

**МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ
МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ, ВЕЩЕСТВ И ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ
METHODS AND DEVICES FOR MONITORING AND DIAGNOSTICS
OF MATERIALS, PRODUCTS, SUBSTANCES AND THE NATURAL
ENVIRONMENT**

Научная статья

УДК 66.045.53

DOI: 10.26730/1999-4125-2023-6-21-30

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГРАДИРЕН ТЭЦ

**Темникова Елена Юрьевна, Богомолов Александр Романович,
Тараймович Владимир Андреевич, Чергинец Ольга Александровна**

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

*для корреспонденции: teu.pmahp@kuzstu.ru



Информация о статье

Поступила:

29 ноября 2023 г.

Одобрена после

рецензирования:

10 декабря 2023 г.

Принята к публикации:

12 декабря 2023 г.

Опубликована:

21 декабря 2023 г.

Ключевые слова:

градирня, охлаждаемая вода
водооборотного цикла,
испарительное охлаждение,
эффективность градирни

Аннотация.

Водооборотные охлаждающие системы, включающие градирни, являются одними из важных составляющих рационального водопользования станций, так как эффективность испарительных градирен, в особенности в период высоких температур атмосферного воздуха, имеет огромное влияние на возможность станции работать с установленной мощностью без ограничений, на рациональное использование топливных и водных ресурсов, на количество выбросов вредных веществ в атмосферу и т.д. Цель работы – опытное изучение работы двух башенных градирен ТЭЦ, имеющих различные оросители, каплеуловители, площадь входных окон для воздуха при всех равных остальных параметрах и определение их эффективности по глубине охлаждения расхода единицы объема в единицу времени. Разработана методика проведения исследований и измерений, использованы измерительные приборы и проведены натурные испытания эффективности работы градирен в летний период. На основе измеренных расходных, температурных параметров воды и воздуха, а также его влажностных характеристик, рассчитаны величины гидравлической нагрузки, удельного расхода воздуха, тепловой мощности массообменного процесса испарительного охлаждения, количество испаренной воды и др. показано, что тепловая мощность (охлаждение количества воды на градус) градирни № 6 выше, чем № 4. При этом температурный перепад воды Δt был больше у градирни № 4. На градирню № 6 приходится бóльшая гидравлическая нагрузка на единицу расхода воздуха. Тепло- и массообменный процесс в градирне № 6 осуществляется эффективнее. Количество испаренной воды, рассчитанное двумя методами – по изменению параметров воздуха в испарительном процессе и по прямому тепловому балансу изменения температуры воды – практически совпадают. Метод сравнения показал, что количество испарившейся воды в градирне № 6 больше, чем в градирне № 4. Тепловой КПД по методике предельного охлаждения воды, основанной на достижении теоретической температуры

воздуха мокрого термометра, получен выше для градирни № 4 (методика Бермана и др.). Другая методика, отражающая наиболее характерную оценку эффективности работы испарительной градирни, основанная на коэффициенте тепловой эффективности по изменению энтальпии или по влагосодержанию воздуха, показала, что процесс в градирне № 6 происходит более эффективно, что согласуется с количеством испаренной воды и тепловой мощностью испарительной установки.

Для цитирования: Темникова Е.Ю., Богомолов А.Р., Тараймович В.А., Чергинцев О.А. Оценка эффективности работы градирен ТЭЦ // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 6 (160). С. 21-30. DOI: 10.26730/1999-4125-2023-6-21-30, EDN: ANMQSA

Рациональное использование в различных производственных процессах охлаждающей воды, в особенности на теплоэлектростанциях, в частности ТЭЦ, в некоторых случаях значительно определяет технико-экономические показатели ее работы. Затраты, связанные с водопользованием, вносят существенный вклад в экономические показатели работы станций при сравнении с затратами на топливные ресурсы. Из общего теплового баланса теплоэлектростанции количество теплоты, отдаваемой и рассеиваемой в атмосферу градирнями или сбрасываемой в природные источники воды, составляет 50-60% [1].

От конструктивного исполнения испарительных градирен, оказывающих существенное влияние на тепломассообмен при испарении воды, зависит не только работа станции с установленной мощностью без ограничений, но и рациональное использование топливных и водных ресурсов. Снижение или увеличение выбросов вредных веществ в атмосферу тоже связано с эффективностью проведения массообменных процессов и охладительным эффектом в градирне. Чем эффективнее работают градирни, тем меньше расход топлива на выработку тепла и электроэнергии и, соответственно, выбросы CO_2 , NO_x , SO_2 [2].

Например, при всех прочих равных условиях снижение температуры воды в градирнях всего на $^{\circ}\text{C}$ позволяет снизить расход условного топлива до 2,0 г/кВт·ч [1].

