



№5
(145)
ОКТАБРЬ
2023

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ВОДОПОДГОТОВКА

Об эффективности регулирования высокотемпературного агрегата нефтеперерабатывающего завода

Резанов Е.М., Стариков А.П., Финиченко А.Ю., Кушнарченко А.В.

(Омский государственный университет путей сообщения)

Стр. 15

Модель экспериментальной установки по исследованию импульсного воздействия на теплонапряженные элементы технических устройств

Марюшин Л.А., Тихонова Д.А., Ефремов А.Е., Мовилэ Ю., Ефремов А.Е.

(Московский политехнический университет)

Стр. 35

Использование перепадных колодцев на самотечных сетях канализации для выработки электрической энергии

Продоус О.А., Шипилов А.А., Бляшко Я.И.

(ООО «СпецСтройПроект»; АО МНТО «ИНСЭТ»)

Стр. 59



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
Издается с 1997 года

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ВОДОПОДГОТОВКА

№ 5 (145)

2023, Октябрь

✓ Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК РФ для публикации результатов кандидатских и докторских исследований под порядковым номером 2931 по состоянию на 12.10.2023г., а также входит во все предыдущие подобные Перечни изданий ВАК РФ со времени их появления и начала издания журнала.

✓ Журнал включен в международную реферативную базу данных CAS(pt) – Chemical Abstracts, библиографическую базу данных – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Научные специальности:

- 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки);
- 2.4.5. Энергетические системы и комплексы (технические науки);
- 4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса (технические науки).

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

д.т.н., профессор, Р.А. Амерханов
ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
инженер, Ю.С. Марченко

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

д.т.н., д.пед.н., профессор, О.В. Григораш
ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА
д.т.н., профессор, И.В. Юдаев

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

АЛХАСОВ А.Б. – д.т.н., профессор, директор ИП-ГВЭ ОИВТ РАН.

БЕКИРОВ Э.А. – д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Электроэнергетика и электротехника», ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского».

БУТУЗОВ В.А. – д.т.н., доцент, профессор кафедры «Электротехника, теплотехника и возобновляемые источники энергии», ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ.

ВЕЛЬКИН В.И. – д.т.н., профессор, профессор кафедры «Атомные электростанции и возобновляемые источники энергии», ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

ЕЛИСТРАТОВ В.В. – д.т.н., профессор, директор НОЦ «Возобновляемые виды энергии и установки на их основе», профессор ВШ гидротехнического и энергетического строительства, СПбПУ Петра Великого.

КИРПИЧНИКОВА И.М. – д.т.н., профессор, профессор кафедры «Электрические станции, сети и системы электроснабжения», ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)».

НАГАЙ В.И. – д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Электрические станции и электроэнергетические системы», ЮРГПУ (НПИ).

НЕМИРОВСКИЙ А.Е. – д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Электрооборудование», ФГБОУ ВО «ВолГУ».

ОСЬКИН С.В. – д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Электрические машины и электропривод», ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ.

ПАВЛЕНКО А.В. – д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Электромеханика и электрические аппараты», ЮРГПУ (НПИ).

САМАРИН Г.Н. – д.т.н., доцент, главный научный сотрудник, зав. лабораторией переработки сельскохозяйственной продукции отдела механизации и автоматизации процессов в животноводстве ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.

ТИХОМИРОВ Д.А. – д.т.н., член-корреспондент РАН, зав. отделом энергообеспечения и электротехнологий АПК, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.

ТЯГУНОВ М.Г. – д.т.н., профессор, профессор кафедры «Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии», ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ».

ЩЕКЛЕИН С.Е. – д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Атомные электростанции и возобновляемые источники энергии», ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

ЯКИМОВИЧ Б.А. – д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Возобновляемые источники энергии и электрические системы и сети», СевГУ.

Журнал зарегистрирован
Государственным Комитетом
Российской Федерации по печати.
Свидетельство № 016042
от 30 апреля 1997 г.
Свидетельство о перерегистрации
ПИ № ФС77-84706
от 06 февраля 2023 г.

