

УДК 658.265

<https://doi.org/10.62595/1819-5245-2024-4-70-77>

## МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ БАШЕННЫХ ГРАДИРЕН

**Н. В. ШИРОГЛАЗОВА**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого»,  
Республики Беларусь*

*Описаны причины снижения эффективности работы башенных градирен. Проведен анализ этапов их реконструкции. Выполнено сравнение эффективности работы градирен с разными типами оросителей и разбрызгивающих форсунок башенных градирен.*

**Ключевые слова:** градирни, охлаждение, ороситель, форсунки, завеса, эффективность.

**Для цитирования.** Широглазова, Н. В. Методы повышения эффективности работы башенных градирен / Н. В. Широглазова // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2024. – № 4 (99). – С. 70–77. <https://doi.org/10.62595/1819-5245-2024-4-70-77>

## METHODS OF INCREASING THE EFFICIENCY OF COOLING TOWERS

**N. V. SHIROGLAZOVA**

*Sukhoi State Technical University of Gomel,  
the Republic of Belarus*

*The reasons for the decrease in the efficiency of cooling towers are described. The stages of their reconstruction are analyzed. The efficiency of cooling towers with different types of sprinklers and spray nozzles of cooling towers is compared.*

**Keywords:** cooling towers, cooling, sprinkler, nozzles, curtain, efficiency.

**For citation.** Shiroglazova N. V. Methods of increasing the efficiency of cooling towers. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni P. O. Sukhogo*, 2024, no. 4 (99), pp. 70–77 (in Russian). <https://doi.org/10.62595/1819-5245-2024-4-70-77>

### Введение

На территории Республики Беларусь много тепловых станций работает на оборудовании, выпущенном 15 и более лет назад. За длительный период эксплуатации оно подверглось как физическому, так и моральному износу и нуждается в модернизации или замене на новое. Это относится и к башенным градирням.

Существует ряд проблем при эксплуатации старых градирен.

Большинство градирен того периода были укомплектованы оросителями блочной конструкции из асбестоцементных листов. Вечных материалов не существует, а в то время еще не было освоено массовое применение долговечных полимеров. Недостатком асбестоцементных оросителей является разрушение листов при перепадах температур, обмерзании, нарушении конструкции блоков из-за коррозии стяжек, а также канцерогенные свойства асбестоцемента. Даже при ежегодном обслуживании и профилактике оросители из асбестоцементных листов выработали свой ресурс 10–15 лет назад.

При изготовлении водораспределительной системы чаще всего использовали металл, что обусловлено дешевизной и легкостью его монтажа. Использование металла приводит к коррозии, повышению сопротивления и повреждению труб, а это влечет

за собой неравномерность распыла воды по рабочей поверхности и уменьшение теплосъема.

Постоянной проблемой при эксплуатации старых градирен является и обмерзание конструкций при низких температурах.

Для решения перечисленных проблем при реконструкции башенных градирен необходим комплексный подход [1]: реконструкция водораспределительной системы, замена оросительного устройства, монтаж системы зимнего обогрева.

Модернизация градирни обеспечит снижение удельного расхода топлива на выработку электроэнергии, повысит надежность оборудования ТЭЦ.

Цель данной работы – рассмотрение методов повышения эффективности работы башенных градирен и сравнение охлаждающей способности градирни при установке разных типов оросителей.

### **Основная часть**

Башенные градирни – наиболее распространенные гидроохладители, позволяющие размещать электрические станции на значительном расстоянии от источников воды, на территории городов, вблизи от энергопотребителей.

От совершенства градирен зависит эффективность работы станции: чем ниже температура охлаждающей воды, тем меньше расход топлива.

В Республике Беларусь находится много станций с большим сроком эксплуатации, поэтому требуется их модернизация.

Можно еще раз подчеркнуть, что при реконструкции башенных градирен нужен комплексный подход [1], включающий в себя:

- реконструкцию водораспределительной системы;
- замену оросительного устройства;
- монтаж системы зимнего обогрева.

В градирне происходит охлаждение циркуляционной воды. Горячая вода разбрызгивается над оросителем, обладающим большой площадью поверхности и, стекая по нему, отдает теплоту в воздушный поток. При этом происходит 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 турбин [2].