Повышение температуры воды – охлаждающего агента, используемого для конденсации водяного пара после последней ступени турбин ТЭС – на 1°C приводит к снижению мощности турбин на 0,4% (перерасходу пара на 0,5%) [3]. Т.е. системы технического водоснабжения должны бесперебойно обеспечивать теплообменники турбоагрегатов необходимым количеством охлаждающей воды, имеющей такую температуру, чтобы поддерживать экономически выгодные значения вакуума в конденсаторах турбин [4], что в дальнейшем влияет на эффективность станции [5], что в свою очередь ведет к необходимости устойчивого охлаждения воды при высоких удельных гидравлических и тепловых нагрузках в градирнях, где поверхность воды, требуемая для ее охлаждения путем контакта с воздухом, создается на оросителях градирни в результате разбрызгивания воды соплами или с помощью оросительных устройств, которые могут быть капельными, пленочными и комбинированными. Отходящая из градирни вода может быть вновь использована для охлаждения технологических потоков. Включение больших объемов воды в водооборотные циклы для охлаждения позволяет значительно снизить потребность в свежей воде, которая в данном случае направляется лишь для подпитки соответствующего водооборотного цикла. Кроме этого, использование градирен в сочетании с фильтрами позволяет обеспечить использование воды в замкнутом технологическом цикле, что существенно улучшает экологическую обстановку в регионе, где расположено предприятие [6, 7].

Относительная доля охлаждающей воды в конденсаторах турбин в общем балансе водопотребления ТЭС составляет 85-95%. Снижение давления в конденсаторе имеет определенный оптимум, исходя из технико-экономических факторов. С точки зрения водоснабжения ТЭС к таким факторам в первую очередь относятся температура и расход охлаждающей воды, затраты энергии на ее транспортирование и др. [6].

При разработке конструкций новых градирен, модернизации существующих необходимо, во-первых, обеспечить охлаждение заданных объемов воды до требуемых температур, особенно при работе градирен в теплое время года [8], т.к. эффективность градирен в летнее время ниже [9] ввиду высоких температур атмосферного воздуха. В теплое время года за счет

испарения передается более 90 % теплоты, т.о., охлаждение осуществляется в результате теплообмена [10].

Натурные исследования, проведение балансовых испытаний позволяют получить сведения для технико-экономических расчетов и выбора экономически выгодного варианта инвестиционных затрат и технического перевооружения [11].

Цель работы – опытное изучение работы градирен, имеющих различный тип (конструкцию) оросителей, № 4 и № 6, расположенных на одной из кузбасских ТЭЦ, и определение их эффективности по глубине охлаждения единицы объема в единицу времени. Задачи исследования: проведение измерений параметров воздуха и циркуляционной воды до и после градирни; расчет характеристик градирен: гидравлической нагрузки, расхода воздуха, тепловой мощности, количества испаренной воды и др.; анализ полученных результатов.

Градирни № 4 и 6 кузбасской ТЭЦ – это башенные градирни с естественной циркуляцией открытого типа с противоточным движением потока воздуха и воды. Площадь орошения градирен 1610 и 1600 м², высота вытяжной башни 53,6 и 54 м, высота воздухоходных окон 3,3 и 5 м, гидравлическая нагрузка 10000 и 12400 м³/ч, перепад температур 8-10°С, диаметр напорных водоводов 1200 и 1000 мм соответственно.

На градирне № 4 стоят оросители высотой 1,5 м и каплеуловители фирмы ООО «Полимерхолодтехника». Каждый ярус оросителя состоит из 21 наклоненной трубы. Оросители и каплеуловители изготовлены из одного материала – полиэтилена низкого давления. Каплеуловители расположены в один сетчатый слой, что приводит к уменьшению аэродинамического сопротивления.

На градирне № 6 стоят оросители высотой 0,4 м и каплеуловители фирмы ООО НПО «Формопласт». Сборные элементы оросителя имеют развитую ячеистую структуру 50×50 мм из гофрированных листов усиленного профиля с синусоидной теплообменной поверхностью, что позволяет достигать высокого уровня тепломассообмена. Оросители изготавливаются из материала полиамид ПА6-210-311, который имеет высокий уровень водопоглощения и низкую стойкость к солнечной радиации, не является долговечным материалом. Сборные блоки каплеуловителя имеют эффективный угол отражающих ребренных поверхностей, что существенно снижает аэродинамическое сопротивление и обеспечивает каплеулавливание не менее 99,92 %.

Для измерений параметров была разработана методика и подобраны соответствующие приборы. Измерения проводились следующим образом.

