

DOI: 10.18721/JEST.240309
УДК 621.311.22

В.Н. Порохов, С.В. Еранкин

ООО «Экотэп», Санкт-Петербург, Россия

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ВЫБОРГСКОЙ ТЭЦ-17

С каждым годом стоимость использования воды из природных источников растет, что делает целесообразным перевод прямоточной системы технического водоснабжения ТЭЦ на оборотную с применением гидроохладителей (градирен) для возможности повторного использования воды. Кроме того, строительство оборотной системы дает существенный прирост располагаемой мощности за счет снятия ограничений по условиям охраны водного бассейна. По предоставленным Выборгской ТЭЦ-17 данным за 2016–2017 гг. проведен анализ работы существующей системы технического водоснабжения. Разработаны варианты реконструкции с применением различного числа вентиляторных градирен. Рассмотрены три типа оросительного устройства градирен на предмет оптимальности их использования с экономической точки зрения. Изучено влияние повышения температуры на режим работы оборудования и эффективности топливоиспользования. Определен наиболее эффективный вариант реконструкции системы технического водоснабжения.

Ключевые слова: система технического водоснабжения, реконструкция, вентиляторные градирни, оросительные устройства, ограничение мощности, варианты реконструкции.

Ссылка при цитировании:

В.Н. Порохов, С.В. Еранкин. Разработка технических решений по модернизации Выборгской ТЭЦ-17 // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2018. Т. 24. № 3. С. 102–113. DOI: 10.18721/JEST.240309.

V.N. Porokhov, S.V. Erakin

LTD «Ecotep», St. Petersburg, Russia

DEVELOPMENT OF TECHNICAL SOLUTIONS FOR THE TRANSFER OF VYBORGSKAYA CHPP-17

The costs for the using water from natural sources grow from year to year, which makes it expedient to transfer a straight-through system of technical water supply to a circulating system, using cooling towers, to reuse water. In addition, the construction of a circulating water system gives significant growth of usable power by eliminating the power limits connected to water protection regulations. We have analyzed the operation of the existing technical water supply system based on the data provided by Vyborg CHPP-17 for 2016–2017. Several reconstruction options with application of different numbers of mechanical draft cooling towers have been developed. Three types of cooling tower fill have been considered from the standpoint of their optimal economic usage. The influence of temperature increase on the operation mode of equipment and fuel efficiency has been studied. The most effective option of reconstruction of the technical water supply system was determined.

Keywords: system of technical water supply, reconstruction, mechanical draft cooling tower, fill, limitation of power, reconstruction options.

Citation:

V.N. Porokhov, S.V. Erakin, Development of technical solutions for the transfer of Vyborgskaya CHPP-17, *St. Petersburg polytechnic university journal of engineering science and technology*, 24(03)(2018) 102–113, DOI: 10.18721/JEST.240309.



Введение

Энергетическая отрасль России – крупнейший водопользователь в стране. При этом около 40 % действующих тепловых электростанций (ТЭС) имеют прямоточную систему охлаждения [1]. В частности, в Невском филиале ПАО «ТГК-1» прямоточную систему технического водоснабжения (СТВС) имеют половина ТЭЦ.

С каждым годом ставки за пользование водными объектами увеличиваются с повышающим коэффициентом [2, 3]. Начиная с 2015 года рост платы за водопользование согласно Постановлению Правительства РФ № 1509 «О ставках платы за пользование водными объектами» составило 15 % в год, что привело к значительному росту расходов по статье водопотребления и в итоге сделало актуальным вопрос реализации мероприятий по сокращению затрат на пользование водными объектами, находящимися в федеральной собственности.

Один из основных способов решения этого вопроса – перевод прямоточной системы технического водоснабжения ТЭЦ на обратную систему с применением гидроохладителей – градирен. При заявленном росте цен за водопотребление реализация таких вариантов может стать финансово выгодной: экономический эффект будет получен за счет снижения платы за пользование водными объектами.

Кроме того, из-за отсутствия при эксплуатации обратной системы охлаждения сбросов нагретой воды в природный источник необходимость перехода к полной обратной системе охлаждения на ТЭЦ имеет, помимо экономических, также экологические предпосылки. Уже сейчас, как известно, проектирование прямоточных систем технического водоснабжения не допускается [4]. А применение на электростанциях обратных СТВС с градирнями, как показал опыт их эксплуатации, с точки зрения охраны окружающей среды – вполне приемлемое решение.

Поэтому целью нашей работы было установление наиболее эффективного техническо-

го решения по переводу Выборгской ТЭЦ-17 с прямоточной системы техводоснабжения на обратную.

Существующая система техводоснабжения

Выборгская ТЭЦ-17 располагается в городе Санкт-Петербурге в Калининском районе. Станция запущена в эксплуатацию 30 декабря 1954 года.

На ТЭЦ-17 находятся в эксплуатации 3 паровые турбины с теплофикационными отборами следующих типов: Т-27,5-90 (ст. №2), Т-100-130 (ст. №3) и Т-123/130-130 (ст. №4).

Основным топливом является природный газ, резервным – мазут.