Наиболее важный узел градирни – блоки оросителя (насадки, наполнитель). Площадь контакта фаз «вода – воздух» оросителя наряду с аэродинамическими свойствами определяют эффективность охлаждения в градирни, т. е. влияют на выбор необходимого размера новой градирни или оценку возможностей теплосъема существующей градирни. Оросители градирни отвечают за охлаждение воды, в них происходит до 90 % всего теплосъема и охлаждения технологической воды. От эффективности и надежности работы оросителей зависит эффективность и надежность работы всего оборудования предприятия. Основное назначение оросителя – создание развернутой поверхности воды и условий для беспрепятственной подачи воздуха к этой поверхности [2].

Основные характеристики оросителей зависят от материала изготовления, конструкции сборочных элементов и блоков оросителя, способа их укладки.

В последнее время наибольшее распространение получили оросители, изготовленные из искусственных материалов (полиэтилена, полипропилена, поливинилхлорида и др.). Полимерные оросители помимо высокой эффективности охлаждения отличаются простотой установки, также они долговечны и надежны в эксплуатации и значительно легче (более чем в десять раз по сравнению с асбестоцементными).

Различают три вида оросителей в зависимости от способа охлаждения воды:

– капельные – охлаждение происходит при контакте воздуха с каплями воды;  
 – пленочные – охлаждение осуществляется в процессе взаимодействия воздуха с водяной пленкой, образующейся на элементах при обтекании их падающей сверху водой;

– капельно-пленочные – охлаждение происходит в результате контакта воздуха с водяной пленкой, крупными и мелкими каплями.

Капельно-пленочный ороситель сочетает в себе низкий коэффициент аэродинамического сопротивления и высокую охлаждающую способность. Он допускает большую неравномерность распределения воды по верхней поверхности оросителя, которая присутствует в реальных условиях эксплуатации оборудования.

По экономическим, тепловым и аэродинамическим показателям максимальный эффект достигается в капельно-пленочных оросителях, имеющих решетчатую структуру.

Для равномерного распределения потока воздуха по площади градирни высота укладки блоков оросителя увеличивается от центра к периферии [4], т. е. при модернизации градирни оросители укладываются ступенчато (рис. 1).

При реконструкции градирен сейчас используют именно этот метод укладки.

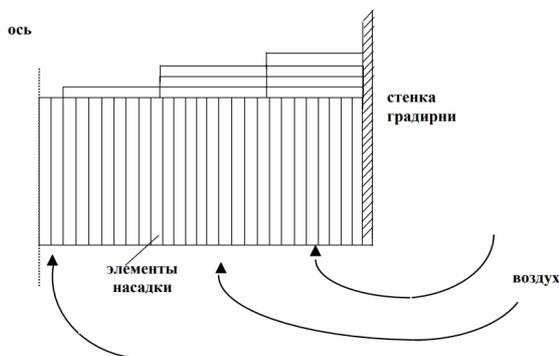


Рис. 1. Ступенчатая укладка блоков оросителя

Одним из условий эффективной и надежной работы градирни является равномерное распределение воды по площади оросителей.

Распыливающие устройства должны обеспечивать качественный распыл и быть механически прочными и химически стойкими.

До недавнего времени в градирнях использовали чашечные форсунки (рис. 2, а).

Наиболее эффективными на сегодняшний день считаются форсунки каскадного ударного типа (рис. 2, б).



Рис. 2. Распыливающая форсунка:  
 а – чашечная; б – каскадного ударного типа

К преимуществам форсунок каскадного ударного типа относится следующее:

1. Конструкция сопла исключает его засорение примесями оборотной воды.
2. Материал сопла устойчив к воздействию агрессивных сред.
3. Наличие 3-х или 5-ти каскадов позволяет распределять воду в широком диапазоне давлений и производительности.
4. Облегченная конструкция сопла уменьшает нагрузку на водораспределительную систему.
5. Изготовлены из полипропилена, стабилизированного от влияния ультрафиолетового излучения, обладают высокой надежностью и долговечностью.
6. 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.
7. Позволяют просто и быстро изменять диаметр выходного отверстия без замены сопел за счет смены сопловых вставок различного диаметра.
8. Осуществляют эффективное и равномерное распыление воды.

