среду. Соответственно, чем ниже температура охлаждающей воды, тем меньше расход топлива и выбросы в атмосферу.

### **Постановка задачи**

Цель настоящей работы – обоснование экономической целесообразности и оценка результатов реконструкции водораспределительной и оросительной системы башенной градирни для повышения эффективности СТВ и улучшения технико-экономических показателей электростанции.

СТВ блоков Гомельской ТЭЦ-2 – оборотная, с двумя башенными градирнями площадью орошения по 3200 м<sup>2</sup> каждая (рис. 1). Для подачи воды в конденсаторы турбин, на теплообменники вспомогательного оборудования и градирни в объединенной насосной станции (ОНС) установлено пять циркуляционных насосов типа Д-12500-24 электрической мощностью 1000 кВт каждый. Охлаждающая вода поступает по двум бетонным каналам в аванкамеру ОНС и затем из аванкамеры по пяти стальным трубопроводам к каждому циркуляционному насосу [4].

Насосы подают воду на магистральные водоводы, от которых вода по напорным трубопроводам поступает на основной и встроенный пучки конденсаторов. После конденсаторов вода по сливным магистральным трубопроводам направляется в градирни.

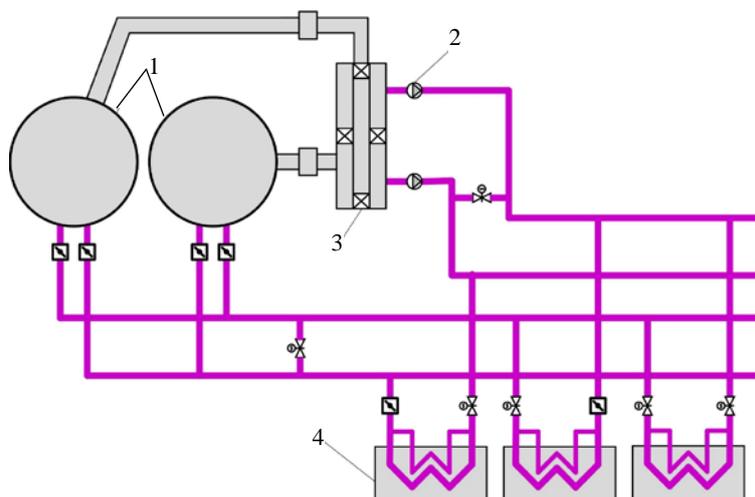


Рис. 1. Принципиальная схема технического водоснабжения:  
1 – градирни № 1, 2; 2 – циркуляционный насос; 3 – аванкамера; 4 – конденсатор

Fig. 1. Schematic diagram of technical water supply:  
1 – cooling towers No 1, 2; 2 – circulating pump; 3 – forebay; 4 – condenser

Охлаждение циркуляционной воды происходит в градирнях. Горячая вода разбрызгивается над оросителем, обладающим большой площадью поверхности и, стекая по нему, отдает теплоту в воздушный поток. При этом имеет место испарение воды, и относительная влажность воздуха приближается к 100 %. Теплота испарения влаги изымается из потока воды, приводя к снижению ее температуры. Далее вода в капельно-струйном виде попадает в бассейн башенно-испарительной градирни и направляется обратно в конденсаторы. Расход охлаждающей воды в современных тепловых станциях достигает 100 тыс. т/ч, при этом до 1,5–2,0 % воды может теряться в процессе испарения [5–9].

Градирни № 1, 2 сооружены по типовому проекту Санкт-Петербургского института «Атомэнергопроект» и введены в эксплуатацию соответственно в 1986 и 1988 гг. Градирни оборудованы оросителями из плоских асбестоцементных листов. Асбестоцементные листы оросителей предварительно собраны в блоки. Расстояние в свету между листами в обеих градирнях составляет 25 мм. Ороситель градирни № 1 – пленочный, одноярусный, высотой 2,5 м, градирни № 2 – двухъярусный, общей высотой 2,4 м.

Водоразбрызгивающие сопла систем водораспределения градирен – ударного типа с перфорированным чашечным отражателем с разбрызгиванием вверх. Чашечный отражатель крепится к выходному патрубку сопла тремя стойками.