Сначала с помощью термоанемометра определяли параметры атмосферного воздуха, такие как температура, относительная влажность, температура мокрого термометра, затем по направлению ветра на высоте 2 метра измерялись направление и скорость атмосферного воздуха.

Для определения расхода воздуха, проходящего через градирню, измеряем скорости в воздухоходных окнах. Для этого делим градирню на четыре части по отношению к направлению ветра, в каждом пролете выбираем одну ветровую перегородку и проводим пять измерений скорости воздуха в сечении перегородки по вертикали для получения усредненного значения. Расход воздуха на градирню рассчитываем через среднюю скорость воздуха и площадь открытых перегородок.

После этого пирометром проводят измерения температур поступающей воды в градирню с дренажа или штуцера напора градирни и охлажденной воды путем испарения, выходящей из градирни непосредственно в самом бассейне градирни.

Также осуществляется измерение потерь циркуляционной воды. Часть циркуляционной воды из турбинного цеха уходит в химический и котельный цех. В химический цех вода приходит через насос сырой воды № 12, а в котельный – через смывной насос (СМН) № 11 и насос орошения скрубберов (НОС) № 4. В химическом цехе стоят расходомеры, измеряющие количество поступающей воды из турбинного цеха, по ним определяется расход циркуляционной воды на химический цех. Для определения расхода на котельный цех учитывают расход СМН и НОС.

Таблица 1. Данные измеренных параметров и расчетов

Table 1. Data of measured parameters and calculations

Наименование	Испытание № 1		Испытание № 2		Испытание № 3	
	Градирня					
	№ 4	№ 6	№ 4	№ 6	№ 4	№ 6
Температура атмосферного воздуха t , °С	22,5		30		38	
Относительная влажность атмосферного воздуха φ , %	21		18		28	
Температура атмосферного воздуха по мокрому термометру t_m , °С	14		18,5		24	
Скорость ветра на высоте 2 м, м/с	5		3		3	
Температура поступающей воды на градирню t_1 , °С	40	40	33	30	38	38
Температура охлажденной воды t_2 , °С	24	26	25	25	30	32
Разница температур воды на входе и выходе Δt , °С	16	14	8	5	8	6
Расход воздуха на градирню V_a , тыс. м ³ /ч	4 129,2	4 284	3 200	3 600	3 400	4 050
Гидравлическая нагрузка градирни V_w , м ³ /ч	5100	7100	6200	12000	8000	12000
Плотность орошения, м ³ /(м ² ·ч)	3,1	4,4	3,9	7,5	5	7,5
Температура воздуха над каплеуловителями t_k , °С	-	-	27	28,7	33	35
Относительная влажность воздуха над каплеуловителями φ_k , %	-	-	79	83,5	63,5	78,5

Для нахождения гидравлической нагрузки градирни принимаем расход рабочих насосов в турбинном цехе. Для этого потребуется зафиксировать мощность насоса, давление, создаваемое насосом, и КПД.

Проводилось три испытания № 1-3 в конце мая и начале июня 2023 г.

Испытание № 1 проводилось 28.05.2023 г. в период с 8.00 до 18.00. В испытании № 1 не были проведены измерения параметров воздуха над каплеуловителями в градирнях.

Испытание № 2 проводилось 01.06.2023 г. в период с 13.30 до 15.00. Работали три градирни № 4, 5, 6. В этот день вода также циркулировала через конденсатор не работающего турбоагрегата, т.е. теплообменный процесс в конденсаторе не осуществлялся, поэтому температура воды, поступающей на градирню № 6 была ниже, чем на градирню № 4. Испытание № 3 проводилось 05.06.2023 г. с 13.30 до 15.00.

В испытаниях № 2 и 3 были проведены измерения температуры и влажности над каплеуловителями, из Рис. 1 показана интенсивность туманообразования.

В Таблице 1 представлены данные измерений и расчета для градирен № 4 и 6 трех испытаний № 1-3.

В Таблице 1 представлены величины гидравлической нагрузки градирен и подпитки. Гидравлическая нагрузка рассчитывалась по показаниям расходомеров на подающих линиях градирни № 6, расходам насоса и потерям в котельном и химическом цехах.

Расчет тепловой мощности градирен Q , кВт, осуществлялся по уравнению:

$$Q = Gc\Delta t,$$

где $G = V\rho$ – массовый расход воды, проходящей через градирню, кг/с; c – теплоемкость воды, кДж/(кг·К); Δt – изменение температуры при охлаждении воды в градирне, °С.

Количество испаренной воды и воспринятой воздухом в градирне определим двумя методами: первым – на основе измеренных начальных и конечных параметров воздуха, при этом конечные параметры измерялись над каплеуловителями в градирне (практически на выходе из градирни); вторым – по тепловому балансу.

