



DOI: 10.18721/JEST.240304
УДК 621.175.3

В.В. Савченко¹, С.В. Еранкин², С.В. Скулкин¹

1 – Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия

2 – АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», Санкт-Петербург, Россия

РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕХВОДОСНАБЖЕНИЯ ИРИКЛИНСКОЙ ГРЭС

В статье рассмотрены варианты реконструкции действующей системы технического водоснабжения Ириклинской ГРЭС со строительством группы гидроохладителей. С 2015 года действует постановление Правительства Российской Федерации об ежегодном увеличении платы за пользование водными объектами, находящимися в федеральной собственности. Для эффективного расходования денежных средств предприятия принято решение о реконструкции с целью увеличения объема повторно используемой воды. Предложен вариант рационального размещения водозаборных сооружений и гидроохладителей. Приведены результаты тепловых расчетов совместной работы системы техводоснабжения и энергоблоков. На основании проведенного технико-экономического сравнения выбран наиболее эффективный вариант реконструкции.

Ключевые слова: система технического водоснабжения, реконструкция, башенные градирни, вентиляторные градирни, повторное использование воды.

Ссылка при цитировании:

В.В. Савченко, С.В. Еранкин, С.В. Скулкин. Реконструкция системы техводоснабжения Ириклинской ГРЭС // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2018. Т. 24. № 3. С. 45–55. DOI: 10.18721/JEST.240304.

V.V. Savchenko¹, S.V. Erankin², S.V. Skulkin¹

1 – Peter the Great St. Petersburg polytechnic university, St. Petersburg, Russia

2 – «B.E. Vedeneev VNIIG», JSC, St. Petersburg, Russia

RECONSTRUCTION OF THE SYSTEM OF TECHNICAL WATER SUPPLY OF IRIKLINSKAYA GRES

The paper reviews the options of reconstruction of the operating system of technical water supply of Irikliinskaya GRES with the construction of a group of cooling towers. The Decree of the Government of the Russian Federation on the annual increase in a payment for use of water objects that are in federal ownership entered into force in 2015. In order to effectively spend the enterprise's money, a decision of reconstruction has been made, with the purpose of increasing the volume of recycled water. The option for rational placement of water intake constructions and cooling towers has been offered. We have presented the results of thermal calculations for joint operation of the system of technical water supply and power units. The most effective reconstruction option has been chosen based on technical and economic comparison.

Keywords: system of technical water supply, reconstruction, natural draft cooling towers, mechanical cooling tower, water reuse.

Citation:

V.V. Savchenko, S.V. Erankin, S.V. Skulkin, Reconstruction of the system of technical water supply of Irikliinskaya GRES, *St. Petersburg polytechnic university journal of engineering science and technology*, 24(03)(2018) 45–55, DOI: 10.18721/JEST.240304.

Введение

Большинство крупных государственных районных электростанций (ГРЭС), эксплуатируемых в настоящее время на территории Российской Федерации, используют прямоточную систему охлаждения оборудования, при этом потребляя значительное количество воды из природных источников [1–3].

Согласно Постановлению Правительства РФ № 1509 «О ставках платы за пользование водными объектами» [4] начиная с 2015 года предусмотрена ежегодная индексация ставок в сторону увеличения. В среднем рост платы за водопользование составит 15 % в год, что приведет к значительному росту расходов по статье водопользование. Такая перспектива делает актуальным вопрос реализации мероприятий по сокращению затрат за пользование водными объектами, находящимися в федеральной собственности.

Один из основных способов решения этой проблемы – увеличение повторного использования воды до 40–50 % за счет направления нагретой воды из отводящего канала в подводящий через линию рециркуляции (обводной канал). Дальнейшее увеличение доли рециркуляции

приведет к значительному росту температур охлаждающей воды, поэтому для поддержания рабочего уровня температур потребуются включение в систему дополнительных гидроохладителей – градирен [5–14]. 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.

После выхода вышеупомянутого Постановления Правительства РФ руководство Ириклинской ГРЭС (ИГРЭС) проявило заинтересованность в увеличении объема повторно используемой воды в системе рециркуляции за счет строительства башенных или вентиляторных градирен.

Целью работы является выбор наиболее эффективного варианта реконструкции системы технического водоснабжения (СТВС) ИГРЭС на основе технико-экономического сравнения разрабатываемых вариантов.

Существующая система техводоснабжения

Ириклинская ГРЭС располагается на северо-востоке Оренбургской области в пределах Новорского административного района, на левобережье Ириклинского водохранилища (рис. 1).



Рис. 1. Вид Ириклинской ГРЭС с высоты птичьего полета
Fig. 1. Iriklinskaya GRES

Первая очередь введена в эксплуатацию в 1975 году, вторая – в 1979-м.

На ИГРЭС установлено 8 энергоблоков с паровыми конденсационными турбинами типа К-300-240. Суммарная установленная электрическая мощность составляет $\Sigma N_{\text{уст}} = 8 \times 300 = 2400$ МВт.

Система техводоснабжения ИГРЭС является комбинированной (прямоточно-оборотная) и состоит из следующих сооружений: береговых насосных станций (БНС) первого и второго подъемов, промежуточного бьефа, напорных и сбросных водоводов, отводящего и обводного каналов, регулирующего сооружения № 1, Ириклинского водохранилища.

