

МЕТОД РАСЧЕТА ГИБРИДНЫХ СХЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ПРОДУВОЧНЫХ ВОД ОБОРОТНЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ

В.А. Кишневский, В.В. Чиченин, И.Д. Шуляк, Е.В. Кишневский

Одесский национальный политехнический университет «ОНПУ», г. Одесса

e-mail: twf61@yandex.ru

В работе показано, что безнакипный режим комплексной оборотной системы охлаждения (КОСО) обеспечивается большими расходами добавочной воды и продувки (около 300 м³/ч на 1000 МВт установленной мощности).

Для уменьшения или полного прекращения сброса продувочной воды в окружающую среду предложена методика и алгоритм расчета для ряда схем с рециркуляцией продувочной воды через осветлители для умягчения циркуляционной воды. Методика расчета водно-химического режима (ВХР) КОСО заключается в определении J_{Ca} и прогнозируемой толщины отложений для расчетного времени эксплуатации станции (сезон). Предложенная методика позволяет рассчитать не только J_{Ca} , но и величину рН, концентрацию других ионов, в том числе сульфатов.

Показано, что при использовании структурных схем КОСО с рециркуляцией продувочной воды через осветлитель в циркуляционной воде происходит концентрирование сульфатов, которые могут достичь критических значений с точки зрения интенсификации коррозии энергетического оборудования. Для коррекции критического содержания сульфатов предложены соответствующие методики вывода солей методом водообмена.

Предложенные методики и алгоритм расчета дают возможность обоснования выбора точек отбора потоков продувочной воды, подаваемой на рециркуляцию и водообмен, в зависимости от выбранного водно-химического режима и качества исходной воды. Расчеты приведены для двух водно-химических режимов.

Ключевые слова: комплексные оборотные системы охлаждения, предочистка, добавочная вода, циркуляционная вода.

Введение

Развитие энергетического потенциала регионов Украины, столь важное для перспективного развития экономики страны в целом, неизбежно вызывает стремительный рост спроса на один из важнейших природных ресурсов – воду. В связи с постоянно увеличивающейся антропогенной нагрузкой на водные артерии, из которых отбирается вода на охлаждение АЭС, для демпфирования влияния резкого изменения состава воды, поступающей в систему оборотного охлаждения АЭС, за счет совершенствования реагентной обработки циркуляционной воды не всегда удается исправить ситуацию – необходимо предусмотреть очистку поступающей воды до приемлемого солесодержания.

Поэтому для обеспечения безнакипной работы конденсаторов необходимо предусмотреть гибкую технология обработки исходной воды с дополнительной коррекцией ее качества путем введения в циркуляционную систему ингибиторов отложений и коррозии, а также контроль основных показателей ВХР за счет большого количества продувок, которое достигает 300 м³/ч на блок 1000 МВт [1,2]. Продувочные воды могут содержать продукты коррозии, ингибиторы коррозии и отложений, биоциды, повышенные концентрации сульфатов и хлоридов. Рациональное использование продувок такого качества и объема в течение года практически очень сложно из-за высокого солесодержания, содержания грубодисперсных примесей (ГДП), наличия ингибиторов отложений и сезонного использования выносного тепла.

При больших величинах продувочной воды и несопоставимо низких стоках рек, прилегающих к электростанции, становится невозможным прямой сброс продувки, так как

повышение температуры ниже по течению реки может привести к угнетению водных организмов. Повышение температуры в реке до 36 °С приводит к гибели практически всех промысловых рыб и водных организмов, в связи с чем допускается подогрев воды в принимающей артерии сверх ее естественной температуры не более, чем на 3 К летом и 5 К зимой [3]. Проблемы сбросов большого количества подогретой воды в основном решаются за счет охлаждения их в испарительных градирнях перед сбросом. Это требует значительных капитальных и эксплуатационных затрат. Кроме того, из-за высоких соленосодержаний воды электростанция вынуждена перманентно оплачивать счета за превышения нормативных показателей по ряду сбрасываемых солей, выводимых ингибиторов, биоцидов и величине рН.

Постановка проблемы

С целью уменьшения потребления речной воды, уменьшения сбросов продувок в окружающую среду и обеспечения постоянного качества воды, подаваемой на водоподготовительную установку (ВПУ) для приготовления добавочной воды парогенераторов (ПГ), целесообразно рассмотреть структурные схемы комплексных оборотных систем охлаждения (КОСО) с рециркуляцией продувочной воды в цикле.