Учредитель:
ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ

Журнал издается на средства
учредителя

Подписной индекс
42815 – «Урал-Пресс»

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
Издается с 1997 года

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ВОДОПОДГОТОВКА

№ 5 (145)

2023, Октябрь

СОДЕРЖАНИЕ

ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДООЧИСТКА.....	4
Бушуев А.Н. Модернизация двухконтурной системы охлаждения доменной печи внедрением в процесс комплекса доочистки и подпитки первичного контура.....	4
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	9
Середкин А.А., Батухтин С.Г., Басс М.С. Исследование влияния энергоэффективности тепловых потребителей на экологическую эффективность ТЭЦ на примере системы теплоснабжения города Читы.....	9
Резанов Е.М., Стариков А.П., Финиченко А.Ю., Кушнаренко А.В. Об эффективности регулирования высокотемпературного агрегата нефтеперерабатывающего завода.....	15
Дидыч В.А., Ильченко Я.А., Нагучев З.Х. Модернизация системы охлаждения электродвигателей используемых в вихревых насосах.....	20
Усков А.Е. Использование энергоустановок на основе возобновляемой энергетики в агропромышленном и городском секторе.....	23
Юдаев И.В., Даус Ю.В., Рудь Е.Е. Об организации энергообеспечения автономных теплиц малых форм от источников возобновляемой энергии.....	28
ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, РАСЧЕТЫ.....	31
Ласточкин Д.М., Медяков А.А., Остащенко А.П. Повышение безотказности сетевых фотоэлектрических систем за счет применения микроинверторов.....	31
Марюшин Л.А., Тихонова Д.А., Ефремов А.Е., Мовилэ Ю., Ефремов А.Е. Модель экспериментальной установки по исследованию импульсного воздействия на теплонапряженные элементы технических устройств.....	35
Стоякин Г.М., Костин А.В., Науменко С.Н. Выбор типа теплообменника – утилизатора теплоты выхлопных газов транспортной дизель-генераторной установки.....	39
Верхоланцев А.А., Хлыновский А.М., Нечитайлов В.В. Эксплуатационный контроль параметров состояния опорных узлов центробежных насосов.....	43
Ведрученко В.Р., Козлова Г.И., Штиб А.В. О выборе метода утилизации твердых бытовых отходов.....	47
Безуглов Р.В. Папин В.В., Ведмичев Н.А., Воловиков В.Ю. Разработка схемы топливоприготовления на ТЭС для совместного сжигания твердых отходов и угля.....	51
Галстян Р.А., Цыгулев Н.И., Амерханов Р.А., Галстян А.С. Повышенный расход электроэнергии при подключении стабилизатора напряжения у потребителя.....	56
Продоус О.А., Шипилов А.А., Бляшко Я.И. Использование перепадных колодцев на самотечных сетях канализации для выработки электрической энергии.....	59
НОВОСТИ, ПРОБЛЕМЫ, МНЕНИЯ.....	63
Кузнецов В.М., Юрчевский Е.Б. Радиационные и химические риски при выводе из эксплуатации плавучей атомной теплоэлектростанции «Академик Ломоносов» проекта 20870. Часть 1. Оценка радиационных факторов воздействия на персонал, население и окружающую среду.....	63
К ЧИТАТЕЛЯМ И АВТОРАМ.....	79

Контактные данные редакции:
Телефон: +7 (988) 242-63-30,
8(861) 221-58-54
Адрес: 350044, г. Краснодар,
ул. им. Калинина, 13
E-mail: mem462@yandex.ru
Сайт: www.energija.ru

Выпуск 5 (145), 2023. 12+
Подписано в печать: 31.10.2023
Дата выхода в свет: 02.11.2023
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Формат 60x84 1/8.
Тираж 200 экз. Заказ – 80 экз.

Отпечатано в типографии
ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ
350044, г. Краснодар,
ул. им. Калинина, 13

Свободная цена

The magazine is registered
State Committee
The Russian Federation on the press.
Certificate No. 016042
of April 30, 1997.
Certificate on a re-registration of
PI No. FS77-84706
of February 06, 2023.

Founder:
FSBEI HE Kuban SAU

The magazine is issued
on money of founder.