Система охлаждения основного и вспомогательного оборудования – прямоточная. Техническое водоснабжение Выборгской ТЭЦ осуществляется посредством забора воды из р. Невы с помощью двух береговых насосных станций (БН-1 и БН-2).

Забор воды в БН-1 для технологических нужд ТЭЦ выполняется через две водоприемные трубы диаметром 1200 мм. Трубы проложены по дну реки и уходят на глубину 14,25 м. В машинном зале БН-1 размещены: циркуляционные, пожарные, хозяйствственные, вакуумные и дренажные насосы; эжекторы с трубопроводами и арматурой; панели управления.

В БН-2 вода из р. Невы в аванкамеры водоприемника поступает по двум трубам диаметром 1600 мм, установленным по дну реки. Машинный зал БН-2 расположен под левым крылом главного инженерного корпуса ЛМЗ. В нем размещены циркуляционные насосы, вакуумные, дренажные насосы и эжектор с трубопроводами и арматурой.

На БН-1 установлено 4 циркнасоса типа 32Д-19, на БН-2 – 5 циркнасосов аналогичного типа. Циркуляционная вода от них поступает для конденсации пара в конденсаторы турбин, на масло- и газоохладители, на осветители ХЦ, откуда подается для восполнения потерь теплосети.

Таблица 1

Базовый режим работы ТЭЦ

Table 1

Basic operating mode of the CHPP

Наименование показателя, единицы измерения	Значения показателя для разных энергоблоков и в целом по ТЭЦ			
	T-27,5-90 ст. №2	T-100-130 ст. №3	T-123/130- 130 ст. №4	В целом по ТЭЦ
Суммарное число часов в работе зимой (летом), ч	2409 (3032)	3664 (1202)	1808 (396)	—
Среднее за 2016-17 гг. количество одновременно работающих энергоблоков по ТЭЦ, шт.	—	—	—	2 (в июле—1)
Средний за 2016-17 гг. расход свежего пара в турбину зимой (летом), т/ч	135 (126)	403 (290)	453 (304)	—
Средняя за 2016-17 гг. удельная тепловая нагрузка зимой (летом), Гкал/ч	48 (37)	154 (44)	166 (19)	—
Средняя за 2016-17 гг. конденсационная мощность турбины зимой (летом), МВт	6,0 (8,5)	6,9 (46,8)	8,6 (65,5)	—
Средняя за 2016-17 гг. выработка электроэнергии, тыс. кВт·ч	—	—	—	159 035
Расчетная годовая выработка электроэнергии, тыс. кВт·ч	—	—	—	163 469*
Средняя за 2016-17 гг. мощность ТЭЦ по теплофикационному циклу в летний периоды, МВт	—	—	—	26,7
Номинальный расход воды, м ³ /ч:**				
на конденсаторы (через основные пучки)	5000	13600	13600	—
всего на вспомогательное оборудование	200	760	760	—
всего	5200	14360	14360	33920
Фактический средний за 2016-17 гг. суммарный расход воды за год, тыс. м ³	—	—	—	99364
Суммарный расчетный средний за 2016-17 гг. годовой расход топлива, т у.т.	—	—	—	60005
Ограничение мощности в летний период, МВт:**				
май	14,5	12	65	—
июнь	14,5	24	65	—
июль	27,5	47	123	—
август	8,5	100	123	—
сентябрь	14,5	14	65	—

* Рассчитанное значение отличается от практического на 2,7 %.