Литературный обзор

В зависимости от назначения воды выбирается соответствующая технологическая схема ее обработки. Степень очистки используемой воды (остаточная концентрация накипеобразующих и коррозионно-активных примесей) определяется надежностью и экономической целесообразностью производства электроэнергии в допустимых пределах химического и теплового воздействия на окружающую среду. Эффективная обработка таких объемов воды в настоящее время возможна с применением методов осаждения, основанных на известковании и коагуляции, и может быть экономически оправдана при многократном использовании реагентов после их регенерации и утилизации шламов. Решением проблемы в современных условиях является также опережающее внедрение новых ионообменных материалов, селективных мембран и технологий, основанных на использовании процессов ионного обмена, обратного осмоса, электродиализа [4, 5, 6].

К современным методам деминерализации сбросных вод и концентрирования растворов относятся мембранные технологии. Использование этих технологий требует более тщательной предочистки от коллоидных и органических веществ по сравнению с химобессоливанием, предварительного умягчения обрабатываемой воды, некоторого количества постоянно дозируемых реагентов для предотвращения отложения на мембранах [7, 8].

Так, в работах [9, 10] для обессоливания синтетических концентрированных солевых растворов с ингибиторами отложений применяется установка обратного осмоса с новой технологией умягчения концентрата методами озонирования, осаждения и микрофльтрации. Технология удаления из концентрата кальция и ингибиторов позволяет его повторное использование на второй ступени установки обратного осмоса и разрешает повысить величину общего восстановления всей схемы до 97 % [11]. Однако, в работе [11] не рассматриваются методы подготовки исходной воды от грубодисперсных примесей до подачи ее на установку обратного осмоса. Использование этого метода является перспективным для обработки концентрированных по анионам сульфатов и хлоридов продувочных циркуляционных вод оборотных систем охлаждения после их коагуляции и ультрафльтрации, что предполагает дополнительную установку предочистки. Производительность такой предочистки должна быть рассчитана на обработку не менее 300 м³/ч на блок 1000 МВт с соответствующим вспомогательным оборудованием и потреблением реагентов.

Вариант решения проблемы рационального использования продувочных вод системы охлаждения конденсаторов электростанции рассмотрен в работах Московского

энергетического института (технический университет) [12, 13, 14]. Автор Репин Д.А. рассматривает возможность использования продувочной воды с различными ингибиторами (ОЭДФК, хеламин) для ее умягчения в процессе натрий-катионирования с использованием катионита марки IRA 120Н.

Методика расчета ВХР КОСО с рециркуляцией продувки

Отличительными особенностями предложенных методики и алгоритма расчета является возможность математического обоснования выбора точек отбора потоков продувочной воды, подаваемой на рециркуляцию и водообмен, в зависимости от выбранного водно-химического режима и качества исходной воды. Такое решение предопределяет выбор эффективных точек отбора из цикла КОСО с максимальной концентрацией сульфатов в циркуляционной воде для подачи на гибридную ВПУ - G_3'' и выбор границ применимости предлагаемых ВХР КОСО с рециркуляцией продувки на осветлители - G_3' в зависимости от содержания исходной воды. Для решения поставленной задачи составляется структурная схема КОСО и технологические схемы переработки продувочных вод и строится математическая модель выбранной схемы с учетом углекислотного равновесия в границах растворимости труднорастворимых солей.

Решая уравнения материально-солевых балансов потоков продувок (G_3' и G_3''), добавочной воды в точках, характеризующих подсистемы с различными группами ионов в процессе циркуляции для различных ВХР КОСО, определяют величину отдельного i -го иона для всей системы.

Численные значения скоростей отложений на ТПК, получают по выражению (1):

$$|j_{отл}|_3^{OCO} = A \square Ж_{Ca}, \quad (1)$$

где $|j_{отл}|_3^{OCO}$ - скорость отложений, мм/ч,

A – угловой коэффициент в уравнении прямой для различных значений концентрации ингибитора отложений Asimer 1000 в циркуляционной воде в зависимости от $C_{ac} = 0, 1, 2$ мг/дм³;

$Ж_{Ca}$ – кальциевая жесткость циркуляционной воды, мг-экв/дм³.

Численные значения скорости отложений на ТПК, полученные по этому выражению, можно трансформировать в пересчетные величины: удельную массу отложений, толщину отложений и др. В граничных условиях нормативных показателей величин удельных отложений определяются эффективные значения величин рециркуляции G_3' и водообмена G_3'' .