Через БНС-1 происходит забор воды из водохранилища. Далее через подводящий канал (промежуточный бьеф) вода поступает к БНС-2, которая перекачивает ее к конденсаторам паровых турбин. Часть воды до конденсаторов отводится на охлаждение и работу вспомогательного оборудования (теплообменники, эжекторы и пр.). Затем отработавшая вода от

вспомогательного оборудования поступает в сбросные водоводы после конденсаторов и охлаждает нагретую воду за счет разбавления. После конденсаторов турбин вода поступает к отводящему каналу и далее сбрасывается в водохранилище.

В зимний период эксплуатации часть нагретой воды уходит через шандорный колодец (ШК) на входной участок обводного канала, закрывая до 50 % от общего водопотребления. Таким образом, обратная составляющая водоснабжения по обводному каналу возвращается самотеком в подводящий канал и далее на всос насосов БНС-2. Регулирующее сооружение № 1, расположенное на выходном участке обводного канала, представляет собой сегментный затвор, который предназначен для регулирования расходов воды в канале.

На основе предоставленных станцией данных была проанализирована работа ИГРЭС (табл. 1) и выполнен тепловой расчет ее базового режима работы. Укрупненная балансовая схема водных потоков представлена на рис. 2.

Таблица 1

Расчетный режим работы ИГРЭС

Table 1

Design mode of the Iriklynskaya GRES

Наименование показателя, ед. измерения	Значение показателя		
	В зимний период (ноябрь – май)	В летний период (июнь – октябрь)	За год
Продолжительность периода, τ, час	5088	3672	8760
Количество энергоблоков в работе (среднее за 2013-15 гг.)	5	5	5
Средняя конд. мощность одного блока, $N_{\text{конд}}$, МВт (по данным за 2013-15 гг.)	230,5	242,2	–
Выработка э/энергии всеми энергоблоками, $\Sigma \mathcal{E}_{\text{конд}} = \Sigma(N_{\text{конд}} \cdot \tau)$	–	–	10 311 000
То же в среднем за 2013-15 гг.	–	–	10 670 000
Условный расход условного топлива, $b_{\text{выр}}$, кВтч/год	–	–	330,7
Расход охлаждающей воды на один блок, $W_{\text{бл}}$, м ³ /ч	36 671	40 628	–
В том числе:			
на вспом. оборудование, $W_{\text{всп}}$, м ³ /ч	5115	5115	–
на конденсатор	31 556	35 513	–
Суммарный расход воды на энергоблоки, $\Sigma W_{\text{бл}}$, м ³ /ч	183 355	203 140	–
Средняя за 2013-15 гг. температура воды из водохранилища, $t_{\text{вхр}}$, °С	3,0–11,6	11,6–19,9	–

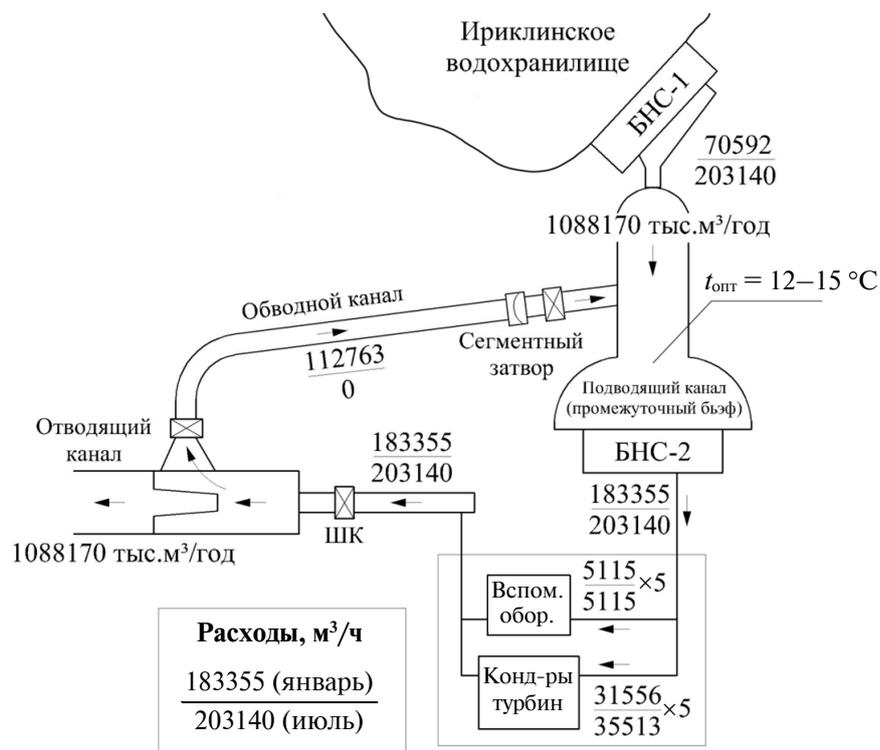


Рис. 2. Балансовая схема водных потоков в системе техводоснабжения Ириклинской ГРЭС (существующее положение)

Fig. 2. Balance sheet of water flows in the water supply system in Irikliinskaya GRES (current situation)

Варианты реконструкции системы техводоснабжения

С целью увеличения доли рециркуляции и уменьшения водопотребления далее будет рассмотрена реконструкция со строительством насосной станции и градирен (вентиляторных или башенных) для следующих вариантов производительности: 60000, 80000 и 100000 м³/ч.