** По данным ТЭЦ.

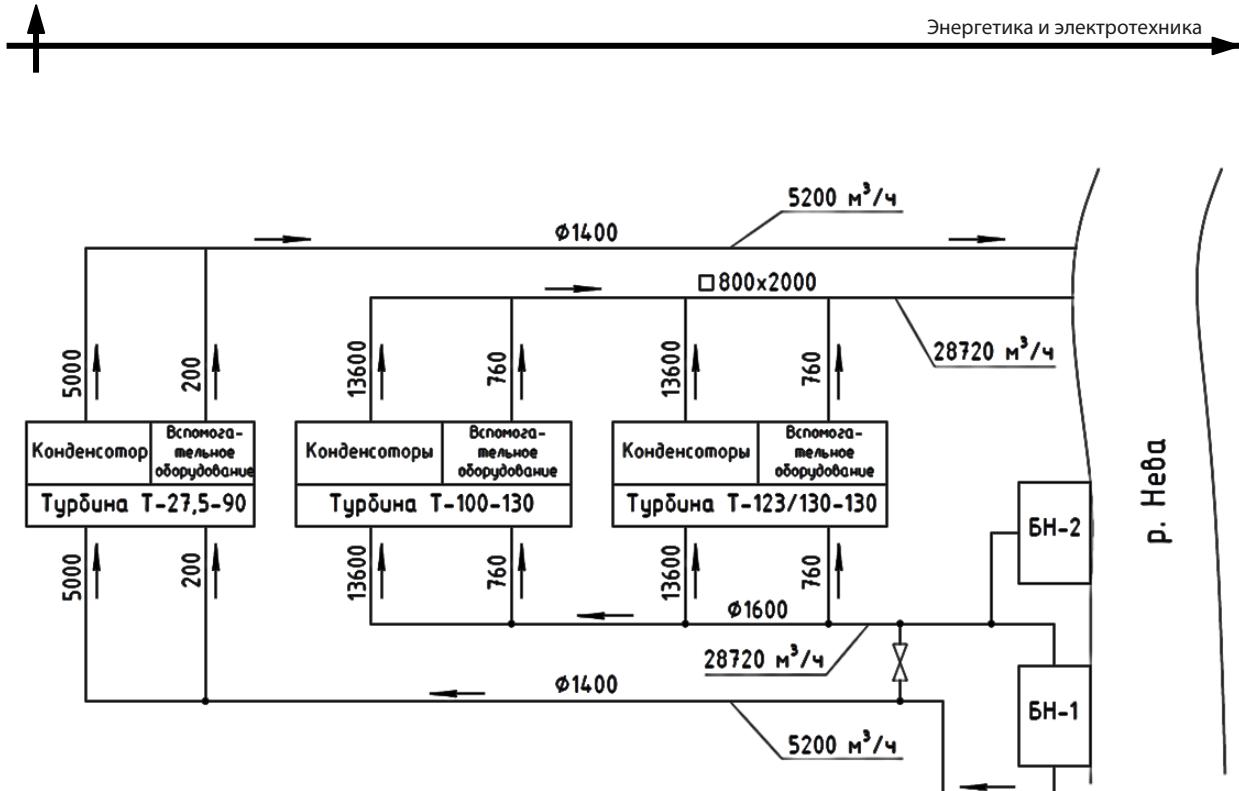


Рис. 1. Балансовая схема прямоточной системы технического водоснабжения
Fig. 1. The balance scheme of a straight-through system of technical water supply

Напорный коллектор БН-1 диаметром 1000 мм переходит в коллектор 1400 мм, по которому вода поступает на конденсатор турбины ст. №2 и вспомогательное оборудование. А на конденсаторы турбин ст. №3 и №4 речная вода распределяется через напорный коллектор БН-2 диаметром 1600 мм. Трубопроводы циркульной воды проходят по территории ЛМЗ и имеют отводы для нужд ЛМЗ.

Слив нагретой воды производится по двум трубопроводам диаметром 1200 мм и каналу 800×2000 мм.

На основе предоставленных станцией данных была проанализирована работа Выборгской ТЭЦ и выполнен тепловой расчет ее базового режима работы за 2016–2017 гг., т. е. расчет на основе осредненных фактических технологических показателей работы оборудования станции за зимний (октябрь – апрель) и летний (май – сентябрь) периоды работы. Полученные результаты сведены в табл. 1.

Под номинальным расходом воды понимается расход оборотной воды через основное и вспомогательное оборудование турбины, соответствующий заводским (паспортным) значениям.

На рис. 1 представлена балансовая схема прямоточной СТВС. Обозначенные расходы приняты по паспортным характеристикам оборудования.

Варианты реконструкции системы техводоснабжения

С целью уменьшения водопотребления из р. Невы рассмотрены три варианта реконструкции со строительством насосной станции и вентиляторных градирен различной производительности.

Вариант №1: строительство обратной системы техводоснабжения, которая сможет обеспечить работу одного из турбоагрегатов (Т-123/130-130 ст. №4 или Т-100-130 ст. №3).

Вариант №2: перевод всей ТЭЦ на обратную СТВС.

Вариант №3: перевод вспомогательного оборудования всех турбоагрегатов на обратную СТВС.

Вариант №3 рассматривается в качестве дополнительного. После прохождения через маслоохладители возможен унос части масла с охлаждающей водой [5]. Реализация данного варианта позволит избежать отведения воды, содержащей нефтепродукты, в р. Неву.

Таблица 2

Варианты реконструкции

Table 2

Options of reconstruction

Вариант вентиляторных градирен	Плотность орошения q , $\text{м}^3/\text{м}^2\text{ч}$	Количество градирен, шт.	Секций градирен, шт.	Суммарная площадь орошения, м^2	Расход на одну секцию $W_{\text{сек}} \text{, м}^3/\text{ч}$	Расход на одну градирню $W_{\text{град}} \text{, м}^3/\text{ч}$	Сумм. расход воды $\sum W_{\text{град}} \text{, м}^3/\text{ч}$	Необходимое количество насосов, шт.	Тип насоса	Бассейн градирни, м^3	Кол-во магистральных водоводов, шт.	Диаметр магистральных водоводов, мм	Кол-во отводящих водоводов, шт.	Диаметр отводящих водоводов, мм	Размеры аванкамеры, м
№1	16,1	2	6	1152	3100	9300	18600	3	SJT-42CLC	864	2	1200	2	1200	12×12×4,5
№2	16,1	4	12	2304	3100	9300	37200	6	SJT-42CLC	864	2	1800	2	1800	18×12×4,5
№3	12,6	1	2	128	806	1613	1613	3	TP 200-410/4	384	1	510	1	510	—

Характеристики сооружений каждого варианта приведены в табл. 2.