Восполнение потерь воды в СТВ производится из трубопровода, подающего воду на Гомельский химзавод насосами станции II-го подъема РУП «Водоканал» из реки Сож. Изменение подачи насосов осуществляется варьированием количества одновременно включенных циркуляционных насосов.

### **Проблемы эксплуатации оросительных и водораспределительных систем башенных градирен**

Находящиеся в эксплуатации СТВ, по опыту выполненных испытаний и обследований, не в полной мере отвечают экономичной и надежной работе основного оборудования. К конструктивным недостаткам типовых проектов, отрицательно влияющих на надежность градирен и их охлаждающую эффективность, следует отнести:

- недостаточную охлаждающую способность градирен с асбоцементным оросителем относительно нормативной характеристики;
- неравномерность расходов воды по половинам градирен и недостаточные (низкие) напоры воды перед разбрызгивающими соплами, что негативно сказывается на охлаждающей эффективности градирен (напор ниже допустимого значения 1,2 м);
- неудачную конструкцию воздухорегулирующих устройств или их отсутствие при больших высотах воздухоходного окна, в результате чего при отрицательных температурах воздуха происходит интенсивное обмерзание и разрушение оросителя и конструкций градирен;
- большой зазор между оросителем и оболочкой вытяжной башни, наличие в оросителе незаполненных участков, что обеспечивает неорганизованный проход воздуха, ухудшающий охлаждающую эффективность, а в зимнее время вызывающий обледенение конструкций;
- неравномерную гидравлическую нагрузку оросителя, особенно в периферийной зоне, создающую благоприятные условия для ледообразования на оросителе;
- использование в системах водораспределения отражательных сопел, часто ломающихся и забивающихся, кроме того, сопла требуют высокой точности вертикальной установки, что трудно достижимо;
- несовершенную конструкцию разбрызгивающих сопел;
- ненадежную конструкцию опорной сетки оросителя;
- отсутствие автоматизированных систем управления процессами распределения потоков воды и работой градирен в зависимости от эксплуатационных режимов и метеорологических условий.

В процессе длительного срока эксплуатации, физического и морального износа оборудования и конструкций градирен имеют место повреждения листов, наклон блоков, обрушение блоков оросителей, разрушение антикоррозионной защиты и коррозия стальных опор и трубопроводов, происходит ухудшение гидравлических характеристик, снижается охлаждающая эффективность.

### **Решение задачи**

Как уже было сказано, башенные градирни Гомельской ТЭЦ-2 оборудованы оросителями из плоских асбестоцементных листов и водоразбрызгивающими соплами ударного типа с перфорированным чашечным отра-

жателем с разбрызгиванием вверх. Асбестоцементный ороситель даже при его удовлетворительном состоянии и охлаждающей эффективности градирен, близкой к нормативной СТВ, не может обеспечить конденсационной мощности трех энергоблоков электростанции в летний период. Поэтому для обеспечения конденсационной мощности трех энергоблоков в летний период и улучшения технико-экономических показателей станции необходима замена существующих асбестоцементных оросителей градирен на современные, обладающие большей охлаждающей способностью.

Тепломассообменное устройство (ТМУ) градирни отвечает за охлаждение воды, в нем происходит до 90 % всего теплосъема и охлаждения технологической воды. От эффективности и надежности работы ТМУ зависит эффективность и надежность работы всего оборудования предприятия.

Основное назначение ТМУ – создание развернутой поверхности воды и условий для беспрепятственной подачи воздуха к этой поверхности. Наибольшее распространение получили ТМУ, изготавливаемые:

- из натуральных материалов – асбошифер, древесина;
- из искусственных – пластические массы (полиэтилены низкого и высокого давления, полипропилены, поливинилхлорид и др.).

Качественные характеристики ТМУ зависят от:

- материала изготовления;
- конструкции сборочных элементов и блоков ТМУ;
- способа изготовления.