Subscription indexes
42815 – Ural-Press

SCIENTIFIC-TECHNICAL MAGAZINE
Published since 1997

ENERGYSAVING AND WATERTREATMENT

No. 5 (145)

2023, October

CONTENTS

WATERTREATMENT AND WATER PURIFICATION.....	4
Bushuev A.N. Modernization of the double-circuit cooling system of a blast furnace by introducing a complex for post-treatment and make-up of the primary circuit into the process.....	4
ENERGYSAVING TECHNOLOGIES	9
Seredkin A.A., Batukhtin S.G., Bass M.S. Study of the impact of energy efficiency of thermal consumers on the environmental efficiency of CHPPs on the example of the heat supply system of the city of Chita.....	9
Rezanov E.M., Starikov A.P., Finichenko A.Y., Kushnarenko A.V. On the efficiency of control of the high-temperature unit of the oil refinery.....	15
Didych V.A., Ilchenco Ya.A., Naguchev Z.H. Modernization of the cooling system of electric motors used in vortex pumps.....	20
Uskov A.E. Use of renewable energy in the industrial and urban sector.....	23
Yudaev I.V., Daus Yu.V., Rud' E.E. On the organization of energy supply of small-sized autonomous greenhouses by renewable energy sources.....	28
RESEARCH, DESIGN, CALCULATIONS.....	31
Lastochkin D.M., Medyakov A.A., Ostashenkov A.P. Improving a no-failure operation of a PV systems with grid inverters.....	31
Maryushin L.A., Tikhonova D.A., Efremov A.E., Movile J., Efremov A.E. A model of an experimental installation for the study of pulsed effects on heat-stressed elements of technical devices.....	35
Stoyakin G.M., Kostin A.V., Naumenko S.N. Selection of the type of heat exchanger - exhaust gas heat utilizer of the transport diesel-generator unit.....	39
Verkholantsev A.A., Khlynovsky A.M., Nechitaylov V.V. Operational control of the parameters of the condition of the support units of centrifugal pumps.....	43
Vedruchenko V.R., Kozlova G.I., Shtib A.V. About the choice of the method of solid household waste disposal.....	47
Bezuglov R.V., Papin V.V., Vedmichev N.A., Volovikov V.Yu. Development of a fuel production scheme at tpp for combustion of solid waste and coal.....	51
Galstyan R.A., Tsygulev N.I., Amerkhanov R.A., Galstyan A.S. Increased power consumption when connecting a voltage stabilizer to a consumer	56
Prodous O.A., Shipilov A.A., Bliashko Ia.I. Use of difference wells in gravity sewer networks for electrical energy generation.....	59
NEWS, ISSUES, OPINIONS.....	63
Kuznetsov V.M., Yurchevsky E.B. Radiation and chemical risks during decommissioning of the floating nuclear thermal power plant (FNPP) Akademik Lomonosov, Project 20870. Part 1. Assessment of Radiation Effects on Personnel, the Public and the Environment.....	63
TO READERS AND SUBSCRIBERS.....	79

Editorial contacts:

Phone: +7-988-242-6330,
8(861) 221-58-54
Address: 13, Kalinina str.,
Krasnodar, 350044, Russia
E-mail: mem462@yandex.ru
Website: www.energija.ru

Issue 5 (145), 2023. 12+
Signed for print: 31.10.2023
Publication date: 02.11.2023
Offset paper. Offset printing.
Format 60x84 1/8.
200 copies. Order - 80 copies.

It's printed in printing house
of FSBEI HE Kuban SAU,
13, Kalinina str.,
Krasnodar, 350044, Russia

Free price

МОДЕРНИЗАЦИЯ ДВУХКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ ВНЕДРЕНИЕМ В ПРОЦЕСС КОМПЛЕКСА ДООЧИСТКИ И ПОДПИТКИ ПЕРВИЧНОГО КОНТУРА

А.Н. БУШУЕВ, к.т.н.

Новотроицкий филиал ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСиС», 462359, Россия, г. Новотроицк, ул. Фрунзе, 8

Аннотация. Рассмотрен вариант модернизации двухконтурной системы охлаждения доменной печи посредством внедрения в технологию индивидуального комплекса подпитки первичного контура частично обессоленной водой на базе обратноосмотических установок. В разрабатываемой схеме исходной водой для подпитки выступает техническая вода из вторичного контура системы охлаждения или оборотная вода металлургического комбината. В работе представлен наиболее оптимальный вариант размещения основного оборудования комплекса доочистки на территории доменного цеха и приведено сравнение с распространенными вариантами очистки на основе ионообменных фильтров. Разрабатываемый комплекс подпитки при малом потреблении воды способен обеспечивать постоянный проток циркулирующей воды через установки ультрафильтрации и обратного осмоса в количестве 1-1,5 % от полного расхода воды через охлаждающие элементы печи в первичном контуре. Подобные действия позволяют значительно сократить частоту выхода из строя охлаждающих элементов печи и полностью исключить загрязнение теплообменных аппаратов накипью и ржавчиной за счет поддержания постоянного качества охлаждающей воды в первичном контуре охлаждения доменной печи.