По первому методу количество поглощенной влаги W , м³/ч, воздухом путем испарения рассчитываем на основе измеренных начальных и конечных параметров воздуха (Таблица 2) по уравнению

$$W = 3,6G(x_2 - x_1),$$

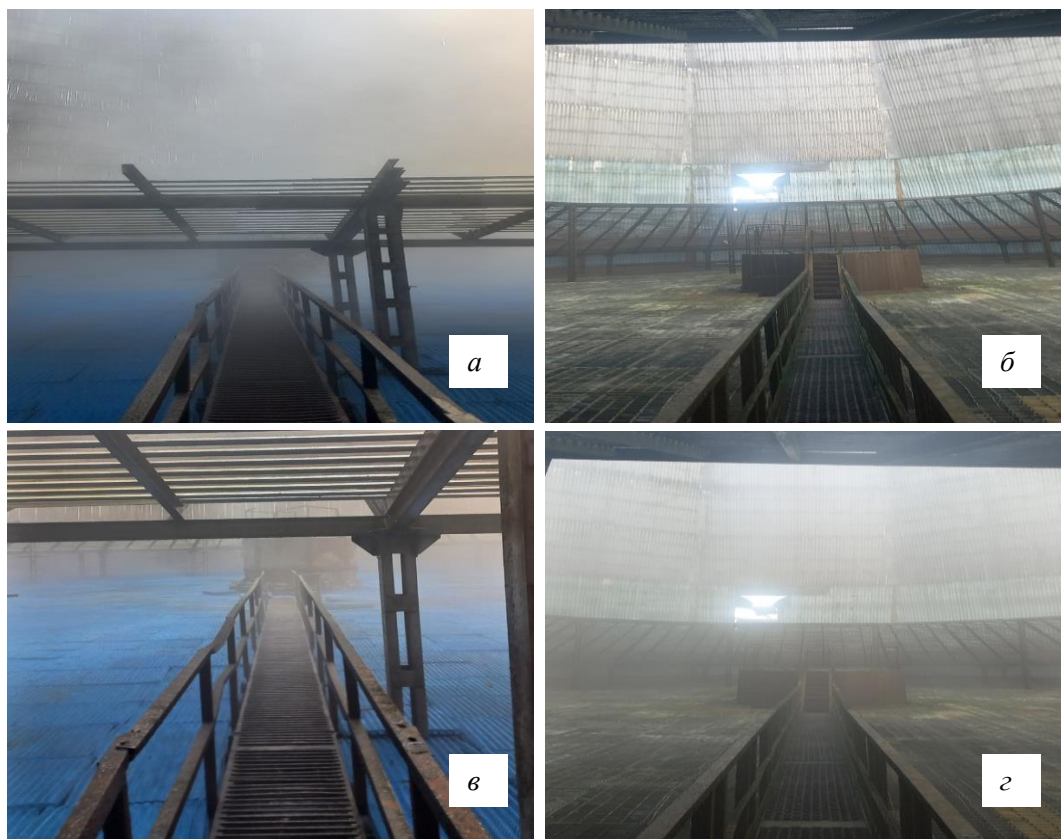


Рис. 1. Фотография площадки над каплеуловителями градирни № 4 (а, в) и № 6 (б, г) для испытаний № 2 (а, б) и № 3 (в, г)

Fig. 1. Photo of the platform above the drop traps of cooling towers No. 4 (a, b) and No. 6 (b, d) for tests No. 2 (a, b) and No. 3 (c, d)

где $G = V\rho$ – расход воздуха на градирню, кг/с; x_1, x_2 – влагосодержание воздуха перед входом в градирню и над каплеуловителями градирни (на выходе) определяется с помощью диаграммы Рамзина [12] и справочных таблиц влажного воздуха [13], кг *влаги*/кг *сухого воздуха*, соответственно.

Во втором методе используется уравнение теплового баланса, из которого определяется перепад температуры воды в результате испарения 1% воды в воздух и затем проводится пересчет теплоты на фактическое изменение температуры охлаждающей воды.

Предположим, что имеется $m_c = 100$ кг воды, из которой испаряется 1% воды в проходящий через градирню воздух. При температуре воды 33°C (для испытания № 2) удельная теплота парообразования воды равна $r = 2423$ кДж/кг, то есть на испарение одного 1% ($m_v = 1$ кг от 100 кг) воды расходуется теплота, равная 2423 кДж. Тогда из теплового баланса $Q = m_v r = m_c c \Delta t$ изменение температуры воды будет равно

$$\Delta t = 1 \cdot 2423 / 100 \cdot 4,19 = 5,8^\circ\text{C},$$

это согласуется с [14], где отмечено, что испарение 1% воды снижает ее температуру на 6°C .