В зависимости от способа охлаждения воды в результате контакта с воздухом различают три типа оросителей:

#### 1. Пленочные ТМУ (асбоцементные, деревянные).

Охлаждение происходит в результате контакта воздуха с водяной пленкой, образующейся на элементах при обтекании их падающей сверху водой. Применялись до 1990-х гг.

#### 2. Капельно-пленочные ТМУ (из полимерных листов и трубок).

Охлаждение происходит в результате контакта воздуха с водяной пленкой, крупными и мелкими каплями. Низкая эффективность теплосъема вследствие кратковременного образования пленки и малой степени дробления капель.

#### 3. Капельные ТМУ (оросители решетчатой структуры).

Самые эффективные оросители, так как теплосъем с капель гораздо выше, чем с пленки. Структура и величина поверхности охлаждения, образующейся при раздроблении воды в решетнике, активная поверхность охлаждения определяются свободной поверхностью капель, падающих с одних элементов на другие. Капли воды, попадающие на элементы, ударяются об них, дробятся, образуя новые капельные структуры с новой поверхностью контакта с воздухом. При этом многоярусный ороситель одновременно уменьшает среднюю скорость падения капель и перемешивание воды по пути ее движения.

В последнее время в отечественной и мировой практике градирнестроения широкое применение нашли оросители из полимерных материалов.

Современные полимерные оросители (при относительно малой их высоте) по своей охлаждающей эффективности значительно лучше асбоцементных (рис. 2) и деревянных. Полимерные оросители, кроме высокой охлаждающей эффективности, еще характеризуются простотой монтажа, долговечны и надежны в эксплуатации и намного легче по весу (более чем в десять раз асбоцементного).

Расчеты по определению располагаемой конденсационной мощности ТЭЦ после реконструкции градирен показали, что для обеспечения конденсационной мощности ТЭЦ в летний период (работа трех энергоблоков, в том числе один – с теплофикационным отбором или два – с конденсационным) необходимо повышение охлаждающей эффективности градирен примерно на 4 °С по сравнению с фактической охлаждающей способностью градирен. Достичь соответствующей охлаждающей эффективности градирни возможно при установке современного полимерного решетчатого или пленочного оросителя. Высота установки оросителя составляет 0,9 м. Увеличение высоты оросителя до 1,2 м и далее нецелесообразно по причине относительно малого снижения температуры воды (менее 1 °С) при повышении объема оросителя на 30 %.

В качестве такого оросителя на Гомельской ТЭЦ-2 используется высокоэффективный полипропиленовый решетчатый ороситель типа NC20 (рис. 3). Этот тип оросителя обеспечивает высокую охлаждающую способность градирни, его блоки имеют высокую пространственную (объемную) жесткость и стойкость к внешним нагрузкам (воздействиям) (потоки воды, перемещение персонала при ремонте и обслуживании градирни и т. д.) на них. Конструкция блоков оросителя обеспечивает их обработку, за счет чего достигнута плотная укладка оросителя по периферии градирни, а также вокруг колонн и центрального стояка.



*Рис. 2. Асбоцементный ороситель*

*Fig. 2. Asbestos sprinkler*



*Рис. 3. Решетчатый ороситель типа NC20*

*Fig. 3. Lattice sprinkler of the NC20 type*

ТМУ на основе полипропилена типа NC20 превосходит другие типы оросителей:

- по технологическим характеристикам – имеет наименьшее значение коэффициента аэродинамического сопротивления, включая и сопротивление стекающей воды;

- по значению объемного коэффициента массообмена;
- по физико-химическим и прочностным характеристикам;
- обеспечивает большую глубину охлаждения по сравнению с нормативными показателями.

Глубокое охлаждение воды в ТМУ на основе полипропилена типа NC20 при относительно небольшой высоте достигается за счет многократного дробления капель воды и частоты смены поверхности их охлаждения. ТМУ на основе полипропилена типа NC20, кроме Гомельской ТЭЦ-2, успешно эксплуатируется на градирнях Дарницкой ТЭЦ, Зуевской ГРЭС, Харьковской ТЭЦ-5 (Украина) и многих других объектах энергетики Европы и мира.

Одним из условий эффективной и надежной работы градирни является равномерное распределение воды над оросителем. Это обеспечивает правильное расположение системы лотков и труб, а также применение эффективных разбрызгивающих сопел.