На основании уточненной методики разработаны индивидуальные алгоритмы расчета различных ВХР для КОСО с рециркуляционным умягчением смеси продувочной G_3' и речной воды на предвключенных осветлителях (ПО) и отдельным умягчением речной воды на ПО и рециркуляционной продувочной воды G_3'' на встроенных осветлителях (ВО) с последующим смешением этих потоков в КОСО с учетом водообмена за пределы системы G_3'' .

ВХР КОСО с обработкой продувочной воды в смеси с речной водой на группе предвключенных осветлителей и отбором осветленной воды на ГВПУ

В данной схеме (рис.1) реализуется процесс умягчения смеси продувочной и речной воды, что предполагает различную степень разбавления продувочной воды и, соответственно, возможность изменения концентрации ингибитора отложений Asimer 1000 в воде, подаваемой на известкование. Уменьшение концентрации ингибитора Asimer 1000 в умягчаемой воде повышает эффективность процесса известкования [15].

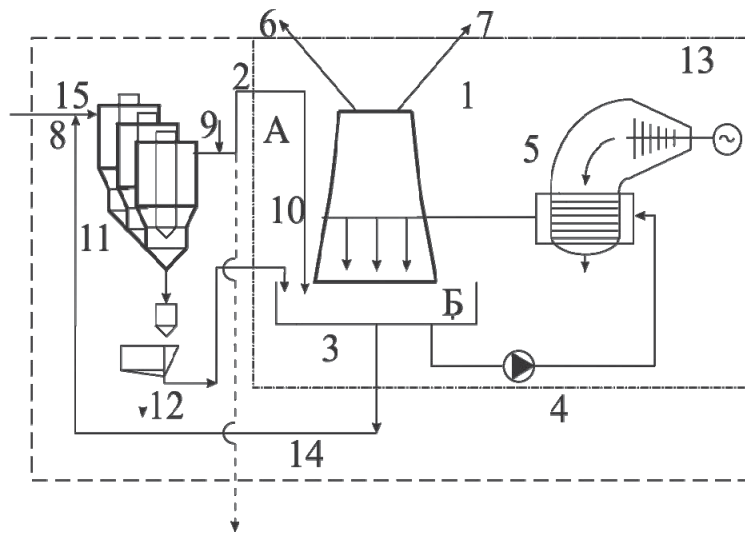


Рис. 1 Схема ВХР КОСО с обработкой смеси продувочной воды с речной на группе предвключенных осветлителей и отбором осветленной воды на ГВПУ: 1 – градирня; 2 – добавочная вода; 3 – приемок градирни (ковш); 4 – насос; 5 – конденсатор; 6 – потери воды на испарение G_1 ; 7 – потери воды с капельным уносом G_2 ; 8 – потери воды на продувку G_3 ; 9 – ввод реагентов; 10 – кондиционированная вода; 11 – осветлитель; 12 – сброс продувки осветлителя; 13 – турбина; 14 – отбор воды на гибридную ВПУ G_3'' ; 15 – ввод исходной воды.

Материально-солевой баланс системы, ограниченной пунктиром, для определения концентраций ионов первой группы – ионов натрия, хлора, сульфатов, которые не изменяются в процессе умягчения в осветлителе - составляется для точки А:

$$G_{\text{исх}} = G_1 + G_2 + G_3',$$

$$G_{\text{исх}} \cdot [i]^{\text{исх}} = G_2 \cdot [i]^{\text{OCO}} + G_3'' \cdot [i]^{\text{доб}}.$$

Материально-солевой баланс системы, ограниченной штрих-пунктиром, для определения концентраций всех ионных примесей составляется для точки Б:

$$G_{\text{доб}} = G_1 + G_2 + G_3,$$

$$[i]^{\text{доб}} = \frac{G_{\text{исх}} \cdot [i]^{\text{исх}} - G_2 \cdot [i]^{\text{OCO}}}{G_3''}.$$

Материально-солевой баланс в точке смешения определяется следующим уравнением:

$$G_{\text{исх}} \cdot [i]^{\text{исх}} + G_3' \cdot [i]^{\text{OCO}} = G_{\text{доб}} \cdot [i]^{\text{доб}}.$$

Совместное решение уравнений приведенных материально-солевых балансов в различных точках системы позволяет определить концентрацию i -того иона для первой и второй группы солей.