Предусматривается, что в системе рециркуляции будут возведены следующие сооружения: водозаборные сооружения, насосная станция, циркуляционные водоводы, камера переключений, регулирующее сооружение № 2 на обводном канале, камера расходомеров, гидроохладители (рис. 3), водосбросы с гидроохладителями.

В качестве основного оборудования рассматриваются:

центробежные насосы типа Д12500-24 (12500 м³/ч, 24 м вод. ст.);

вентиляторные четырехсекционные градирни с оросителем комбинированного типа (размер секции 12×16 м, $N_{дв.р} = 90$ кВт);

башенные градирни БГ-3200 с оросителем комбинированного типа ($F_{ор} = 3200$ м²).

Для удобства сопоставления результатов в расчетах была принята одинаковая плотность орошения на градирнях. Расходы повторно используемой воды в рассматриваемых вариантах указаны в табл. 2.

Выбор места расположения насосной станции

Было рассмотрено несколько вариантов размещения водозаборных сооружений на генплане (рис. 4).

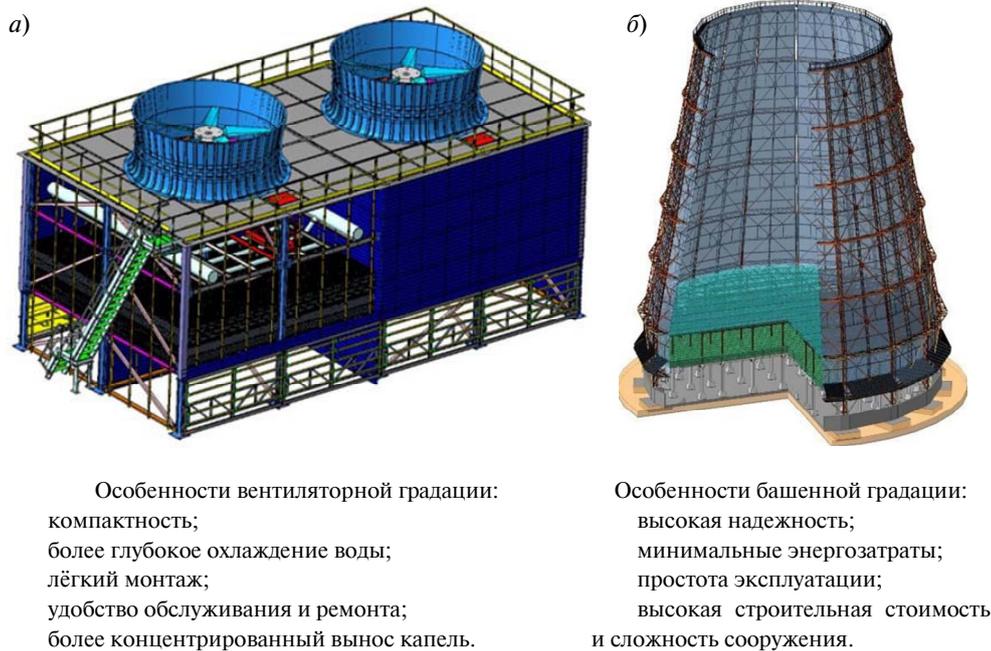


Рис. 3. Градирни
 Fig. 3. Cooling towers options

Таблица 2

Варианты реконструкции

Table 2

Options of reconstruction

Номер варианта	Кол-во градирен	Кол-во секций градирен	Суммарная площадь орошения, м ²	Сумм. расход воды $\Sigma W_{град}$, м ³ /ч	Кол-во насосов Д12500-24
<i>Вентиляторные градирни</i>					
1	4	16	3072	49600	4
2	6	24	4608	74400	6
3	8	32	6144	99200	8
<i>Башенные градирни БГ-3200</i>					
4	1	—	3200	37440	3
5	2	—	6400	74880	6
6	3	—	9600	112320	9

Вариант № 1. Водозаборные сооружения предполагается разместить в отводящем канале ГРЭС до полигонального водослива. Один из основных недостатков этого варианта – сложности производства работ в условиях действующего канала. Для строительства водозаборных сооружений в сухом котловане необходимо выполнить работы по устройству

верховой перемычки котлована. Это может потребовать вывод из работы одного из железобетонных закрытых отводящих каналов, что, в свою очередь, может повлечь за собой вывод из работы части турбоагрегатов на время строительства. Данный вариант не рационален и не может быть рекомендован к строительству.