Эффективность технологических процессов, реализуемых при распыливании жидкой фазы, в значительной мере зависит от правильного выбора распыливающего устройства. При выборе распыливающего устройства к нему предъявляют требования, которые можно разделить на две группы: конструкция устройства и характеристика распыла. Первая группа требований касается, прежде всего, способа распыливания и надежности работы. Это определяет выбор материала или ограничивает размер проходных отверстий, что очень важно при распыливании жидкостей и сред, содержащих механические включения.

Водораспределительные устройства градирен можно разделить на три основные группы: разбрызгивающие, без разбрызгивания и подвижные (рис. 4). Разбрызгивающие водораспределительные устройства, в свою очередь, подразделяются на безнапорные, представляющие собой системы открытых желобов и лотков, и напорные, выполняемые из закрытых желобов или труб с соплами или разбрызгивателями, к которым вода подводится с большим или меньшим напором.

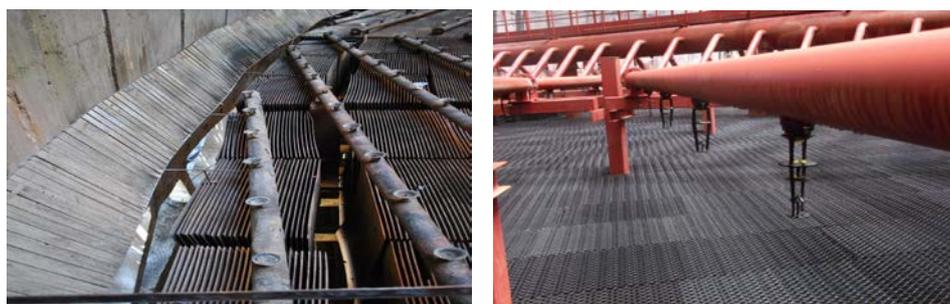


Рис. 4. Оросительное и водораспределительное устройства старой и новой конструкций

Fig. 4. Irrigation and water distribution device of the old and new designs

Современные водоразбрызгивающие сопла выполняются из пластмасс: полиэтилена, полистирола. Основные виды сопел, применяемых в градирнях, представлены на рис. 5.



Рис. 5. Сопла, применяемые в градирнях (по данным ЗАО СП «Бротеп-ЭКО»)

Fig. 5. Nozzles used in cooling towers (according CJSC JV "Brotep-EKO")

Исследовательские работы по водораспределительным системам градирен выполнялись АОА «НИИ ВОДГЕО» на протяжении более 30 лет. Эти работы обеспечили широкое внедрение пластмассовых сопел в типовых и индивидуальных проектах градирен с последующим их крупномасштабным строительством в СССР, СНГ и во многих других странах [10, 11].

При реконструкции градирни № 1 на Гомельской ТЭЦ-2 применены наиболее эффективные водоразбрызгивающие сопла типа «U» (рис. 6). Основные преимущества таких сопел:

- изготовлены из полипропилена, стабилизированного от влияния ультрафиолетового излучения, обладают высокой надежностью и долговечностью;
- имеют нижнее водораспределение, что исключает образование донных отложений в рабочих трубопроводах системы водораспределения, а также обеспечивают автоматический дренаж (опорожнение) рабочих трубопроводов, предотвращающий замерзание в зимних условиях;
- позволяют просто и быстро изменять диаметр выходного отверстия без замены сопел за счет смены сопловых вставок различного диаметра;
- обеспечивают эффективное и равномерное распыление воды.