Ключевые слова: доменная печь, ионообменная очистка, обратный осмос, система охлаждения, регенерация, ультрафильтрация.

Современные доменные печи оснащаются системой охлаждения «на печи», являющейся системой первичного охлаждения, а вся схема водяного охлаждения выполняется в два контура. В первичном контуре охлаждения обеспечивается циркуляция умягченной воды, во втором – технической (оборотной) воды, при этом два контура соединены между собой посредством теплообменных аппаратов [1, 2].

Поскольку крупные металлургические комбинаты России имеют в своем составе паровые котельные и ТЭЦ, то обычно первичный контур охлаждения подпитывается химически очищенной водой с цехов ХВО. Но в свою очередь можно утверждать, что такая схема в отдельных случаях не совсем оптимальна, поскольку при транспортировке воды по трубам от ТЭЦ в доменный цех может образовываться дополнительный осадок в воде и степень обессоливания такой воды избыточна для системы охлаждения печей [2].

Как показывает практика эксплуатации подобной схемы охлаждения на АО «Уральская Сталь» вода в первичном контуре подвергается неизбежному загрязнению за счет непрерывной циркуляции в элементах охлаждения и подпитки водой с ТЭЦ по стальному трубопроводу. Зрительно имеющиеся отложения в воде не заметны, но при длительной эксплуатации (порядка 3-4 недели) теплообменники забиваются по обоим контурам

охлаждения. Постоянное загрязнение воды сохраняется за счет того, что установленные сетчатые фильтры в первичном контуре имеют недостаточную селективность и по производительности обеспечивают проток через них только 20 % от полного расхода циркулирующей воды в контуре.

Таким образом, в качестве модернизации подобных двухконтурных систем охлаждения логично рассматривать организацию местного комплекса подпитки первичного контура охлаждения от технической или речной воды, расположенного ближе к доменной печи. Такая модернизация может обеспечить:

- понижение нагрузки на установку ХВО непосредственно на ТЭЦ;
- понижение расходов электроэнергии на подачу воды в контур охлаждения;
- частичную циркуляцию охлаждающей воды через оборудование обессоливания для постоянного поддержания требуемого качества охлаждающей воды в первичном контуре.

На доменной печи №3 АО «Уральская Сталь» полезным объемом 1513 м³ расход чистой охлаждающей воды в первичном контуре составляет 4280 м³/ч. При этом наблюдаются практически постоянные утечки чистой воды в пределах до 20 м³/ч. Данный показатель может повышаться до 60-70 м³/ч при серьезном прогорании отдельных элементов охлаждения. То есть для доменных

печей схожего объема полезная производительность комплекса подпитки должна составлять 65-75 м³/ч, что позволит полностью компенсировать утечки воды при крупных авариях до момента их устранения. В случае малых утечек установка способна обеспечить постоянную циркуляцию воды первичного контура через фильтры умягчения или обессоливания в пределах 40-50 м³/ч (около 1 % от максимального потока в первичном контуре). Это позволит при стабильной работе системы поддерживать качество воды на максимальном уровне, что невозможно при классической схеме с периодической подпиткой водой от дальнего источника (от цеха ХВО).

Температура воды во втором контуре в зависимости от времени года лежит в диапазоне от 20 до 35 °С. Данный интервал не дает четкого указания на выбираемый тип фильтров, так как при таких температурах стабильно могут работать ионообменные фильтры и достаточно стабильно мембранные

фильтры с четким соблюдением графиков химических промывок мембран [3, 4].

Обеспечить показатели качества воды, требуемые для систем охлаждения доменных печей, можно достаточно простыми схемами [3, 5]:

- параллельное или последовательное Н-На-катионирование;

- одноступенчатое обессоливание группой Н-ОН.

В первой схеме На-катионитовые фильтры II ступени рассчитываются под максимальный расход 75 м³/ч с запасом в 2-4 % с учетом расхода воды на регенерацию и наполнение емкостей химически очищенной воды. Полезная продолжительность фильтроцикла принимается равной 24 часа и регенерация 2 часа (с избытком). Для загрузки фильтров принимается высокоосновный катионит КУ-2-8. Результаты расчетов с определением требуемого объема загрузки катионита в фильтры и распределение потоков воды по фильтрам представлены в табл.1 [3, 5].