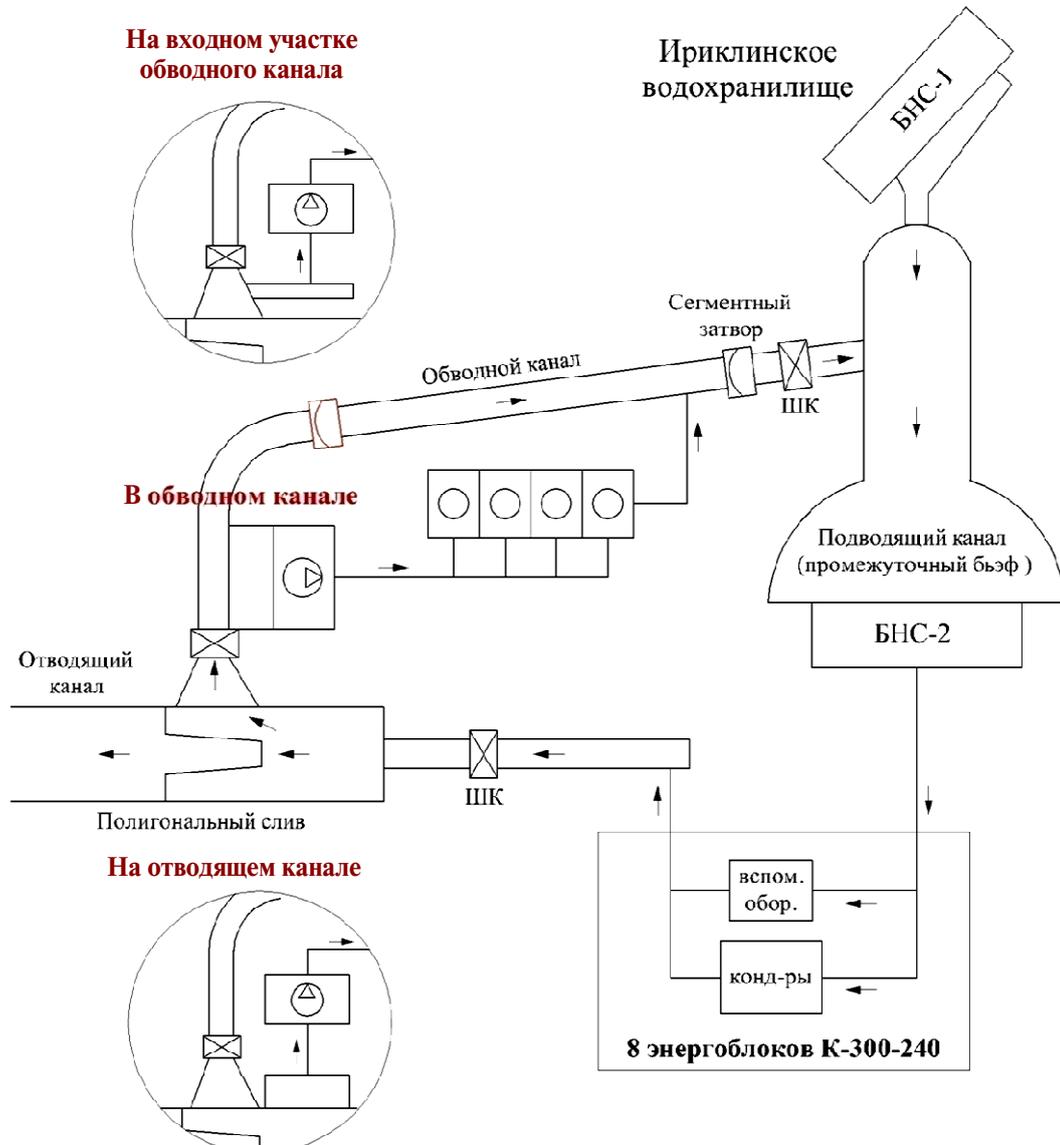


Рис. 4. Варианты размещения водозаборных сооружений
 Fig. 4. Water intake placement options

Вариант № 2. Водозаборные сооружения предполагается разместить на входном участке обводного канала до шандорного колодца. В этом варианте менее трудоемко решается вопрос по устройству верхней перемычки для организации строительства водозаборных сооружений в сухом котловане. В связи с минимальными транзитными скоростями воды в этом месте верхнюю перемычку котлована можно выполнить из сборного железобетона. Герметизацию перемычки можно произвести как с помощью мембраны, так и с использова-

нием специальных материалов или конструкций. Недостатком данного варианта можно считать большие работы по разборке монолитных конструкций подпорных стен входного участка обводного канала. Этот вариант также не может быть рекомендован к строительству.

Вариант № 3. Водозаборные сооружения предполагается разместить в обводном канале после шандорного колодца и водослива с широким порогом. В этом варианте устройство верхней перемычки не требуется; организация сухого котлована достигается установкой шандор в

шандорном колодце и закрытием сегментного затвора в регулирующем сооружении № 1 (нижний бьеф). Данное решение упрощает работы по организации сухого котлована. Кроме того, такое размещение сооружений уменьшает трудоемкость работ по разборке бетонных конструкций: потребуется только демонтаж тонких железобетонных плит крепления откосов канала. Стоит отметить, что такое расположение водозаборных сооружений предпочтительно.

Из рассмотренных вариантов следует, что наиболее рационально (рис. 5):

водозабор циркуляционной насосной станции (ЦНС) расположить в обводном канале после шандорного колодца;

градирни разместить вдоль обводного канала.

Результаты расчетов

Тепловые расчеты совместной работы энергоблоков и системы техводоснабжения с градирнями были проведены в соответствии с методикой, опубликованной в [15]. Для оценки эффективности инвестиций, а также сравнения различных вариантов модернизации СТВС с помощью динамических методов оценки эффективности [16] определяли: чистую текущую стоимость проекта, дисконтированный срок окупаемости, индекс рентабельности дисконтированных инвестиций.