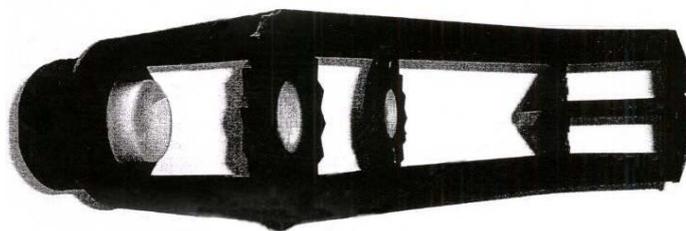


Рис. 6. Сопло типа «U»

Fig. 6. The nozzle of the "U" type

Использование низконапорных водоразбрызгивающих сопел с разбрызгиванием вниз позволяет при низких напорах воды перед ними обеспечить необходимую площадь орошения и эффективность разбрызгивания. Применение водоразбрызгивающих сопел с диаметрами выходного отверстия 20 и 22 мм (и другими) выравнивает аэродинамическое сопротивление между центральной и периферийной частями охлаждающего устройства.

Работа градирни с соплами старой (ударного типа с перфорированным чашечным отражателем из полиэтилена с разбрызгиванием вверх) и новой конструкций (низконапорные, эффективные, из полипропилена, с разбрызгиванием вниз) представлена на рис. 7.



Рис. 7. Работа градирни с соплами старой и новой конструкций

Fig. 7. Work of the cooling tower with the nozzles of the old and new designs

Необходимо отметить, что часто при выборе оросителей и сопел для модернизации или выполнения проекта нового строительства градирен не принимаются во внимание их физико-химические свойства, способы изготовления и практические результаты использования. Например, конструкции из ПВХ, кроме низкой механической прочности, являются благоприятной средой для роста водорослей. Разрушения данного типа оросителя зафиксированы в начальный период эксплуатации на ряде электростанций – Ново-Зиминской ТЭЦ, Каргалинской ТЭЦ, ТЭЦ «Байконурэнерго». Причем независимо от страны-изготовителя [12].

### **Система зимнего обогрева**

Основными особенностями работы градирен Гомельской ТЭЦ-2 в зимнее время являются:

- значительные изменения тепловых нагрузок на градирни (снижение нагрузок в ночное время и выходные дни с переходом работы блоков в режим теплового графика для соблюдения заданного диспетчерского графика выработки электрической мощности энергоблоками);
- в периферийной части градирен система водораспределения выполнена таким образом, что от крайних сопел капли воды попадают на внутреннюю поверхность оболочки, и вода по оболочке стекает вниз и попадает на опорную наклонную колоннаду вытяжной башни.

Снижение суммарной электрической нагрузки энергоблоков ТЭС или останов энергоблоков приводит к значительному уменьшению тепловых нагрузок на градирню. При отрицательных температурах наружного воздуха естественная тяга воздуха в градирне повышается, что приводит к снижению температуры охлажденной воды в градирне. При одновременном снижении температуры наружного воздуха и уменьшении тепловой нагрузки на градирню происходит более интенсивное снижение температуры охлажденной воды. Снижение температуры охлажденной воды в градирне приводит к обледенению градирни. Интенсивному обледенению наиболее подвержена периферийная часть градирни, кроме того, появляется опасность образования шуги в циркуляционной воде.

Наиболее эффективным методом предотвращения обледенения и регулирования температуры охлажденной воды после градирни является комбинированный метод – одновременное создание водяной завесы и установка на воздухоходных окнах градирни поворотных или съемных щитов. Поворотные щиты обеспечивают возможность в широком диапазоне регулировать расход воздуха, поступающего в градирню, и даже при малых тепловых нагрузках и низких температурах наружного воздуха поддерживать температуру охлажденной воды в требуемом диапазоне. Создание водяной завесы при комбинированном методе исключает обмерзание технологических и конструктивных элементов по периферии градирни от потоков холодного воздуха, который прорывается через зазоры в щитах.

Водяная завеса создает дополнительное сопротивление на входе воздуха в подоросительное пространство градирни, снижает тягу и уменьшает

расход воды через ороситель градирни примерно на 30 %. Это приводит к ухудшению охлаждающей способности градирни и повышению температуры охлажденной воды в градирне, что препятствует обмерзанию периферийной части градирни. Ориентировочное повышение температуры воды в градирне может составлять 3–4 °С.