Таблица 1

Параллельное Н-На-катионирование					
Требуемый объем загрузки катионита м ³ и распределение расходов (м ³ /ч)			Монтируемые фильтры и распределение расходов исходной воды, м ³ /ч		
Н-кат.	На-кат. I	На-кат. II	Н-кат.	На-кат. I	На-кат. II
8,3 (55,8)	5,36 (34,2)	6,56 (85)	Диаметр 2 м с уровнем загрузки 2,2 м и объемом 6,91 м ³ ; (2 шт.), 16,5 м ³ /ч	Диаметр 2 м с уровнем загрузки 2,2 м и объемом 6,91 м ³ ; (2 шт.); 25,8 м ³ /ч	Диаметр 1,5 м с уровнем загрузки 2,2 м и объемом 3,90 м ³ ; (2 шт.); 40 м ³ /ч

Минимальная площадь для размещения оборудования данной схемы составляет 15×15,5 м при условии монтажа декарбонизатора на крыше помещения. На площадке размещаются 6 рабочих ионообменных фильтров и 1 фильтр для перегрузки, 6 насосов, 4 емкости для воды, 2 емкости для приготовления регенерационных растворов, 2 сетчатых фильтра, блок регулирования щелочности воды (при необходимости).

Одноступенчатое последовательное Н-На-катионирование подразумевает частичный обход исходного потока, минуя Н-катионитовые фильтры, и позволяет достигнуть жесткости воды на уровне 0,1-0,15 мг-экв/кг [5]. Для обеспечения полезной выработки очищенной воды в количестве 75 м³/ч расход исходной воды составит порядка 90 м³/ч. Результаты расчетов подобной схемы водоподготовки приведены в табл. 2.

Продолжительность фильтроцикла принимается равной 12 часов для обоих фильтров.

За параметры исходной технической воды для рассматриваемых схем принимаются максимально высокие наблюдаемые показатели качества за последние 3 года:

- общая жесткость Ж_о=13 мг-экв/л;
- карбонатная жесткость Ж_к=9,1 мг-экв/л;
- полная щелочность Щ=4 мг-экв/л;
- содержание натрия – 2,2 мг-экв/л;
- железо Fe=0,5 мг/л.

Для схемы одноступенчатого обессоливания группой Н-ОН при задаваемых параметрах исходной воды расчетная скорость фильтрования через анионит составляет 7,1 м/ч. Для загрузки фильтра предлагается анионит АН-2Ф, имеющий полную обменную емкость по хлоридам 500 г-экв/м³, по сульфатам 700 г-экв/м³.

При такой низкой скорости требуемая площадь фильтрации составит 13,8 м², для обеспечения которой необходим монтаж анионитовых фильтров диаметром 2 м в

количестве 5 штук [3, 5]. Большое количество фильтров и, следовательно, занимаемая площадь указывает на невозможность использования данной схемы.

Таблица 2

Последовательное Н-На-катионирование

Требуемый объем загрузки катионита и распределение расходов, м ³ (м ³ /ч)		Монтируемые фильтры и распределение расходов исходной воды, м ³ /ч	
Н-кат.	На-кат.	Н-кат.	На-кат.
9,04 (81,3)	10,9 (90)	Диаметр 1,5 м с уровнем загрузки 2,5 м и объемом 4,41 м ³ (2 шт.); 40,6 м ³ /ч	Диаметр 1,5 м с уровнем загрузки 2,4 м и объемом 4,24 м ³ (3 шт.); 30 м ³ /ч

Оборудование одноступенчатого последовательного Н-На-катионирования за счет меньшего количества ионообменных фильтров может быть также размещено на площадке площадью порядка 215-225 м². За счет отсутствия второй ступени по компактности схема соизмерима с вариантом параллельного катионирования.

В ограниченных условиях доменного цеха нерационально размещение высоких ионообменных фильтров со сложной трубной обвязкой на достаточно больших территориях, так как основная цель монтажа комплекса доочистки воды – это упрощение и повышение надежности цикла охлаждения доменной печи.

Принимая во внимание компактность обратноосмотических установок и их способность заменить цепочки из нескольких ионообменных фильтров также следует осуществить оценку их применения в рассматриваемой системе охлаждения печи.