Одним из методов повышения эффективности промышленных современных градирен является применение разбрызгивающих напорных водораспределительных устройств с направлением водораспределительных сопел вниз (рис. 3), что позволяет металлу меньше корродировать и подавать воду с меньшим напором в целях экономии энергии, а также предотвращает засорение трубопроводов.

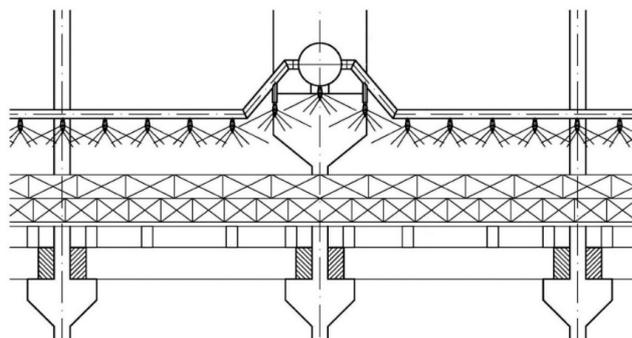


Рис. 3. Вид установки низконапорных разбрызгивающих сопел нижней установки

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 способствует снижению температуры охлажденной воды в градирне. При одновременном понижении температуры наружного воздуха и сокращении тепловой нагрузки на градирню происходит более интенсивное уменьшение температуры охлажденной воды, что, в свою очередь, ведет к обледенению градирни. Отметим, что интенсивному обледенению наиболее подвержена периферийная часть градирни.

Эффективным методом предотвращения обледенения и регулирования температуры охлажденной воды после градирни является одновременное создание водяной завесы и установка на воздухоподводящих окнах градирни поворотных или съемных щитов. Поворотные щиты вертикальной конструкции обеспечивают легкое управление и большую плотность. Создание водяной завесы исключает обмерзание технологических и конструктивных элементов по периферии градирни от потоков холодного воздуха, который прорывается через зазоры в щитах.

Для сравнения эффективности работы градирен с разными оросителями взяли нормативные характеристики градирен с асбоцементным оросителем и с полипропиленовым оросителем [5], [6].

С целью решения поставленной задачи была разработана программа расчета температуры охлажденной воды после градирни.

Программа построена по графикам нормативных характеристик градирен с асбоцементным и полимерным оросителями. Ее можно использовать для оценки эффективности применяемого при реконструкции градирен оросителя, а также оценки охлаждающей способности для конкретной башенной градирни  $F_{op} = 3200 \text{ м}^2$ . Для других типоразмеров градирен следует применять соответствующие характеристики градирни. Необходимые уточнения не потребуют изменения структуры программы и могут быть легко внесены в программный код.

Нормативные графики выражают зависимость температуры охлажденной воды на выходе из градирни от удельной тепловой нагрузки градирни с учетом температуры воздуха по «сухому» термометру и относительной влажности воздуха [6]. На рис. 4 показан нормативный график для башенной градирни площадью орошения  $3200 \text{ м}^2$  с асбоцементным оросителем, на рис. 5 – с полимерным оросителем.