При реконструкции градирни № 1 Гомельской ТЭЦ-2 произведена прокладка по периметру градирни на уровне верха входного окна трубопровода противообледенительной водяной завесы (рис. 8) диаметром 500 мм, пропускной способностью до 30 % от номинального расхода, равного 22000 м<sup>3</sup>/ч, с щелевыми отверстиями с определенным шагом. Из-за особенностей схемы подключения сливных трубопроводов после конденсаторов турбин к магистральным сливным циркуловодам (так как слив воды после конденсатора турбины № 1 осуществляется в сливной циркуловод № 1, а после конденсаторов турбин № 2 и 3 – в сливной циркуловод № 2) происходит неравномерное распределение расходов воды между градирнями, а также между половинами каждой из градирен.

Для уменьшения неравномерности распределения потоков воды между охладителями и сливными магистральными циркуловодами была установлена дополнительная перемычка Ду 1600 (рис. 9), так как проектная перемычка, установленная в конце временного торца машинного зала, не обеспечивала выравнивание расходов по циркуловодам.



Рис. 8. Противообледенительная завеса  
Fig. 8. The anti-icing veil



Рис. 9. Перемычка между циркуловодами  
Fig. 9. The jumper between circulating water pipelines

## ВЫВОДЫ

1. Модернизация оросительных и водораспределительных систем градирен с применением современных полимерных материалов является одним из самых эффективных способов улучшения работы систем технического водоснабжения тепловых электростанций и их технико-экономических показателей. Установка новой оросительной и водораспределительной системы позволит улучшить работоспособность, увеличить эффективность и срок эксплуатации градирни. При этом обеспечивается улучшение ее охлаждающей способности на 4,0–4,5 °С в сравнении с типовыми решениями.

2. Улучшение охлаждающей способности градирни достигается за счет применения высокоэффективного полипропиленового решетчатого оросителя типа NC20. Такой ороситель обеспечивает высокую охлаждающую способность градирни, его блоки имеют высокую объемную жесткость и устойчивы к воздействию внешних нагрузок на них (потоки воды, перемещение персонала при ремонте и обслуживании градирни и др.). Конструкция блоков оросителя обеспечивает их обработку, за счет чего достигнута плотная укладка оросителя по периферии градирни, а также около колонн и центрального стояка, что позитивно влияет на эффективность градирни.

3. Установка новой системы водораспределения обеспечит маневренность градирни с различными гидравлическими нагрузками. Применение низконапорных водоразбрызгивающих сопел с разбрызгиванием вниз позволит при низких напорах воды перед ними обеспечить необходимую площадь орошения и эффективность разбрызгивания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Калатузов, В. А. Влияние технического водоснабжения с градирнями на технико-экономические показатели тепловых электростанций / В. А. Калатузов // Энергосбережение и водоподготовка. 2009. № 6 (62). С. 12–16.
2. Калатузов, В. А. Основы технического перевооружения тепловых и атомных электростанций / В. А. Калатузов // Академия энергетики. 2009. № 4 (30). С. 92–95.
3. Мошкарин, А. В. Современные основы технического перевооружения систем технического водоснабжения тепловых электростанций / А. В. Мошкарин, В. А. Калатузов // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 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. 1 / Ю. А. Зенович-Лешкевич-Ольпинский, А. Ю. Наумов, А. Ю. Зенович-Лешкевич-Ольпинская // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2015. № 3. С. 76–84.
5. Доброго, К. В. Моделирование и оптимизация башенных испарительных градирен / К. В. Доброго, М. М. Хеммасиян Кашани // Энергетическая безопасность Союзного государства: сб. материалов секции, 6–11 окт. 2014 г. Минск: БНТУ, 2014. С. 10–14.
6. Доброго, К. В. Моделирование башенной испарительной градирни и влияние аэродинамических элементов на ее работу в условиях ветра / К. В. Доброго, М. М. Хеммасиян Кашани, Е. Е. Ласко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2014. № 6. С. 47–60.
7. Пономаренко, В. С. Градирни промышленных и энергетических предприятий / В. С. Пономаренко, Ю. И. Арефьев. М.: Энергоатомиздат, 1998. 376 с.
8. Кучеренко, Д. И. Обратное водоснабжение / Д. И. Кучеренко, В. А. Гладков. М.: Стройиздат, 1980. 168 с.
9. Методические указания по наладке систем технического водоснабжения тепловых электростанций: РД 34.22.401–95. М.: СПО ОРГРЭС, 1988. 56 с.
10. Лаптев, А. Г. Устройство и расчет промышленных градирен / А. Г. Лаптев, И. А. Вельгаева. Казань: КГЭУ, 2004. 180 с.
11. Технический отчет по работе «Испытания и наладка системы технического водоснабжения Гомельской ТЭЦ-2», № 6/63, ЗАО «Техэнерго». Львов, 2006.