В качестве основного оборудования рассматриваются:

вертикальные полупогружные одноступенчатые насосы компании Sulzer типа SJT-42CLC (6333 $\text{м}^3/\text{ч}$, 27 м.вод.ст) для вариантов реконструкции №1 и №2;

вертикальные центробежный одноступенчатые насосы компании Grundfos типа TP 200-410/4 (771 $\text{м}^3/\text{ч}$, 28 м.вод.ст) для варианта №3;

вентиляторные трехсекционные градирни типа СВГ-192-3 (ООО «ЭКОТЭП», Санкт-Петербург, размер секции – 12×16 м, мощность электродвигателя – 90 кВт) для вариантов реконструкции №1 и №2;

вентиляторная двухсекционная градирня СВГ-64-2 (ООО «ЭКОТЭП» Санкт-Петербург, размер секции – 8×8 м, мощность электродвигателя – 37 кВт) для варианта №3.

Вертикальные полупогружные насосы выбраны благодаря их высокой надежности (электродвигатель, а также торцевые уплотнения не соприкасаются с жидкостью), относительно невысокой стоимости и малой требуемой площади для установки

по сравнению с горизонтальными насосами, что важно для вариантов №1 и №2.

Для варианта №3, не требующего большой площадки для застройки, выбраны центробежные горизонтальные насосы.

В качестве гидроохладителей приняты вентиляторные градирни исходя из таких их достоинств:

компактности и возможности создавать габариты в зависимости от расположения на генплане;

более глубокого охлаждения воды и более низкой цены по сравнению с башенными градирнями аналогичной охлаждающей способности [6].

Сухие вентиляторные и башенные испарительные градирни ввиду ограниченной площадки для застройки к рассмотрению не принимаются.

Варианты размещения гидроохладителей на генплане

Градирни предлагается разместить на территории ТЭЦ около маслозавода по трем вариантам. При этом все расстояния между охладителями воды, зданиями и сооружениями принимаются в соответствии с СП 18.13330.2011 «Генеральные планы промышленных предприятий».



Вариант №1 – градирни устанавливаются между маслозхозяйством и зданием электролизной в один ряд вдоль ограждения территории ТЭЦ.

Общая производительность вентиляторных градирен, рассчитанная на охлаждение расхода оборотной воды, – $18600 \text{ м}^3/\text{ч}$. Данного расхода воды достаточно для перевода на оборотную систему водоснабжения турбоагрегата Т-123/130-130 и вспомогательного оборудования. Габарит одной градирни – $16,0 \times 36,0 \text{ м}$. Расстояние в ряду между градирнями – $3,0 \text{ м}$.

Недостатки варианта:

часть оборудования ТЭЦ останется на прямоточной системе технического водоснабжения;

требуется демонтаж здания склада ЛМЗ.

Вариант №2 – градирни устанавливаются аналогично варианту №1 между маслозхозяйством и зданием электролизной с добавлением одного параллельного ряда градирен.

Общая производительность вентиляторных градирен, рассчитанная на охлаждение расхода оборотной воды, – $37200 \text{ м}^3/\text{ч}$. Данный расход воды рассчитан на перевод всей ТЭЦ на оборотную систему технического водоснабжения. Габарит одной градирни – $16,0 \times 36,0 \text{ м}$. Расстояние в ряду между градирнями – $3,0 \text{ м}$. Расстояние между рядами градирен – $21,0 \text{ м}$.

Недостаток варианта: требуется демонтаж здания склада ЛМЗ.

Установка четырех вентиляторных градирен позволяет отказаться от прямоточной системы технического водоснабжения.

Предполагаемое расположение четырех вентиляторных градирен показано на рис. 2.

Вариант №3 – градирни устанавливаются между маслозхозяйством и ограждением территории ТЭЦ вблизи здания машзала 2-й очереди с минимальным использованием свободной территории для возможности дальнейшей застройки.

Общая производительность вентиляторной градирни, рассчитанная на охлаждение расхода оборотной воды, – $1613 \text{ м}^3/\text{ч}$. Данного рас-

хода воды достаточно для перевода на оборотную систему водоснабжения вспомогательного оборудования всех турбоагрегатов. Габарит градирни – $16,0 \times 8,0 \text{ м}$.

Недостаток: основное оборудование ТЭЦ останется на прямоточной системе технического водоснабжения.

Такое расположение градирни позволяет минимизировать демонтажные и строительные работы по существующим сооружениям ТЭЦ. Однако, учитывая указанный недостаток, этот вариант к реализации не рекомендуется.

Результаты расчетов

Теплотехнические расчеты выполнены для вариантов реконструкции СТВС с применением различных типов оросительных устройств.

Для сравнения выбраны три различные конструкции оросительных устройств, которые отличаются друг от друга по принципу создания поверхности контакта воды и воздуха:

- 1) капельно-пленочный ороситель NC 20-25;
- 2) комбинированный ороситель (ОДГ-60/40+ОДГ-60/25(2)+ВСС-55);
- 3) капельно-пленочный ороситель типа БЭВ-200 [7–10].

Наибольшие ограничения появляются в неотопительный период, когда снижается теплопотребление и возникает необходимость выработки электроэнергии в конденсационном режиме или режиме с малым объемом регулируемых отборов [11]. В частности, на Выборгской ТЭЦ при существующей прямоточной системе техноводоснабжения существенные ограничения по мощности накладывает запрет сброса воды в реку Неву, температура которой превышает 20°C летом и 5°C зимой, а максимальный перепад температуры в месте водовыпуска составляет более 5°C .