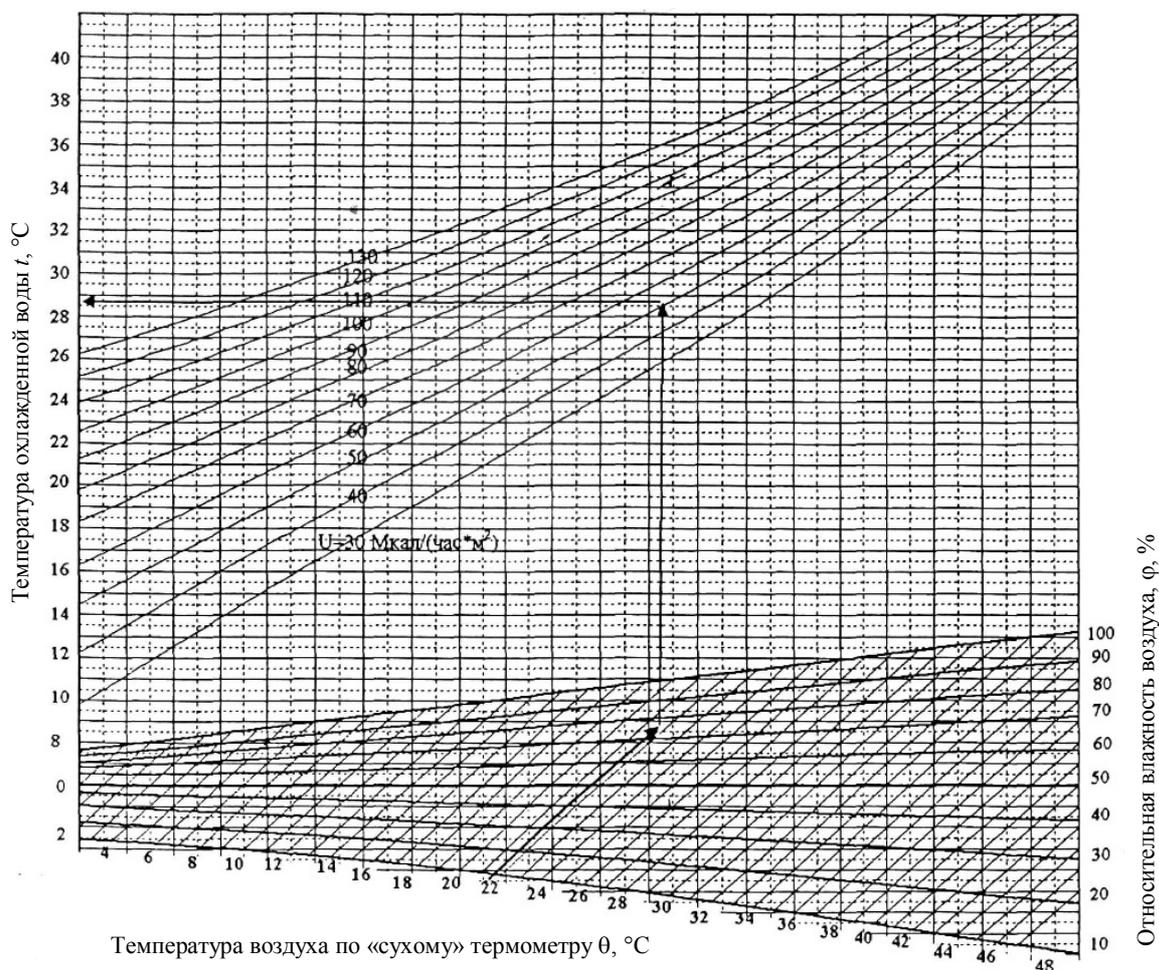


Рис. 4. Нормативная характеристика башенной градирни (асбоцементный ороситель)  $F_{op} = 3200 \text{ м}^2$