Для полезной производительности комплекса очистки в 65-75 м³/ч оптимально обеспечить установку 2-х или 3-х обратных осмосов близкой производительности из следующих соображений:

- выбор обратноосмотических установок производительности 75-90 м³/ч на российском рынке уже, чем установок меньшей производительности;
- наличие двух и более установок обратного осмоса может практически исключить дефицит воды при промывке одной из них, поскольку химическая промывка может занимать до 12 часов при сильном загрязнении.

Учитывая факт сброса осмосом в канализацию порядка 25 % исходной воды при требуемой полезной производительности системы в 75 м³/ч суммарная производительность включенных в цепочку перед ним

установок ультрафильтрации должна составлять не менее 110 т/ч, а по факту затрат на собственные нужды (промывка и приготовление моющих растворов) показатель может достигать 130-140 м³/ч [4].

Проблема высокого содержания железа в исходной технической оборотной воде предприятия, недопустимого для обратного осмоса, может быть решена либо установкой в схему осветлителя с дозированием коагулянта, либо установкой набора фильтров-обезжелезивателей [4, 5]. Второй вариант гораздо предпочтительнее в силу простоты, меньшей стоимости и занимаемой территории и отсутствия затрат на коагулянт. Суммарная производительность обезжелезивателей должна составлять не менее 130 т/ч.

Один из возможных компактных вариантов взаимного расположения основного оборудования комплекса доочистки представлен на рис. 1. Расположение трубопроводов не показано, так как изначально предполагается их прокладка над оборудованием, что исключает перекрытие проходов для передвижения человека по территории и обслуживания оборудования. Полная занимаемая площадь 240 м². Предполагаемое место расположения дополнительного шкафа управления показано пунктиром.

В силу ограниченности территории рекомендуются к монтажу 4 емкости объемом 50 м³, при этом 3 из них под осветленную воду после ультрафильтрации, так как для упрощения схемы регенерация (обратная промывка) обезжелезивателей подразумевается осветленной водой. Посредством трубной обвязки рационально обеспечить возможность переключения одной из емкостей на осветленную или на обессоленную воду в зависимости от режима.

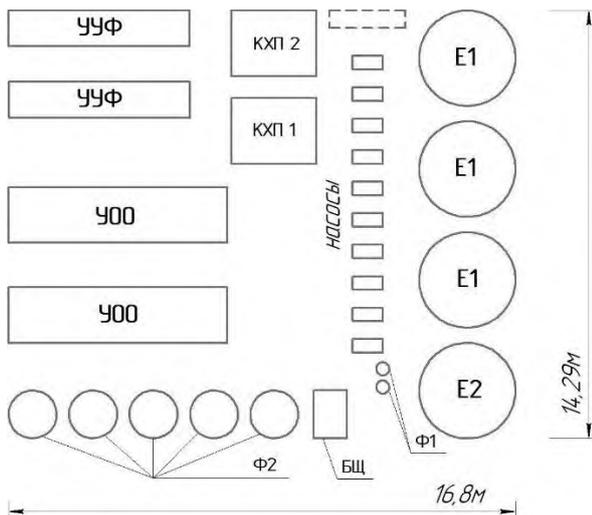


Рис. 1. Расположение оборудования комплекса доочистки: УФ – установка ультрафильтрации; УОО – установка обратного осмоса; Ф1 – сетчатые фильтры; Ф2 – фильтры-обезжелезители воды; Е1 – емкость осветленной воды; Е2 – емкость обессоленной воды (пермеата); КХП 1 – комплекс химической промывки мембран обратного осмоса; КХП 2 – комплекс химической промывки мембран ультрафильтрации; БЩ – блок подщелачивания обессоленной воды

Такой вариант расположения имеет преимущество из-за достаточно большой свободной территории в центре между насосами и установками обратного осмоса с проходом более 3,5 метров и полной площадью практически 15 м², что позволит проводить какие-либо ремонтные работы насосов или мембран непосредственно на территории комплекса водоподготовки. Верхняя отметка всего комплекса очистки ограничивается высотой емкостей Е1-Е4.