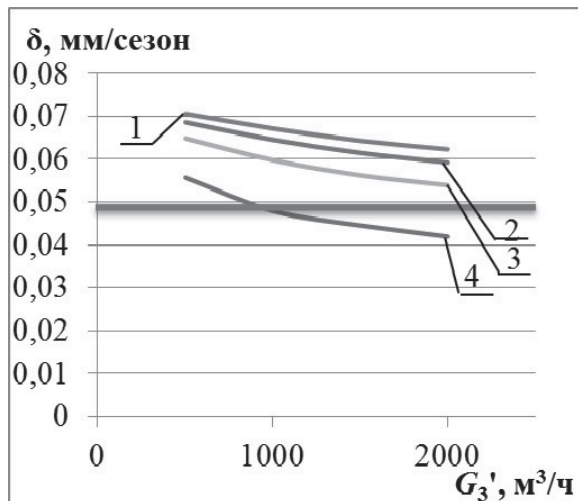
Для примесей 1-й группы $[i]^{\text{доб}} = [i]^{\text{см}}$,

$$[i]^{\text{OCO}} = \frac{[G_{\text{исх}} + G_3'] \cdot G_{\text{исх}} \cdot [i]^{\text{исх}} - G_3'' \cdot G_{\text{исх}} \cdot [i]^{\text{исх}}}{G_3'' \cdot G_3 + [G_{\text{исх}} + G_3'] \cdot G_2}.$$

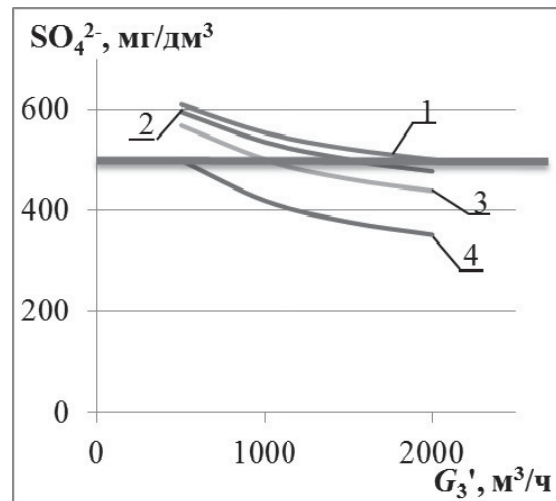
Результаты расчета ВХР КОСО с обработкой смеси продувочной воды с речной на группе предвключенных осветлителей и отбором осветленной воды на ГВПУ сведены в табл. 1 и на рис. 2.

Таблица 1. Значения толщин отложений на ТПК за сезон и концентраций сульфат-иона в циркуляционной воде КОСО в зависимости от потока продувки на рециркуляцию и величины отбора на ГВПУ при различном качестве известкования

Качество известкования (HCO_3^-), мг-экв/дм ³	Отбор воды на ГВПУ (G_3''), м ³ /ч	Значение толщины отложений, мм/сезон				Концентрация SO_4^{2-} , мг/дм ³			
		Поток рециркуляции (G_3'), м ³ /ч							
		500	1000	1500	2000	500	1000	1500	2000
0,7	78	0,071	0,067	0,064	0,062	609,8	553,6	521,1	499,8
	90	0,069	0,065	0,061	0,059	595,5	534,8	500	477,9
	115	0,065	0,060	0,056	0,054	568,4	500,2	462,6	438,
	195	0,056	0,048	0,045	0,042	499,9	418,6	376,9	351,6
2,0	78	0,096	0,084	0,078	0,075	609,8	553,6	521,1	499,8
	90	0,094	0,081	0,075	0,072	595,5	534,8	500	477,9
	115	0,090	0,076	0,070	0,066	568,4	500,2	462,6	438,
	195	0,081	0,065	0,058	0,054	499,9	418,6	376,9	351,6



а)



б)

Рис. 2. Изменение значения толщины отложений на ТПК (а) и концентрации сульфат-иона в циркуляционной воде КОСО (б) в зависимости от расхода продувки на рециркуляцию и величины отбора на ГВПУ: 1, 2, 3, 4 – величина отбора ГВПУ, соответственно, 78, 90, 115, 195 м³/ч.

Как видно из рис. 2, безнакипный эффективный ВХР КОСО может быть обеспечен при наличии значительных расходов продувочной воды, подаваемой на рециркуляцию G_3' – более 1000 м³/ч. Нормируемое значение концентрации сульфатов в циркуляционной воде КОСО, равное 500 мг/дм³, обеспечивается значением G_3' – более 1000 м³/ч и G_3'' – более 190 м³/ч.