В других испытаниях температура поступающей воды находится в диапазоне $30\text{--}38^\circ\text{C}$. Так как удельная теплота парообразования в этом диапазоне температур изменяется на 0,78%, то изменение температуры при испарении 1% воды в других испытаниях принимаем также $\Delta t = 5,8^\circ\text{C}$.

Расчет испаренной воды в градирне № 4 для испытания № 2 показывает, что температура воды в градирне по опытным данным изменилась на 8°C , то есть испарилось 1,4% воды и от расхода $V = 6200$ м³/ч это будет составлять $W = 86,8$ м³/ч.

Расчет испаренной воды в градирне № 6 для испытания № 2 – при перепаде температуре воды 5°C испарилось 0,9% воды и от расхода $V = 12000$ м³/ч это будет $W = 108$ м³/ч.

Таблица 2. Начальные и конечные параметры воздуха
Table 2. Initial and final air parameters

	Наименование	Испытание № 2		Испытание № 3	
		№ 4	№ 6	№ 4	№ 6
На входе в градирню	Температура воздуха t , °С	30		38	
	Относительная влажность φ , %	18		28	
	Влагосодержание воздуха x , кг воды/кг сухого воздуха	$4,82 \cdot 10^{-3}$		$12,12 \cdot 10^{-3}$	
	Энтальпия воздуха I , кДж/кг	42,4		69,3	
	Энтальпия воздуха при t и $\varphi = 100\%$, I^* , кДж/кг	101,2		155,3	
На выходе из градирни	Температура воздуха t_k , °С	27	28,7	33	35
	Относительная влажность φ_k , %	79	83,5	63,7	78,5
	Влагосодержание x_k , кг воды/кг сухого воздуха	$18,76 \cdot 10^{-3}$	$21,66 \cdot 10^{-3}$	$21,48 \cdot 10^{-3}$	$30,09 \cdot 10^{-3}$
	Энтальпия I_k , кДж/кг	75,0	83,9	88,2	112,5

Таблица 3. Результаты расчетов
Table 3. Calculation results

Наименование	Испытание № 1		Испытание № 2		Испытание № 3	
	№ 4	№ 6	№ 4	№ 6	№ 4	№ 6
Градирня						
Тепловая мощность Q , МВт	85,14	115,56	57,73	69,83	74,49	83,79
Расход воздуха на градирню V_a , тыс. м ³ /ч	4 129,2	4 284	3 200	3 600	3 400	4 050
Гидравлическая нагрузка градирни V_w , м ³ /ч	5 100	7 100	6 200	12 000	8 000	12 000
Соотношение расхода воздуха и воды λ , м ³ /м ³	809	604	516	300	425	337
Перепад температур воды между входом и выходом Δt , °С	16	14	8	5	8	6
Количество испаренной воды по параметрам воздуха W , м ³ /ч	-	-	52,24	72,3	36,94	82,6
Количество испаренной воды по тепловому балансу W , м ³ /ч	-	-	86,8	108	112	123,6
$\eta_{ж}$ градирен, %	61	53	55	37	57	43
$\eta_{г}$ градирен, %	-	-	55	71	22	50

В испытании № 3 для градирни № 4 температура воды изменилась на 8°С, то есть испарилось 1,4% воды от расхода $V = 8000$ м³/ч, что составит $W = 112$ м³/ч.

Также в испытании № 3 для градирни № 6 температура воды изменилась на 6°С, то есть испарилось 1,03% воды от расхода $V = 12000$ м³/ч, получим $W = 123,6$ м³/ч.

Тепловой КПД градирен по охлаждаемой воде определялся по уравнению [15]

$$\eta_{ж} = \Delta t / (t_1 - t_m).$$

Тепловая эффективность градирни по воздуху рассчитывалась по формуле [15]

$$\eta_{г} = (I_k - I) / (I^* - I),$$

где I^* – энтальпия воздуха при $\varphi = 100\%$, т.е. на линии насыщения воздуха на выходе при температуре t .

Полученные значения расчетов сведены в Таблицу 3 для испытаний № 1-3.

Расчеты (Таблица 3) показывают, что в испытании № 2 в градирне № 6 количество испаренной воды больше, чем в градирне № 4, в 1,24 раза, а в испытании № 3 – в 1,1 раза. Можно сказать, что процесс теплообмена в градирне № 6 организован эффективнее. Полагаем, что ороситель градирни № 6 способствует в большей мере организации пленочного течения и меньшей – каплеуносу, способствующему снижению движущей силы процесса охлаждения воды.

Из Таблицы 3 видно, что у градирни № 6 тепловая мощность выше, чем градирни № 4, при этом Δt воды между входом и на выходе закономерно будет больше у градирни № 4.