По результатам рыночного обзора оборудования первоначальные капитальные затраты на комплекс доочистки производительностью до 75 м³/ч на базе обратного осмоса составят от 75 до 85 млн. рублей с НДС на второй квартал 2023 года. Наиболее широкодиапазонными являются затраты на монтаж электроснабжения и систем управления и вспомогательные расходы. На них в сумме приходится порядка 18-20 млн. руб., или почти 23 % от общих капиталовложений в проект комплекса водоподготовки. На установки обратного осмоса приходится 16,07 % от общих капитальных затрат, на ультрафильтрацию – 11,44 %, на сетчатые фильтры повышенной производительности в первичный контур охлаждения печи приходится 15,7 % от общего баланса.

Удельный показатель первоначальных капитальных затрат на 1 м³ полезной

производительности комплекса доочистки без сетчатых фильтров первичного контура достаточно высок и составляет порядка 65/75 ≈ 0,87 млн.руб./ (м³/ч). Удельная производительность комплекса на 1 м² занимаемой площади – 75/240 ≈ 0,313 (м³/ч)/м².

Для комплекса доочистки производительностью 50 м³/ч на оборудовании тех же производителей капиталовложения снизятся до 55-58 млн. руб., но при этом удельный показатель капитальных затрат повышается до 58/50 ≈ 1,16 млн. руб./ (м³/ч).

Снижение производительности приводит к незначительному уменьшению занимаемой площади. Так, для полезной производительности 50 м³/ч геометрические размеры площади размещения оборудования составят 13×16 м, и удельная производительность комплекса понижается до значения 50/208 ≈ 0,24 (м³/ч)/м².

Основываясь на опыте эксплуатации всех четырех доменных печей АО «Уральская Сталь» за последние годы можно уверенно сделать вывод о достаточности производительности комплекса подпитки в 75 м³/ч для обеспечения стабильной работы двухконтурной системы охлаждения печей объемом от 1000 до 2000 м³. Однако, учитывая недопустимость снижения уровня воды в первичном контуре, должен быть предусмотрен резерв либо в виде дополнительной аварийной подачи воды с цеха ХВО ТЭЦ, либо в виде дополнительных емкостей очищенной воды объемом не менее 200 м³, способных обеспечить дополнительные 3 часа подпитки на устранение аварии.

Принципиальная схема блока доочистки и подпитки и его соединение с двухконтурной системой охлаждения доменной печи показана на рис. 2. Схема подразумевает возможность отбора части воды из первичного контура с подачей ее на вход комплекса доочистки и подпитки, также допускается подача речной воды с подпиткой технической водой в определенной доле с вторичного контура охлаждения. То есть исходной водой для комплекса доочистки всегда выступает смесь минимум двух потоков воды разного химического состава.

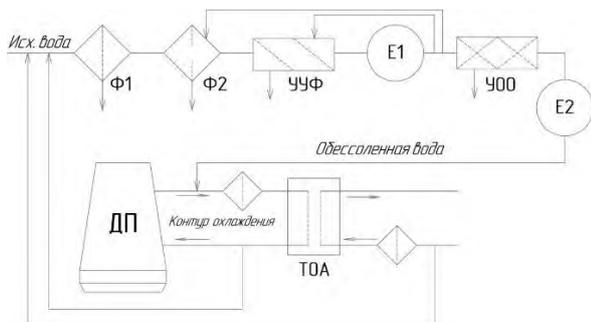


Рис. 2. Принципиальная схема модернизированной системы охлаждения доменной печи: ДП – доменная печь;

Т0А – теплообменные аппараты

Преимущество выбираемой схемы заключается в том, что постоянное изменение химического состава исходной воды перед комплексом доочистки, обоснованное изменением доли смешения потоков воды, будет приводить к постоянному сбою технологического процесса и длительности фильтроциклов ионообменных фильтров, когда влияние этого фактора на работу обратного осмоса значительно ниже [3, 4, 5].

Учитывая стоимость дорогостоящих реагентов промывки обратноосмотических и ультрафильтрационных мембран, расчетная себестоимость 1 м³ очищенной воды при полной загрузке достаточно высока и по ценам на 1-е полугодие 2023 года достигает порядка 24,5-25 рублей для рассматриваемой схемы в условиях предприятия АО «Уральская Сталь». При меньшей

производительности с учетом простоя оборудования на промывке показатель значительно повышается.