Результаты технико-экономических расчетов для сравнения вариантов реконструкции с существующим положением приведены в табл. 3, 4, а также на графиках рис. 6.

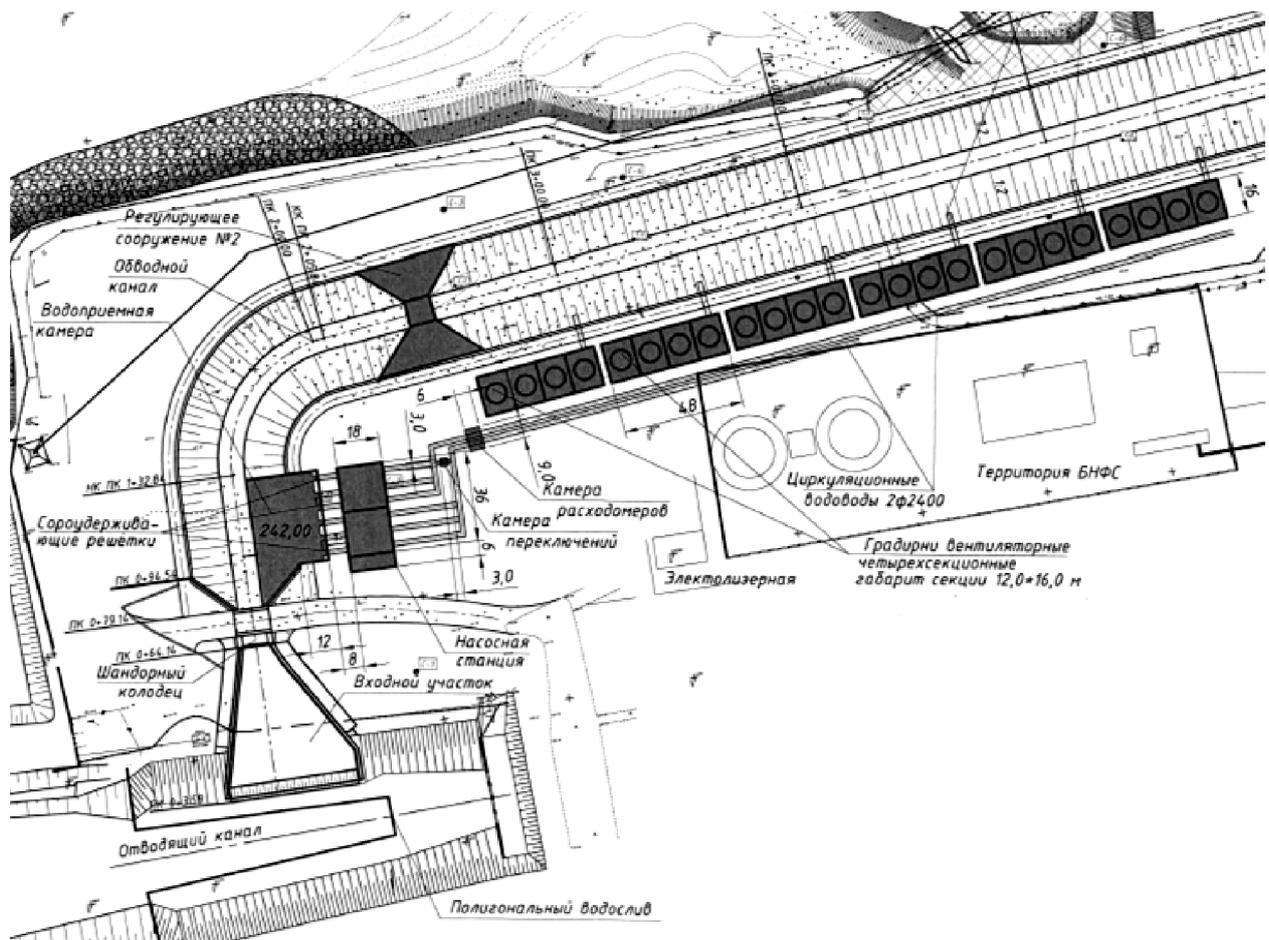


Рис. 5. План размещения сооружений
Fig. 5. Construction plan

Таблица 3

Результаты технико-экономического сравнения вентиляторных градирен

Table 3

Results of technical-economic comparison of mechanical cooling towers

Наименование показателя	Значения показателя в разных вариантах			
	Базовый вариант	№1	№2	№3
Сумм. расход воды на градирни, м ³ /ч	0	50000	75000	100000
Количество насосов, $n_{\text{ин}}$	—	4	6	8
Количество градирен, $n_{\text{гр}}$	—	4	6	8
количество секций, $n_{\text{секц}}$	—	16	24	32
Водопотребление, тыс.м ³ /год	1088170	686069	604010	546838
Уменьшение водопотребления, тыс.м ³	—	402102	484160	541332
Дополнит. мощность на с/н, МВт $N_{\text{доп}} = n_{\text{ин}} \cdot 1000 \text{ кВт} + n_{\text{секц}} \cdot 90 \text{ кВт}$	—	5,4	8,2	10,9
Дополнит. э/энергия на с/н, тыс.кВтч $\text{Э}_{\text{доп}} = N_{\text{доп}} (8760 - 744/2 - 744/2 - 720/2)$	—	41649	62473	83297
Дополнит. расход топлива на собст. нужды, т у.т.	—	14065	21062	27992
Перерасход топлива из-за изменения давления в конденсаторе, т у.т.	18648	53620	47971	36942
Увеличение перерасхода топлива из-за изменения давления в конденсаторе, т у.т.	—	34972	29323	18294
Суммарное увеличение перерасхода топлива, т у.т.	—	49037	50386	46286
Капиталовложения, млн руб. (2016 г., без учета НДС)	—	899,2	1151,4	1409,7
Дисконтированный срок окупаемости, DPP, лет	—	11,4	10,9	13,5
УРУТ среднегодовой, г/(кВт·ч)	332,5	337,7	337,1	336,0
Индекс рентабельности инвестиций (PI) 15 лет после реализации	—	0,39	0,44	0,15