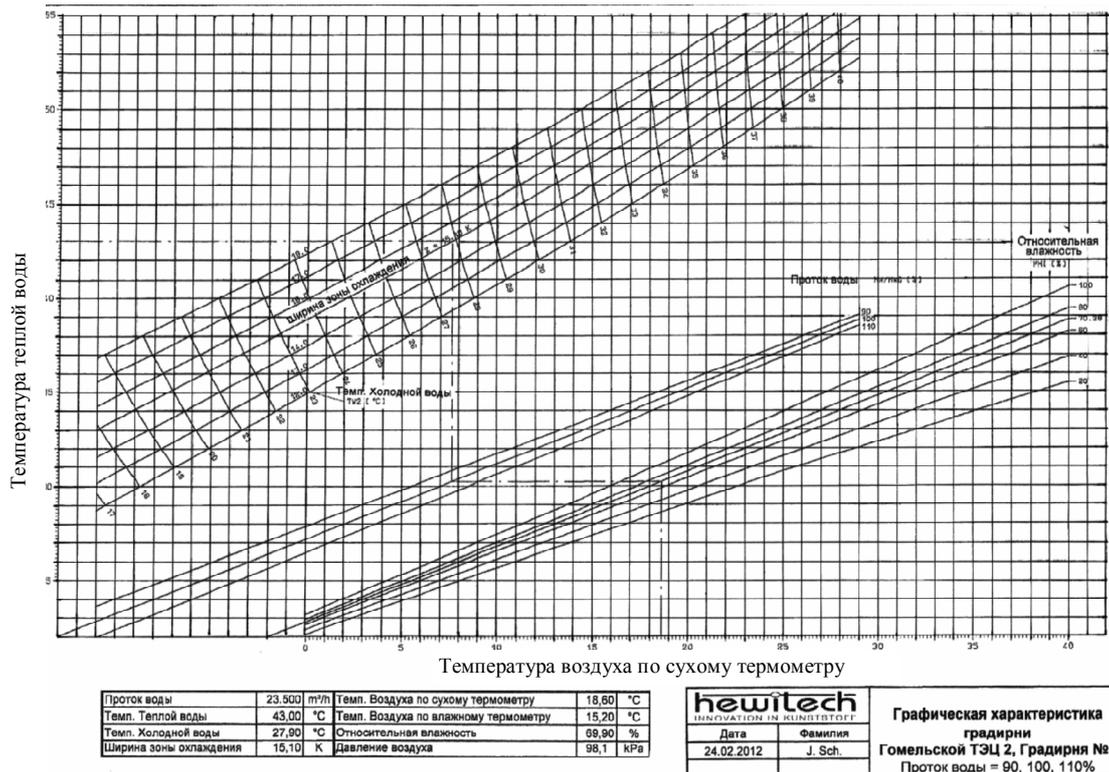


Рис. 5. Нормативная характеристика башенной градирни  $F_{op} = 3200 \text{ м}^2$  (полипропиленовый сетчатый ороситель)

На основе данных, взятых с графиков нормативных характеристик градирен, были определены эмпирические зависимости, описывающие характеристики с минимальной погрешностью.

Расчет зависимостей выполнялся с использованием программы анализа и визуализации научных и статистических данных.

Пример исходных данных и расчета охлаждения воды в градирне с разными типами оросителей при одинаковых тепловой нагрузке и метеоусловиях представлены на рис. 6.

Градирня3200 [Режим совместимости] - Excel				
№	Параметр	Единица	асбоцемент	полипропилен
2	Тип оросителя		асбоцемент	полипропилен
3	Темп воздуха по сухому термометру, С	tнв	18.6	18.6
4	Темп воздуха по влажному термометру, С			15.2
5	Относительная влажность, %	W	70	70
6	Скорость ветра, м/с		2.5	2.5
8	Перепад температуры воды, С	dt	15.1	15.1
9	Расход охлаждающей воды, м3/ч	Гцв	23500	23500
10	Относительный расход воды, %	Grp отн, %	100%	100%
11	Плотность орошения, м3/(м2*ч)		7.34	7.34
12	Удельная тепловая нагрузка, Мкал/(ч*м2)	Qrp уд	110.89	110.89
13		t2rp	32.64	
14	поправка "а" (dT)		-0.68	
15	поправка "б" (ветер)		0.03	dT 0.03
16	Температура воды на выходе, С	t2rp	31.98	4.12 27.86
17	Температура воды на входе, С	t1rp	47.08	42.96
19	проверка	dt	15.10	15.10

Рис. 6. Фрагмент расчетов

Результаты расчетов приведены в таблице и в виде графиков (рис. 7). Сравнительные расчеты охлаждающего эффекта градирни с разными типами оросителей при одинаковых тепловых нагрузках показали, что полимерный ороситель является более эффективным относительно асбоцементного и эффективность оросителя увеличивается при повышении нагрузки на градирню.

### Сравнение показателей работы градирни с разными типами оросителей

Наименование параметра	Градирня с полимерным оросителем				Градирня с асбоцементным оросителем			
	9	11	13	15	9	11	13	15
1. Перепад температур воды в градирне $\Delta t$ , °C	9	11	13	15	9	11	13	15
2. Температура воздуха по «сухому» термометру $\theta_{\text{сух}}$ , °C	18,6							
3. Относительная влажность воздуха $\phi$ , %	60							
4. Расход воды на градирню $W$ , м <sup>3</sup> /ч	23500							
5. Расчетная температура охлажденной воды в градирне, °C	24,2	24,9	25,4	25,8	26,2	27,6	28,8	29,9

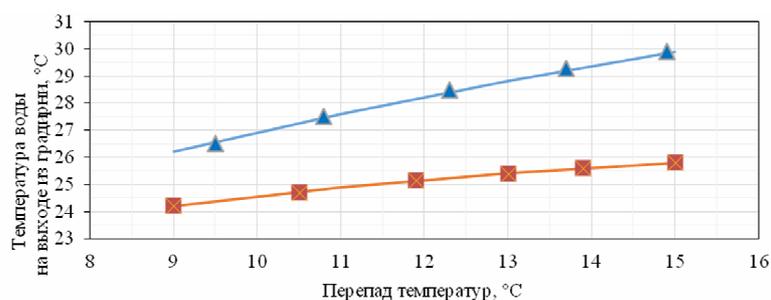


Рис. 7. Температуры охлажденной воды на выходе из градирни:

- ▲ — с асбоцементным оросителем;
- — с полимерным оросителем

В результате расчетов определено (рис. 7), что при установке полимерного оросителя градирня стала работать эффективнее во всем диапазоне нагрузок. При разных температурных напорах во всем диапазоне температура воды на выходе из градирни более низкая (2–4 °C), чем до замены оросителя.

### Заключение

От совершенства градирен зависит эффективность работы станции. Градирня – дорогостоящий элемент системы оборотного водоснабжения любой тепловой электростанции. Их модернизация должна быть выполнена с максимальной степенью эффективности при минимальных затратах.

Для повышения эффективности работы башенных градирен целесообразно проведение следующих мероприятий:

1. Использование капельно-пленочные оросителей, имеющих решетчатую структуру, изготавливаемых из полипропилена.
2. Применение ступенчатого метода укладки при монтаже блоков оросителей для равномерного распределения потока воздуха.
3. Установка разбрызгивающих форсунок каскадного ударного типа с направлением водораспределительных сопел вниз.

4. Применение одновременно водяной завесы и поворотных или съемных щитов на воздухоподводящих окнах градирни для предотвращения обледенения и регулирования температуры охлажденной воды после градирни.

Таким образом, рассмотренные методы повышения эффективности работы башенных градирен были использованы при реконструкции двух градирен на Гомельской ТЭЦ-2. Применение новых оросительной и водораспределительной систем градирен позволило увеличить охлаждающую эффективность более чем на 4 °С и соответственно получить экономию топлива за счет улучшения вакуума в конденсаторах турбин.

### Литература

1. Зенович-Лешкевич-Ольпинский, Ю. А. Совершенствование систем технического водоснабжения с градирнями с целью улучшения технико-экономических показателей тепловых электростанций. Ч. 1 / Ю. А. Зенович-Лешкевич-Ольпинский, Н. В. Широглазова, А. Ю. Зенович-Лешкевич-Ольпинская // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2016. – Т. 59, № 3. – С. 235–248.
2. Берман, Л. Д. Испарительное охлаждение циркуляционной воды / Л. Д. Берман. – М. : Госэнергоиздат, 1957. – 318 с.
3. Лаптев, А. Г. Устройство и расчет промышленных градирен / А. Г. Лаптев, И. А. Ведьгаева. – Казань : КГЭУ, 2004. – 180 с.
4. 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.
5. Методика построения нормативных характеристик градирен испарительного типа : СО 34.22.302–2005. – М. : СПО ОРГРЭС, 2005. – 15 с.
6. Методика построения нормативных характеристик градирен испарительного типа : СО 34.22.302–2005. – М. : СПО ОРГРЭС, 2005. – 15 с.

### References

1. Zenovich-Leshkevich-Olpinskiy Yu. A., Shiroglazova N. V., Zenovich-Leshkevich-Olpinskaya A. Yu. Improvement of technical water supply systems with cooling towers to improve technical and economic performance of thermal power plants. Part 1. *Jenergetika. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij i jenergeticheskikh ob#edinenij SNG*, 2016, vol. 59, no. 3, pp. 235–248 (in Russian).
2. Berman L. D. Evaporative cooling of circulation water. Moscow, Gosenergoizdat, 1957. 318 p. (in Russian).
3. Laptev A. G. Design and calculation of industrial cooling towers. Kazan', Kazanskij gosudarstvennyj jenergeticheskij universitet, 2004. 180 p. (in Russian).
4. Kravchenko V. P., Morozov E. N., Galatsan M. P. Comparison of the cooling capacity of asbestos-cement and mesh sprinklers for cooling towers. *Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy = Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2011, vol. 2, no. 8 (50), pp. 13–16 (in Russian).
5. СО 34.22.302–2005. *The procedure for constructing the normative characteristics of evaporative cooling towers*. Moscow, SPO ORGRJeS, 2005. 15 p. (in Russian).

Поступила 14.11.2023