В предлагаемой модернизации системы охлаждения печи главным определяющим показателем рационально ставить тот факт, что внедрение предлагаемого проекта модернизации полностью исключит образования загрязнений и накипи во всей системе охлаждения печи, включая теплообменники и трубопроводы, так как согласно проекту возможна постоянная циркуляция воды в замкнутом контуре через водоочистное оборудование, что снижает значимость срока окупаемости для подобного проекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курбатов, Ю. Л. *Металлургические печи: учебное пособие* / Ю. Л. Курбатов, А. Б. Бирюков, Ю. Е. Рубан. - Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. - 384 с. - ISBN 978-5-9729-0819-6.
2. Андоньев, С. М. *Охлаждение доменных печей* / С. М. Андоньев, О. В. Филиппов, Г. А. Кудинов. - Москва: *Металлургия*, 1972. - 368 с.
3. Рябчиков, Б. Е. *Ионный обмен в водоподготовке: производственно-практическое пособие* / Б. Е. Рябчиков, А. А. Пантелеев, С. Ю. Ларионов. - Москва: *ДеЛи плюс*, 2018. - 398 с. - ISBN 978-5-9909883-9-2.
4. *Технология мембранного разделения в промышленной водоподготовке: производственно-практическое пособие* / А. А. Пантелеев, Б. Е. Рябчиков, О. В. Хоружий [и др.]. - Москва: *ДеЛи плюс*, 2012. - 429 с. - ISBN 978-5-905170-14-0.
5. Ксенофонтов, Б. С. *Водоподготовка и водоотведение: учебное пособие* / Б.С. Ксенофонтов. — Москва: *ФОРУМ: ИНФРА-М*, 2022. - 298 с. - ISBN 978-5-8199-0679-8.

MODERNIZATION OF THE DOUBLE-CIRCUIT COOLING SYSTEM OF A BLAST FURNACE BY INTRODUCING A COMPLEX FOR POST-TREATMENT AND MAKE-UP OF THE PRIMARY CIRCUIT INTO THE PROCESS

A.N. BUSHUEV, Ph. D. (tech.)

Novotroitsk Branch "NRTU "MISiS", 8, Frunze str., Novotroitsk, 462359, Russia

Abstract. The variant of modernization of a double-circuit cooling system of a blast furnace by introducing into the technology an individual complex for feeding the primary circuit with partially demineralized water based on reverse osmosis plants is considered. In the scheme being developed, the source water for make-up is technical water from the secondary circuit of the cooling system or circulating water of the metallurgical plant. The paper presents the most optimal option for placing the main equipment of the post-treatment complex on the territory of the blast furnace shop and compares it with common treatment options based on ion-exchange filters. The developed make-up complex with low water consumption is capable of providing a constant flow of circulating water through ultrafiltration and reverse osmosis units in the amount of 1-1.5% of the total water flow through the furnace cooling elements in the primary circuit. Such actions can significantly reduce the frequency of failure of the furnace cooling elements and completely eliminate the contamination of heat exchangers with scale and rust by maintaining a constant quality of cooling water in the primary cooling circuit of the blast furnace.

Key words: blast furnace, ion exchange treatment, reverse osmosis, cooling system, regeneration, ultrafiltration.

REFERENCES

1. Kurbatov, YU. L. *Metallurgicheskie pechi: учебное пособие* / YU. L. Kurbatov, A. B. Biryukov, YU. E. Ruban. - Москва; Вологда: *Инфра-Инженерия*, 2022. - 384 с. - ISBN 978-5-9729-0819-6.
2. Andon'ev, S. M. *Ohlazhdenie domennyh pechej* / S. M. Andon'ev, O. V. Filip'ev, G. A. Kudinov. - Москва: *Metallurgiya*, 1972. - 368 с.
3. Ryabchikov, B. E. *Ionnyj obmen v vodopodgotovke: proizvodstvenno-prakticheskoe posobie* / B. E. Ryabchikov, A. A. Panteleev, S. YU. Larionov. - Москва: *DeLi plus*, 2018. - 398 с. - ISBN 978-5-9909883-9-2.
4. *Tekhnologiya membrannogo razdeleniya v promyshlennoj vodopodgotovke: proizvodstvenno-prakticheskoe posobie* / A. A. Panteleev, B. E. Ryabchikov, O. V. Horuzhij [i dr.]. - Москва: *DeLi plus*, 2012. - 429 с. - ISBN 978-5-905170-14-0.
5. Ksenofontov, B. S. *Vodopodgotovka i vodootvedenie: учебное пособие* / B.S. Ksenofontov. — Москва: *ФОРУМ: ИНФРА-М*, 2022. - 298 с. - ISBN 978-5-8199-0679-8.