Оптимальное соотношение расхода воздуха к расходу воды принято считать равным 1000 [7]. Для градирни № 4 это соотношение в опытах выше несмотря на то, что расход воздуха, подаваемый в градирни, отличается незначительно, но в градирне № 6 он больше, а соотношение – меньше. Видно, что на градирню № 6 приходится большая гидравлическая нагрузка на единицу расхода воздуха, но несмотря на это, тепловая мощность превышает мощность градирни № 4. В связи с этим организация тепло- массообменного процесса в градирне № 6 осуществляется эффективнее.

Количество испаренной воды, рассчитываемое двумя методами по параметрам воздуха и по тепловому балансу, отличается, но оба метода показали, что количество испарившейся воды больше для градирни № 6, чем в градирне № 4.

В качестве заключения можно отметить следующее. Была разработана методика измерений параметров для расчета градирен № 4 и 6 кузбасской ТЭЦ, проведены три испытания градирен, представлены значения измеренных величин, на основе которых рассчитаны расход охлаждающей воды, расход воздуха, изменение температуры воды в процессе ее испарения и количество испарившейся воды.

Тепловая мощность градирни № 4 ниже, а Δt воды на входе и на выходе выше, чем градирни у № 6.

Соотношение расходов воздуха и воды у градирни № 4 при практически равном расходе воздуха в трех опытах выше. На градирню № 6 приходится большая гидравлическая нагрузка, а теплообмен в градирне № 6 осуществляется эффективнее. Количество испарившейся воды в градирне № 6 на 10-20% больше, чем в № 4. Этот результат свидетельствует о том, что ороситель в градирне № 6 создает пленочное движение охлаждаемой воды.

Градирня № 6 даже при высокой гидравлической нагрузке (например, испытание № 3 при температуре воздуха 38°C) практически не уступает по эффективности градирне № 4, и если разгрузить градирню № 6, то можно получить перепад температур охлаждающей воды такой же, как на градирне № 4.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в соответствии с дополнительным соглашением № 075-03-2021-138/3 (проект FZES-2021-0008) от 28.09.2021 г. о предоставлении субсидии из федерального бюджета на финансовое обеспечение выполнения государственного задания на оказание государственных услуг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калатузов В. А. Низкопотенциальная часть тепловых электростанций одна из причин ограничения их мощности // Энергосбережение и водоподготовка. 2010. № 3 (65). С. 34–37.
2. Калатузов В. А. Влияние систем технического водоснабжения с градирнями на технико-экономические показатели тепловых электростанций // Энергосбережение и водоподготовка. 2009. № 6 (62). С. 12–16.
3. Пономаренко В. С., Арефьев Ю. И. Градирни промышленных и энергетических предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1998. 376 с.
4. Рыжкин В. Я. Тепловые электрические станции: учебник для студентов вузов / под ред. В. Я. Гиршфельда. М.: Энергоатомиздат, 1987. 326 с.
5. Zhang Zh. [et al.] Field test study on thermal and ventilation performance for natural draft wet cooling tower after structural improvement // Applied Thermal Engineering, 2019. V. 155. P. 305–312. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.04.015>.
6. Лаптев А. Г., Ведьгаева И. А. Устройство и расчет промышленных градирен: монография. Казань: КГЭУ, 2004. 180 с.
7. Yu J. [et al.] A comprehensive energy efficiency assessment indicator and grading criteria for natural draft

wet cooling towers // Energy. 2022. V. 254, Part B. P. 124375. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124375>.

8. Федяев В. Л. [и др.] Об эффективности работы промышленных градирен // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2009. № 1–2. С. 15–24.

9. Kumar R. [et al.] Natural draft cooling tower: Analytic study for performance enhancement // Materials Today: Proceedings. 2021. V. 38. Part 1. P. 211–217. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.591>.

10. Шишацкий Ю. И. [и др.] Повышение эффективности работы градирен в водооборотном цикле // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 34–38. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-34-38>

11. Калатузов В. А. Натурные исследования градирен и систем технического водоснабжения // Промышленная энергетика, 2014. – № 10. – С. 25–31.

12. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов. М. : ООО ТИД «Альянс», 2004. 753 с.

13. ГСССД 167-94. Влажный воздух. Термодинамические свойства в диапазоне температур 200...400 К, давлений 0,1...10 МПа и относительной влажности 0,2...1,0. Депонировано во ВНИЦСМВ, 1994. №747-кк. 46 с.

14. Прокашев Н. М. Возможные недостатки в работе градирен и их влияние на снятие сезонных ограничений // Сборник избранных статей Международной научной конференции «Высокие технологии и инновации в науке». Санкт-Петербург, 2020. С. 207–209.