Расчет обеспеченности электрической мощности турбин выполнен для летнего режима работы, когда отключается система отопления города и до минимума снижается возможность выработки электрической мощности на турбинах по теплофикационному циклу.



Рис. 2. Размещение вентиляторных градирен на генплане, вариант №2
 Fig. 2. Placement of fan cooling towers on the general plan, option №2

Расчеты проведены на примере [12] и с учетом «Методических указаний по определению и согласованию ограничений установленной электрической мощности тепловых и атомных электростанций» СО ЦДУ ЕЭС и выполнены для двух вариантов:

1) на оборотной системе включена одна турбина типа Т-100/130 ст. №3 или Т-123/130-130 ст. №4 (предпочтительней работа турбины ст. №4 с наименьшим сроком эксплуатации); работают две вентиляторные градирни; расход охлаждающей циркводы максимально возможный при обеспечении максимальной нагрузки на конденсатор;

2) включены все три установленные на ТЭЦ турбины типа Т и четыре вентиляторные градирни; расход охлаждающей циркводы – максимальный, обеспечиваемый в этом режиме установленными циркнасосами.

По результатам расчета обеспеченности электрической мощности турбин строится график зависимости располагаемой мощности турбин от температуры наружного воздуха для двух вариантов реконструкции при совместной работе вентиляторных градирен с различными типами оросительных устройств (рис. 3).

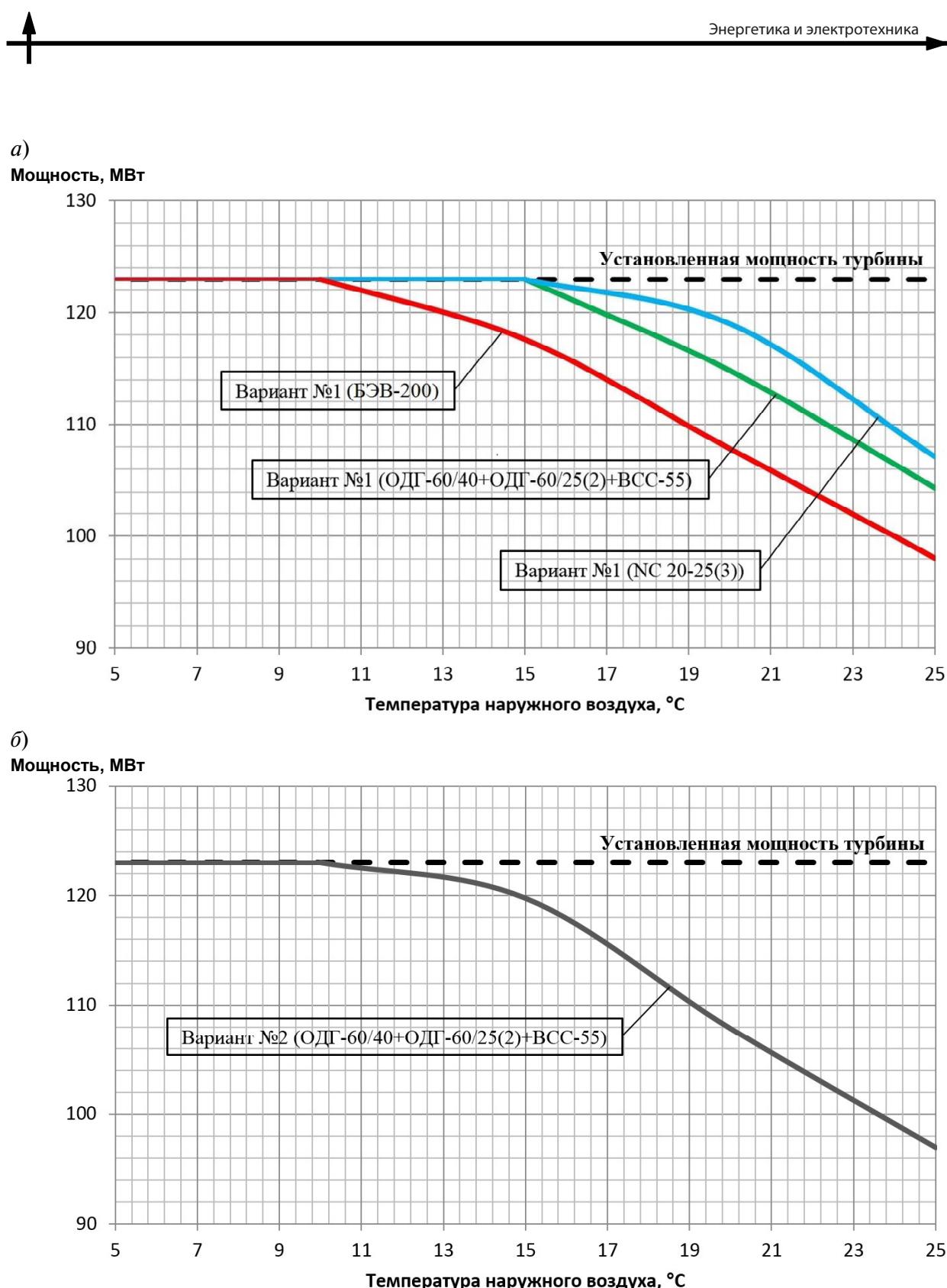


Рис. 3. Графики зависимости располагаемой мощности турбины типа Т-123/130-130 ст. №4 от температуры наружного воздуха для двух вариантов реконструкции: *а* – вариант №1; *б* – вариант №2