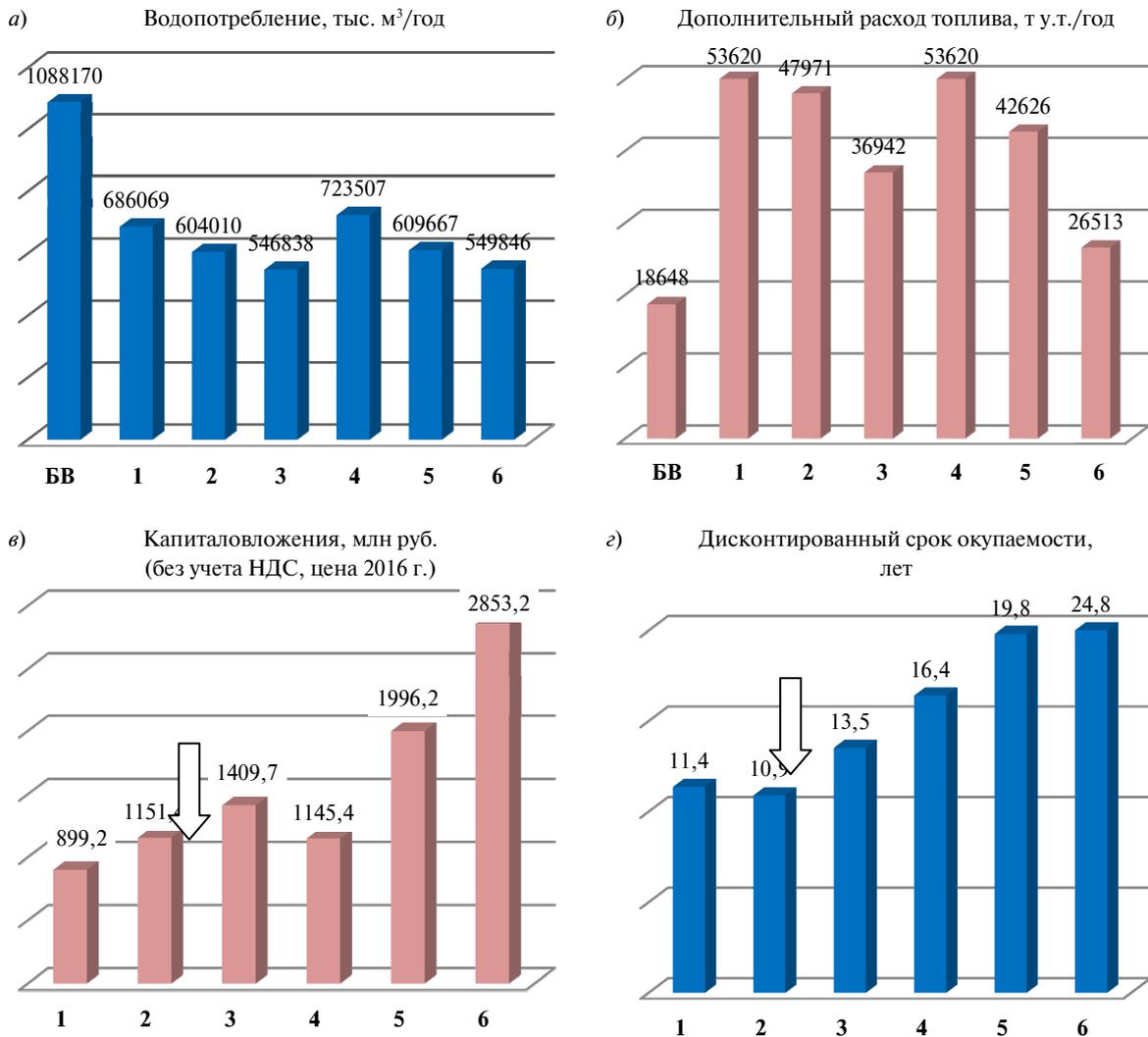
Таблица 4

Результаты технико-экономического сравнения башенных градирен

Table 4

Results of technical-economic comparison of natural draft cooling towers

Наименование показателя	Значения показателя в разных вариантах			
	Базовый вариант	№4	№5	№6
Сумм. расход воды на градирни, м ³ /ч	0	37500	75000	112000
Количество насосов, $n_{\text{ин}}$	—	3	6	9
Количество градирен, $n_{\text{гр}}$	—	1	2	3
количество секций, $n_{\text{секц}}$	—			
Водопотребление, тыс. м ³ /год	1088170	723507	609667	549846
Уменьшение водопотребления, тыс. м ³	—	364663	478503	538324
Дополнит. мощность на с/н, МВт $N_{\text{доп}} = n_{\text{ин}} \cdot 1000 \text{ кВт} + n_{\text{секц}} \cdot 90 \text{ кВт}$	—	3,0	6,0	9,0
Дополнит. э/энергия на с/н, тыс. кВтч $\text{Э}_{\text{доп}} = N_{\text{доп}} (8760 - 744/2 - 744/2 - 720/2)$	—	22968	45936	68904
Дополнит. расход топлива на собст. нужды, т у.т.	—	7757	15191	22787
Перерасход топлива из-за изменения давления в конденсаторе, т у.т.	18648	53620	42626	26513
Увеличение перерасхода топлива из-за изменения давления в конденсаторе, т у.т.	—	34972	23979	7865
Суммарное увеличение перерасхода топлива, т у.т.	—	42721	39170	30652
Капиталовложения, млн руб. (2016 г., без учета НДС)	—	1145,4	1996,2	2853,2
Дисконтированный срок окупаемости, DPP, лет	—	16,4	19,8	24,8
УРУТ среднегодовой, г/(кВт·ч)	332,5	337,4	334,8	333,2
Индекс рентабельности инвестиций (PI) 15 лет после реализации	—	-0,02	-0,13	-0,26



БВ – базовый вариант;

Вентиляторные градирни: № 1 – 50 000 м³/ч, №2 – 75 000 м³/ч, №3 – 100 000 м³/ч.

Башенные градирни: №4 – 37 500 м³/ч, №5 – 75 000 м³/ч, №6 – 112 000 м³/ч.

Рис. 6. Сравнение вариантов реконструкции

Fig. 6. Comparison of reconstruction options

Укрупненная оценка стоимости рассматриваемых вариантов была произведена в АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» (г. Санкт-Петербург) на основании смет, разработанных с помощью сборника и справочника базовых цен для строительства.

Как с точки зрения окупаемости вложенных средств, так и с точки зрения строительства наиболее эффективен вариант реконструкции № 2 с установкой шести вентиляторных градирен с суммарной производительностью 75000 м³/ч.

Закключение

После проведения технико-экономического сравнения вариантов реконструкции комбинированной системы техводоснабжения Ириклинской ГРЭС выявлено, что с точки зрения окупаемости вложенных средств наилучшим является вариант № 2.

На реализацию этого варианта потребуется 1151,4 млн руб. (без учета НДС, в ценах 2016 г.). Дисконтированный срок окупаемости мини-

мален и составляет 10,9 лет. Оптимальная величина повторно расходуемой воды в системе рециркуляции с градирнями составляет 75 000 м³/ч.

Состав сооружений в варианте реконструкции: водозаборное сооружение в обводном канале после шандорного колодца, насосная станция с шестью насосами типа Д12500-24 ($N_{дв} = 1000$ кВт), циркуляционные водоводы, камера переключений, регулирующее соору-