15. Лаптева Е. А. [и др.] Показатели энергоэффективности градирен // Надежность и безопасность энергетики. 2018. Т. 11. №3. С. 217–221. <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-3-217-221>.

© 2023 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Темникова Елена Юрьевна, кандидат техн. наук, доцент, Институт энергетики, кафедра теплоэнергетики, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: teu.pmahp@kuzstu.ru

Богомолов Александр Романович, доктор техн. наук, заведующий кафедрой, Институт энергетики, кафедра теплоэнергетики, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: barom@kuzstu.ru

Тараймович Владимир Андреевич, студент, Институт энергетики, кафедра теплоэнергетики, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: tara777kem@mail.ru

Чергинцев Ольга Александровна, старший преподаватель, Институт энергетики, кафедра теплоэнергетики, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: cherginetsoa@kuzstu.ru

Заявленный вклад авторов:

Темникова Елена Юрьевна – постановка исследовательской задачи, анализ данных, выводы, написание текста.

Богомолов Александр Романович – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, концептуализация исследования, выводы.

Тараймович Владимир Андреевич – обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных, написание текста.

Чергинцев Ольга Александровна – обзор соответствующей литературы, обработка данных, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF COOLING TOWERS OF THE CHP

**Elena Yu. Temnikova, Alexander R. Bogomolov,
Vladimir A. Taraimovich, Olga A. Cherginets**

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

*for correspondence: teu.pmahp@kuzstu.ru

Abstract.

Water-circulation cooling systems, including cooling towers, are one of the important components of rational water use of stations. Since the efficiency of evaporative cooling towers, especially during high atmospheric temperatures, has a huge impact on the ability of the station to operate with installed capacity without restrictions, on the rational use of fuel and water resources, on the amount of emissions of harmful substances into the atmosphere, etc.. The purpose of the work is an experimental study of the operation of two tower cooling towers of a thermal power plant having various sprinklers, drop traps, the area of the air inlet windows with all other parameters being equal and determining their efficiency by the cooling depth of the unit volume consumption per unit time. A methodology for conducting research and measurements has been developed, measuring instruments have been used and full-scale tests of the efficiency of cooling towers in the summer period have been carried out. Based on the measured flow and temperature parameters of water and air, as well as its humidity characteristics, the values of hydraulic load, specific air flow, thermal power of the mass exchange process of evaporative cooling, the amount of evaporated water, etc. are calculated. It is shown that the thermal power (cooling of the amount of water per degree) of the cooling tower No. 6 is higher than No. 4. At the same time, the temperature difference of the water Δt was greater at the cooling tower No. 4. Cooling tower No. 6 has a large hydraulic load per unit of air flow. The heat and mass transfer process in cooling tower No. 6 is carried out efficiently. The amount of evaporated water calculated by two methods: by changing the parameters of the air in the evaporation process and by the direct thermal balance of the water temperature changes are practically the same. The comparison method showed that the amount of evaporated water in cooling tower No. 6 is greater than in cooling tower No. 4. The thermal efficiency according to the method of limiting water cooling based on reaching the theoretical air temperature of a wet thermometer was obtained higher for cooling tower No. 4 (Berman et al.). Another technique, reflecting the most characteristic assessment of the efficiency of the evaporative cooling tower, based on the coefficient of thermal efficiency in terms of enthalpy change or air moisture content, showed that the process in cooling tower No. 6 is more efficient, which is consistent with the amount of evaporated water and the thermal capacity of the evaporation plant.



Article info

Received:

29 November 2023

Accepted for publication:

10 December 2023

Accepted:

12 December 2023

Published:

21 December 2023

Keywords: cooling tower, cooling water of the water cycle, evaporative cooling, cooling tower efficiency

For citation: Temnikova E.Yu., Bogomolov A.R., Taraimovich V.A., Cherginets O.A. Evaluation of the efficiency of cooling towers of the CHP. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2023; 6(160):21-30. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2023-6-21-30, EDN: AHMQSA