12. Калатузов, В. А. Совершенствование систем технического водоснабжения с целью снижения ограничений мощности ТЭС / В. А. Калатузов // Промышленная энергетика. 2010. № 2. С. 2–9.

Поступила 02.11.2015 Подписана в печать 05.01.2016 Опубликована онлайн 03.06.2016

#### REFERENCES

1. Kalatuzov V. A. (2009) The Influence of Technical Water Supply with Cooling Towers on the Technical and Economic Indicators of Steam Power Plants. *Energoberezhniye i Vodopodgotovka* [Energy Saving and Water Treatment], 62 (6), 12–16 (in Russian).
2. Kalatuzov V. A. (2009) Fundamentals of Technical Re-Equipment of Steam and Nuclear Power Plants. *Akadimiya Energetiki* [Academy of Power Engineering], 30 (4), 92–95 (in Russian).
3. Moshkarin A. V., Kalatuzov V. A. (2008) Modern Fundamentals of Technical Re-Equipment of Technical Water Supply Systems of Steam Power Plants. *Vestnik IGEU* [Vestnik of Ivanovo State of Power Engineering University], (2), 1–5 (in Russian).
4. Zenovich-Leshkevich-Olpinskiy Yu. A., Naumov A. Yu., Zenovich-Leshkevich-Olpinskiy A. Yu. (2015) The Establishment and Efficiency of the Automatic System of Ball Cleaning of the 180-MCC-1 Condenser of the T-180/210-130-1 LMZ Turbine. Part 1. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Obedinenii SNG* [Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.], (3), 76–84 (in Russian).
5. Dobrego K. V., Hemmasian Kashani M. M. (2014) Simulation and Optimization of Chimney-Type Cooling Towers. *Energeticheskaya Bezopasnost' Soiuznogo Gosudarstva: Sbornik Materialov Sektsii, 6–11 okt. 2014 g.* [Power Engineering Security of the Union State: Proceedings of the Section, Oct. 6–11, 2014]. Minsk: BNTU, 10–14 (in Russian).
6. Dobrego K. V., Hemmasian Kashani M. M., Lasko Ye. Ye. (2014) Modeling of Chimney-Type Cooling Tower and the Influence of its Aerodynamic Elements on its Work Under the Influence of Wind. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Obedinenii SNG* [Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.], (6), 47–60 (in Russian).
7. Ponomarenko V. S., Arefiev Yu. I. (1998) *Cooling Towers of Industrial and Energy Enterprises*. Moscow, Energoatomizdat. 376 (in Russian).
8. Kucherenko D. I., Gladkov V. A. (1980) *Circulating Water Supply*. Moscow, Stroyizdat. 168 (in Russian).
9. Guidance Document 34.22.401–95 (1998). Methodical Instructions on Adjustment of Systems of Technical Water Supply of Steam Power Plants. Moscow: SPO ORGRES. 56 (in Russian).
10. Laptev A. G., Vedgaeyeva I. A. (2004) *Design and Calculation of Industrial Cooling Towers*. Kazan: KSPU. 180 (in Russian).
11. Technical report for the Work “Testing and Debugging of System of Technical Water Supply of Gomel CHP-2”, № 6/63 (2006). Lvov, “Tehenergo” CJSC (in Russian, Unpublished).
12. Kalatuzov V. A. (2010) Improvement of Systems of Technical Water Supply to Reduce Power Limits of Steam Power Plants. *Promyshlennaya Energetika* [Industrial Power Engineering], (2), 2–9 (in Russian).

Received: 02.11.2015

Accepted: 05.01.2016

Published online: 03.06.2016