Fig. 3. Graphs of the dependence of the available capacity of the turbine type T-123/130-130 st. №4 on the outside temperature: *a* – option N1; *b* – option N2

Ограничения мощности

Таблица 3

Table 3

Power limits

Месяц	Температура воздуха, °C	Расчетное ограничение мощности турбины ст. №4, $\Delta N_{\text{огр}}$, МВт			
		Вариант 1 с NC 20-25(3)	Вариант 1 с ОДГ-60/40+ ОДГ-60/25(2)+БСС-55	Вариант 1 с БЭВ-200	Вариант 2 с ОДГ-60/40+ ОДГ-60/25(2)+БСС-55
V	10,9	0	0	0,4	0
VI	15,7	0,1	1,0	6,5	4,7
VII	18,3	1,7	5,2	11,4	10,9
VIII	16,7	0,5	2,5	8,3	6,9
IX	11,4	0	0	0,8	0

Полученная зависимость суммарной располагаемой мощности турбин от температуры наружного воздуха при работе в конденсационном режиме свидетельствует о недостаточности охлаждающей способности градирни при повышении температуры наружного воздуха и ограничении по максимальному расходу пара установленных на турбинах конденсаторов. Решением данной проблемы является выбор лучшего оросительного устройства с большей поверхностью и водораспределительной системы градирни с качественным равномерным распределением жидкости по всей площади орошения и во всем объеме оросительного устройства [13].

По полученным графикам (см. рис. 3) для всех вариантов можно определить располагаемую мощность турбины типа Т-123/130-130 ст. №4 при фактических температурах наружного воздуха каждого месяца летнего периода работы ТЭЦ.

Установленная мощность турбины $N_{\text{уст}}$ Т-123/130-130 составляет 123 МВт. Отличие располагаемой мощности турбины от установленной связано с ограничениями по мощности. Расчетные ограничения мощности определяются по формуле

$$\Delta N_{\text{огр}} = N_{\text{уст}} - \sum N_{\text{расп}},$$

где $N_{\text{уст}}$ – установленная мощность турбины; $N_{\text{расп}}$ – располагаемая мощность турбины.

Полученные результаты сведены в табл. 3.

Таким образом, за счет снижения ограничения мощности, в частности на турбине типа Т-123/130-130 ст. №4, по сравнению с существ-

ующими ограничениями ТЭЦ будет получать значительно больше прибыли от коммерческого отбора мощности (КОМ).

Укрупненная оценка стоимости рассматриваемых вариантов была произведена ООО «Экотэп» на основании справочника базовых цен для строительства.

Оценка эффективности инвестиций, а также сравнение различных вариантов модернизации СТВС осуществлены при помощи динамических методов оценки эффективности; определялись: чистая текущая стоимость проекта (NPV), дисконтированный срок окупаемости (DPP), индекс рентабельности дисконтированных инвестиций (PI).

Для наглядности результаты технико-экономического сравнения вариантов сведены в табл. 4 и рис. 4.

Известно, что при повышении температуры происходит увеличение расхода топлива и более высокая температура поступающей на конденсацию пара воды накладывает более жесткие ограничения мощности турбоагрегата [14, 15]. Это и подтверждают результаты расчетов. Благодаря данной закономерности вариант с оросительным устройством NC 20-25(3), наиболее дорогим, но с наилучшей охлаждающей способностью, имеет наименьший дисконтированный срок (в составе варианта №1) – 9,0 лет, меньше, чем варианты с дешевыми, но с наименьшей охлаждающей способностью оросительными устройствами.

Таблица 4

Результаты технико-экономического сравнения

Table 4

Results of the technical and economic comparison

Вариант	Водопотребление, тыс. м ³ /год	Уменьшение водопотребления, тыс. м ³	Дополнительное энергопотребление собственными нуждами, тыс. кВт·ч	Суммарный расход топлива всеми энергоблоками, т.у.т.	Увеличение расхода топлива, т.у.т.	Капиталовложения (без учета НДС, 2016 г.), млн. руб.	Дисконтированный срок окупаемости, DPP, лет	Индекс рентабельности инвестиций, PI (15 лет после реализации)
БВ	99364	—	—	60005	—	—	—	—
№1 с NC	23357	76007	6661	74582	14577	229,3	9,0	0,12
№1 с ОДГ	23357	76007	6661	76338	16333	206,5	9,8	0,03
№1 с БЭВ	23357	76007	6661	78289	18283	204,3	13,2	-0,28
№2 с ОДГ	564	98800	12872	64796	4791	406,4	7,6	0,30
№3	92632	6732	1572	60005	0	39,0	14,6	-0,28

Вследствие перехода на оборотную СТВС появляются дополнительные затраты на электроэнергию собственных нужд, потребляемую циркуляционными насосами и вентиляторами градирен. Однако замена прямоточной СТВС на оборотную дает ощутимый прирост располагаемой мощности за счет снятия ограничений по условиям охраны водного бассейна. Кроме того, расход воды из р. Невы значительно уменьшается либо вовсе приходится только на подпитку оборотной СТВС.