REFERENCES

1. Kalatuzov V.A. Nizkopotencial'naya chast' teplovyh elektrostancij odna iz prichin ogranicheniya ih moshchnosti [The low-potential part of thermal power plants is one of the reasons for limiting their capacity]. *Energoberezhenie i vodopodgotovka* [Energy saving and water treatment]. 2010; 3(65):34–37. (rus)
2. Kalatuzov V.A. Vliyanie sistem tekhnicheskogo vodosnabzheniya s gradirnyami na tekhniko-ekonomicheskie pokazateli teplovyh elektrostancij [The influence of technical water supply systems with cooling towers on the technical and economic indicators of thermal power plants]. *Energoberezhenie i vodopodgotovka* [Energy saving and water treatment]. 2009; 6(62):12–16. (rus)
3. Ponomarenko V.S., Arefev Yu.I. Gradirni promyshlennyh i energeticheskikh predpriyatij [Cooling towers of industrial and energy enterprises]. Moscow: Energoatomizdat; 1998. 376 P. (rus)
4. Ryzhkin V.Ya. Teplovye elektricheskie stancii: uchebnik dlya studentov vuzov [Thermal power plants: textbook for university students]. Moscow: Energoatomizdat; 1998. 376 P. (rus)
5. Zhang Zh. [et al.] Field test study on thermal and ventilation performance for natural draft wet cooling tower after structural improvement. *Applied Thermal Engineering*. 2019; 155:305–312. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.04.015>

6. Laptev A.G., Ved'gaeva I.A. Ustrojstvo i raschet promyshlennykh gradiren: monografiya [Design and calculation of industrial cooling towers: monograph]. Kazan: Publishing of the Kazan State Power Engineering University; 2004. 180 P. (rus)
7. Yu J. [et al.] A comprehensive energy efficiency assessment indicator and grading criteria for natural draft wet cooling towers. *Energy*. 2022; 254(B):124375. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124375>
8. Fedyaev V.L., Mazo A.B., Morenko I.V., Gajnullin R.F., Gajnullina R.F. Ob effektivnosti raboty promyshlennykh gradiren [On the efficiency of industrial cooling towers]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki [News of higher educational institutions. Energy problems]*. 2009; 1–2:15–24. (rus)
9. Kumar R. [et al.] Natural draft cooling tower: Analytic study for performance enhancement. *Materials Today: Proceedings*. 2021; 38(1)211–217. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.591>.
10. Shishackij Yu.I. [et al.] Povyshenie effektivnosti raboty gradiren v vodooborotnom cikle [Improving the efficiency of cooling towers in the water cycle]. *Vestnik VGUIT [Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies]*. 2022; 84(2):34–38. (rus) <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-34-38>.
11. Kalatuzov V.A. Naturnye issledovaniya gradiren i sistem tekhnicheskogo vodosnabzheniya [Field studies of cooling towers and technical water supply systems]. *Promyshlennaya energetika [Industrial energy]*. 2014; 10:25–31. (rus)
12. Kasatkin A.G. Osnovnye processy i apparaty himicheskoy tekhnologii: uchebnik dlya vuzov [Basic processes and devices of chemical technology: textbook for universities]. Moscow: LLC Trade Publishing House "Alliance"; 2004. 753 P. (rus)
13. GSSSD 167-94. Vlazhnyj vozduh. Termodinamicheskie svoystva v diapazone temperatur 200...400 K, davlenij 0,1...10 MPa i odnositel'noj vlazhnosti 0,2...1,0 [State Service of Standard Reference Data 167–94. Humid air. Thermodynamic properties in the temperature range 200...400 K, pressures 0.1...10 MPa and relative humidity 0.2...1.0]. Deposited. 1994. No. 747–kk. 46 P. (rus)
14. Prokashev N.M. Vozmozhnye nedostatki v rabote gradiren i ih vliyanie na snyatie sezonnykh ogranichenij [Possible shortcomings in the operation of cooling towers and their impact on the removal of seasonal restrictions]. *Sbornik izbrannykh statej Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Vysokie tekhnologii i innovacii v nauke» [Collection of selected articles of the International Scientific Conference "High Technologies and Innovations in Science"]*. Saint-Petersburg. 2020. P. 207–209. (rus)
15. Lapteva E.A., Laptev A.G., Farahov M.I. Pokazateli energoeffektivnosti gradiren [Indicators of energy efficiency of cooling towers]. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki [Reliability and safety of energy]*. 2018; 11(3):217–221. (rus) <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-3-217-221>

© 2023 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Elena Yu. Temnikova, C. Sc.in Engineering, Docent, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russia), e-mail: teu.pmahp@kuzstu.ru

Alexander R. Bogomolov, Dr. Sc., head of the department, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russia), e-mail: barom@kuzstu.ru

Vladimir A. Taraimovich, student, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russia), e-mail: tara777kem@mail.ru

Olga A. Cherginets, Senior Lecturer, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russia), e-mail: cherginetsoa@kuzstu.ru

Contribution of the authors:

Temnikova Elena Yuryevna – setting a research task, data analysis, conclusions, writing a text.

Bogomolov Alexander Romanovich – formulation of a research task, scientific management, conceptualization of research, conclusions.

Taraimovich Vladimir Andreevich – review of relevant literature, data collection and analysis, writing text.

Olga A. Cherginets – review of relevant literature, data processing, text writing.

All authors have read and approved the final manuscript.