жение № 2 на обводном канале (до сброса воды с градирен), камера расходомеров, шесть вентиляторных четырехсекционных градирен (размер градирни – 48×16 м, $\Sigma N_{дв}^{гр} = 4 \cdot 90 = 360$ кВт), водосбросы с гидроохладителями.

Подключение насосов и трансформаторов 6/0,4 кВ электропитания проектируемых градирен с помощью кабельных линий 6 кВ к существующим собственным нуждам Ириклинской ГРЭС – самый дешевый и надежный вариант.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Рыжкин В.Я.** Тепловые электрические станции / Под ред. В.Я. Гиршфельда. М.: Энергоатомиздат, 1987. 328 с.
2. **Сорокина Б.А., Макарова Е.В., Пильцова Н.К.** Классификация систем технического водоснабжения ТЭС // Энергетик. 2016. № 5. С. 29–32.
3. О возможности применения прямоточных систем водоснабжения, используемых в целях охлаждения при проектировании ТЭС и АЭС // Электрические станции. 2014. № 12. С. 27–34.
4. Постановление Правительства РФ № 1509 от 26 декабря 2014 г.
5. **Пономаренко В.С.** Градирни промышленных и энергетических предприятий: справочное пособие. М.: Энергоатомиздат, 1998. 376 с.
6. **Свердлин Б.Л., Шишов В.И., Пилипенко К.В.** Практические рекомендации по выбору технологического оборудования при ремонте, строительстве и модернизации вентиляторных градирен // Химическая техника. 2004. № 1. С. 5–8.
7. **Доброхотов В.И.** Основные направления экономии топлива на тепловых электростанциях // Теплоэнергетика. 1985. № 9. С. 38–43.
8. **Еранкин С.В.** Повышение эффективности и надежности работы башенных градирен на ТЭС // Материалы научно-практической конференции «Градирни и гидротехнические сооружения энергетических и промышленных предприятий». СПб. 2014. С. 66–72.
9. **Ростунцова И.А., Шевченко Н.Ю.** Оценка эффективности схем модернизации системы технического водоснабжения АЭС // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 9. С. 612–617.
10. **Калатузов В.А.** Влияние систем технического водоснабжения с градирнями на технико-экономические показатели тепловых станций // Энергосбережение и водоподготовка. 2009. № 6. С. 12–16.
11. **Кононов Д.Ю., Евдокимова В.М.** Сравнение стоимости производства электроэнергии на зарубежных электростанциях // Электрические станции. 2017. № 6. С. 9–11.
12. **Петросян В.Г., Егоян Э.А.** Анализ возможности повышения эффективности охлаждения воды в испарительных градирнях Армянской АЭС // Теплоэнергетика. 2015. № 10. С. 30–35.
13. **Реутов Б.Ф., Лазарев М.В., Ермакова С.В., Зисман С.Л., Капланович Л.С., Светушков В.В.** Сравнительная характеристика систем охлаждения энергетического оборудования ТЭС и АЭС // Теплоэнергетика. 2016. № 7. С. 12–19.
14. **Сосновский С.К., Кравченко В.П.** Коэффициент эффективности работы вентиляторных и башенных градирен // Теплоэнергетика. 2014. № 9. С. 20–25.
15. Методические указания по определению и согласованию ограничений установленной электрической мощности тепловых и атомных электростанций / СО ЦДУ ЕЭС. М. 2013. 98 с.
16. Методические рекомендации по оценке эффективности инноваций на этапе проекта. М., 2014. С. 11–20.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