Как с точки зрения окупаемости вложенных средств, так и по технологическим соображениям наиболее эффективным вариантом реконструкции является вариант №2 с четырьмя трехсекционными вентиляторными градирнями и применением оросительного устройства типа ОДГ-60/40 + ОДГ-60/25(2) + ВСС-55.

Заключение

Определен наиболее эффективный вариант реконструкции СТВС – вариант №2. На реализацию данного проекта потребуетсяся

406,4 млн руб (без учета НДС, цена 2018 г.). Дисконтированный срок окупаемости минимален и составляет 7,6 лет.

Состав сооружений в варианте реконструкции:

четыре трехсекционные вентиляторные градирни типа СВГ-192-3 (ООО «Экотэп» Санкт-Петербург, размер секции – 12×16 м, мощность электродвигателя – 90 кВт);

железобетонный водосборный бассейн градирни объемом 864 м³;

самотечные подводящие водоводы к аванкамере;

аванкамера габаритными размерами 18×12×4,5 м;

насосная станция с шестью вертикальными полупогруженными одноступенчатыми насосами компании Sulzer типа SJT-42CLC (6333 м³/ч, 27 м.вод.ст);

два циркуляционных (магистральных) водовода диаметром 1800 мм;

два отводящих водовода к градирням диаметром 1800 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О возможности применения прямоточных систем водоснабжения, используемых в целях охлаждения при проектировании ТЭС и АЭС. Электрические станции // Энергопрогресс. 2014. № 12. С. 27–34.
2. Ушаков Е.П., Ушакова С.Е. Водный рынок как институт рентных отношений водопользования // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2014. № 9. С. 39–49.
3. Гитинова К.Г. Основные тенденции изменения в налоговом законодательстве по водному налогу // Фундаментальные исследования. 2016. № 1 (часть 1). С. 121–126.
4. Реутов Б.Ф., Зисман С.Л., Лазарев М.В., Масленков А.А., Светушкин В.В., Попов О.А. О необходимости пересмотра законодательных актов, регламентирующих использование водных объектов для нужд энергетики // Электрические станции. 2017. № 9. С. 49–53.
5. Лаптев А.Г., Сергеев Е.С. Водоподготовка и водоочистка в энергетике // Вода: химия и экология. 2011. № 3. С. 33–40.
6. Лаптев А.Г., Ведягасова И.А. Устройство и расчет промышленных градирен: Монография. Казань: КГЭУ. 2004. 180 с.
7. Свердлин Б.Л., Шишов В.И., Пилипенко К.В. Практические рекомендации по выбору технологического оборудования при ремонте, строительстве и модернизации вентиляторных градирен (выбор оросительных устройств) // Химическая техника. 2004. № 1. С. 5–8.
8. Гельфанд Р.Е., Свердлин Б.Л., Шишов В.И. Коэффициенты тепло- и массоотдачи современных
- оросителей для технологических расчетов градирен // Электрические станции. 2006. № 2. С. 24–30.
9. Свердлин Б.Л. Методика проведения лабораторных испытаний оросительных устройств // Градирни и гидротехнические сооружения в системах техводоснабжения энергетических и промышленных предприятий: Материалы научно-практической конференции, 17–20 июня 2014 г. СПб., 2014. С. 7–11.
10. Zuniga-González I. Modelling heat and mass transfer in cooling towers with natural convection: Ph.D.thesis / Czech Technical University in Prague, 2005.
11. Зенович-Лешкевич-Ольпинский Ю.А., Широглазова Н.В., Зенович-Лешкевич-Ольпинская А.Ю. Совершенствование систем технического водоснабжения с градирнями с целью улучшения технико-экономических показателей тепловых электростанций. Часть 2 // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2016. № 4. С. 362–375.
12. Калатузов В.А. Повышение располагаемой мощности тепловых электростанций с градирнями: дис. ... канд. техн. наук / Иваново, 2003. 174 с.
13. Randhire Mayur A. Performance Improvement of Natural Draft Cooling Tower // International Journal of Engineering Research and Reviews (IJERR). 2014. Vol. 2. No. 1. P. 7–16.
14. Hemmasian Kashania M.M., Dobregob K.V. Heat and mass transfer in natural draft cooling towers // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2013. Vol. 86. No. 5. P. 1072–1082.
15. Sebald Joseph F. Cooling tower. Heat Power Products Corporation, Bloomfield, New Jersey, 2014.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ПОРОХОВ Владислав Николаевич – инженер ООО «Экотэн»

E-mail: porokhov_vlad@mail.ru

ЕРАНКИН Сергей Владимирович – ведущий инженер ООО «Экотэн»

E-mail: erankin@ekotep.ru

Дата поступления статьи в редакцию: 28.08.2018

REFERENCES

- [1] O vozmozhnosti primeneniya pryamotochnykh sistem vodosnabzheniya, ispolzuyemykh v tselyakh okhlazhdeniya pri proyektirovaniyu TES i AES. [On the possibility of using co-current water supply systems used for cooling purposes in the design of TPPs and nuclear power plants]. *Elektricheskiye stantsii. Energoprogress.* 2014. № 12. S. 27–34. (rus.)
- [2] Ushakov Ye.P., Ushakova S.Ye. Vodnyy rynok kak institut rentnykh otnosheniy vodopolzovaniya. [The water market as an institution for rental water use rela-

tions]. *Imushchestvennye otnosheniya v Rossiyskoy Federatsii.* 2014. № 9. S. 39–49. (rus.)

[3] **Gitinova K.G.** Osnovnyye tendentsii izmeneniya v nalogovom zakonodatelstve po vodnomu nalogu. [The main trends of changes in the tax law on water tax]. *Fundamentalnyye issledovaniya.* 2016. № 1 (chast 1). S. 121–126. (rus.)

[4] **Reutov B.F., Zisman S.L., Lazarev M.V., Maslenkov A.A., Svetushkov V.V., Popov O.A.** O neobkhodimosti peresmotra zakonodatelnykh aktov, reglamentiruyushchikh ispolzovaniye vodnykh obyektov dlya nuzhd energetiki. [On the need to review legislative acts regulating the use of water bodies for energy needs]. *Elektricheskiye stantsii.* 2017. № 9. S. 49–53. (rus.)

[5] **Laptev A.G., Sergeyev Ye.S.** Vodopodgotovka i vodoochistka v energetike. [Water treatment and water purification in power engineering]. *Voda: khimiya i ekologiya.* 2011. № 3. S. 33–40. (rus.)

[6] **Laptev A.G., Vedgayeva I.A.** Ustroystvo i raschet promyshlennyykh gradirev: Monografiya. [Design and calculation of industrial cooling towers: Monograph]. Kazan: KGEU. 2004. 180 s. (rus.)

[7] **Sverdin B.L., Shishov V.I., Pilipenko K.V.** Prakticheskiye rekomendatsii po vyboru tekhnologicheskogo oborudovaniya pri remonte, stroitelstve i modernizatsii ventilyatornykh gradirev (vybor orositelnykh ustroystv). [Practical recommendations for the selection of process equipment for the repair, construction and modernization of fan cooling towers (selection of irrigation devices)]. *Khimicheskaya tekhnika.* 2004. № 1. S. 5–8. (rus.)

[8] **Gelfand R.Ye., Sverdin B.L., Shishov V.I.** Koefitsiyenty teplo- i massootdachi sovremenneykh orositeley dlya tekhnologicheskikh raschetov gradirev. [Coefficients of heat and mass transfer of modern irrigators for technological calculations of cooling towers]. *Elektricheskiye stantsii.* 2006. № 2. S. 24–30. (rus.)

[9] **Sverdin B.L.** Metodika provedeniya laboratornykh ispytaniy orositelnykh ustroystv. [Method of conducting laboratory tests of irrigation devices]. *Gradirni i gidrotekhnicheskiye sooruzheniya v sistemakh tekhvodosnabzheniya energeticheskikh i promyshlennyykh predpriyatiy: Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii,* 17–20 iyunya 2014g. SPb., 2014. C. 7–11. (rus.)

[10] **Zuniga-González I.** Modelling heat and mass transfer in cooling towers with natural convection: Ph.D.thesis / Czech Technical University in Prague, 2005.

[11] **Zenovich-Leshkevich-Olpinskiy Yu.A., Shiroglazova N.V., Zenovich-Leshkevich-Olpinskaya A.Yu.** Sovrshenstvovaniye sistem tekhnicheskogo vodosnabzheniya s gradirnyami s tselyu uluchsheniya tekhniko-ekonomiceskikh pokazateley teplovyykh elektrostantsiy. Chast 2. [Improvement of technical water supply systems with cooling towers in order to improve the technical and economic performance of thermal power plants. Part 2]. *Energetika. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy i energeticheskikh obyedineniy SNG.* 2016. № 4. S. 362–375 (rus.)

[12] **Kalatuzov V.A.** Povysheniye rasspolagayemoy moshchnosti teplovyykh elektrostantsiy s gradirnyami: diss. [Increase in the available capacity of thermal power plants with cooling towers: dissertation]. kand.tehn. nauk. Ivanovo, 2003. 174 s. (rus.)

[13] **Randhire Mayur A.** Performance Improvement of Natural Draft Cooling Tower. *International Journal of Engineering Research and Reviews (IJERR).* 2014. Vol. 2. No. 1. P. 7–16/

[14] **Hemmasian Kashania M.M., Dobregob K.V.** Heat and mass transfer in natural draft cooling towers. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics.* 2013. Vol. 86. No. 5. P. 1072–1082.

[15] **Sebald Joseph F.** Cooling tower. Heat Power Products Corporation, Bloomfield, New Jersey, 2014.

THE AUTHORS

POROKHOV Vladislav N. – LTD «Ecotep»

E-mail: porokhov_vlad@mail.ru

ERANKIN Sergei V. – LTD «Ecotep»

E-mail: erankin@ekotep.ru

Received: 28.08.2018