САВЧЕНКО Валерий Викторович – студент Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого

E-mail: pioh312@gmail.com

ЕРАНКИН Сергей Владимирович – ведущий инженер АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

E-mail: erankin@mail.ru



СКУЛКИН Сергей Валерьевич — кандидат технических наук доцент Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого
E-mail: skulkin@nil-teplo.ru

Дата поступления статьи в редакцию: 16.06.2017

REFERENCES

- [1] **Ryzhkin V.Ya.** Thermal power stations. Moscow. Energoatomizdat. 1987. 328 p. (rus.)
- [2] **Sorokina A.B., Makarova E.V., Pilcova N.K.** Classification of systems of technical water supply of power plants. *Energetick.* 2016. № 5. S. 29–32. (rus.)
- [3] About possibility of application of direct flow water supply systems used for cooling at design of TPP and NPP. *Power technology and Engineering.* 2014. № 12. S. 27–34. (rus.)
- [4] Resolution of the Government of the Russian Federation №1509 from December 26, 2014. (rus.)
- [5] **Ponomarenko V.S.** Cooling towers of industrial and energy enterprises M.: Energoatomizdat. 1998. 376 p. (rus.)
- [6] **Sverdlin B.L., Shishov V.I., Pilipenko K.V.** Practical recommendations on the choice of technological equipment for the repair, construction and modernization of mechanical cooling towers. *Chemical engineering.* 2004. № 1. P. 5–8. (rus.)
- [7] **Dobrokhotoy V.I.** Main directions of fuel economy at TPP. *Thermal Engineering.* 1985. № 9. P. 38–43. (rus.)
- [8] **Erankin S.V.** Improving the efficiency and reliability of natural draft cooling towers at thermal power plants. *Materials of scientific and practical conference «Cooling towers and hydrotechnical building of power and industrial enterprises».* Saint-Petersburg. 2014. S. 66–72. (rus.)
- [9] **Rostuntsova I.A., Shevchenko N.Yu.** Evaluation of shemes modernization of the system of technical water supply of NPP. *International journal of applied and fundamental research. Technical sciences.* 2015. № 9. P. 612–617. (rus.)
- [10] **Kalatuzov V.A.** Influence of technical water supply systems with cooling towers on technical and economic indicators of TPP. *Energy saving and water treatment.* 2009. № 6. S. 12–16. (rus.)
- [11] **Kononov. D.Yu., Evdokimova V.M.** Comparison of the cost of electricity production at foreign power plants. *Power technology and Engineering.* 2017. № 6. S. 9–11. (rus.)
- [12] **Petrosyan V.G., Egoyan E.A.** Analysis of the possibility of improving the efficiency of water cooling in the evaporative cooling towers of The Armenian NPP. *Thermal Engineering.* 2015. № 10. S. 30–35. (rus.)
- [13] **Reutov B.F., Lazarev M.V., Ermakova S.V., Zisman S.L., Kaplanovich L.S., Svetushkov V.V.** Comparative characteristics of cooling systems of power equipment of TPP and NPP. *Thermal Engineering.* 2016. № 7. S. 12–19. (rus.)
- [14] **Sosnovskiy S.K., Kravchenko V.P.** The coefficient of efficiency of the mechanical and natural draft cooling towers. *Thermal Engineering.* 2014. № 9. S. 20–25. (rus.)
- [15] Methodical instructions for the definition and coordination of the limitations of the installed electric capacity of thermal and nuclear power plants / System operator of the Unified energy system. Moscow, 2013. 98 p. (rus.)
- [16] Methodological recommendations for evaluating the effectiveness of innovations at the project stage. Moscow, 2014. (rus.)

THE AUTHORS

SAVCHENKO Valerii V. — Peter the Great St. Petersburg polytechnic university

E-mail: pioh312@gmail.com

ERANKIN Sergei V. — «B.E. Vedeneev VNIIG», JSC.

E-mail: erankin@mail.ru

SKULKIN Sergei V. — Peter the Great St. Petersburg polytechnic university

E-mail: skulkin@nil-teplo.ru

Received: 16.06.2017