При невысоких значениях отборов продувочной воды на ГВПУ G_3' , равных 70...90 м³/ч, расход продувки на рециркуляцию G_3' необходимо поддерживать на уровне более 2000 м³/ч, что составляет около 70% добавочной воды. Это связано со смешением потока продувки рециркуляции G_3' и исходной речной воды перед предвключенными осветлителями. Следовательно, будет логично рассмотреть вариант схемы с обработкой

добавочной воды и рециркуляции КОСО на отдельных группах осветлителей с различными режимами умягчения.

ВХР КОСО с рециркуляционным умягчением продувок на отдельном осветлителе и отбором осветленной воды на ГВПУ

Данная схема (рис. 3) отличается от ранее рассмотренной тем, что в ней поток продувки рециркуляции G_3' без разбавления обрабатывается на отдельном включенном осветлителе. Исходная речная вода умягчается на предвключенной группе осветлителей. Дозирование ингибитора отложений Acumer 1000 осуществляется в точке смешения раздельно умягченных по индивидуальным режимам потоков.

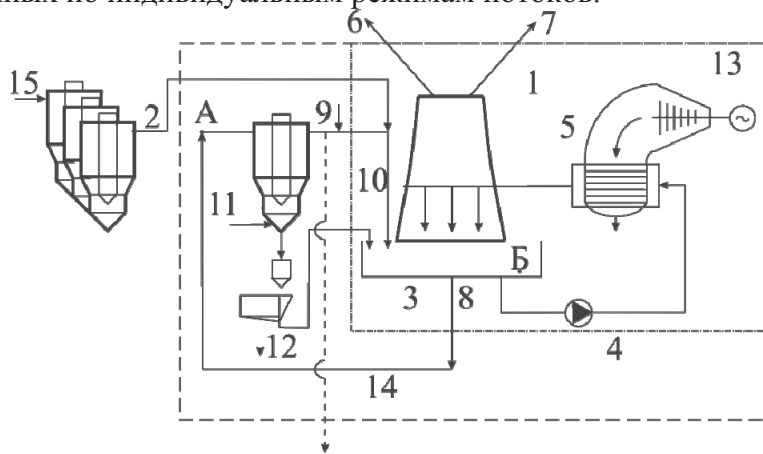


Рис. 3. Схема ВХР КОСО с обработкой продувочной воды на встроенном осветлителе и отбором осветленной воды на ГВПУ: 1 – 15 – те же, что на рис. 1.

Материально-солевой баланс системы для точки А:

$$G_{\text{исх}} = G_1 + G_2 + G_3'',$$

$$G_{\text{исх}} \cdot [i]^{\text{осв1}'} = G_2 \cdot [i]^{\text{OCO}} + G_3'' \cdot [i]^{\text{осв1}}.$$

Материально-солевой баланс системы для точки Б:

$$G_{\text{доб}} = G_1 + G_2 + G_3,$$

$$G_{\text{доб}} \cdot [i]^{\text{см}} = G_2 \cdot [i]^{\text{OCO}} + G_3' \cdot [i]^{\text{OCO}}$$

$$[i]^{\text{OCO}} = \frac{G_{\text{доб}}}{G_2 + G_3'} \cdot [i]^{\text{см}}$$

В точке, характеризующей всю систему для ионов 1-й группы $[i]^{\text{осв1}} = [i]^{\text{OCO}}$:

$$[i]^{\text{OCO}} = \frac{G_{\text{исх}}}{G_2 + G_3''} \cdot [i]^{\text{осв1}'} \quad (2)$$

Результаты расчетов ВХР структурной схемы КОСО с рециркуляцией продувок через отдельный осветлитель и отбором осветленной воды на ГВПУ, представлены в табл. 2 и на рис. 4.

Таблица 2. Содержание сульфат-иона в циркуляционной воде КОСО в зависимости от потока продувки на рециркуляцию и величины отбора на ГВПУ для различных источников водоснабжения

Источник водоснабжения	Отбор воды на ГВПУ (G_3''), м ³ /ч	Поток рециркуляции (G_3'), м ³ /ч		
		100	200	300
р.Стырь (осень)	30	425,2	425,2	425,2
	50	366,6	366,6	366,6
	75	314,0	314,0	314,0
	100	275,6	275,6	275,6
р.Стырь (лето)	30	548,7	548,7	548,7
	50	473,1	473,1	473,1
	75	405,2	405,2	405,2
	100	355,6	355,6	355,6
р.Ю.Буг	30	859	859	859
	50	740	740	740
	75	634	634	634
	100	557	557	557
р.Днестр	30	1715	1715	1715
	50	1478	1478	1478
	75	1266	1266	1266
	100	1111	1111	1111

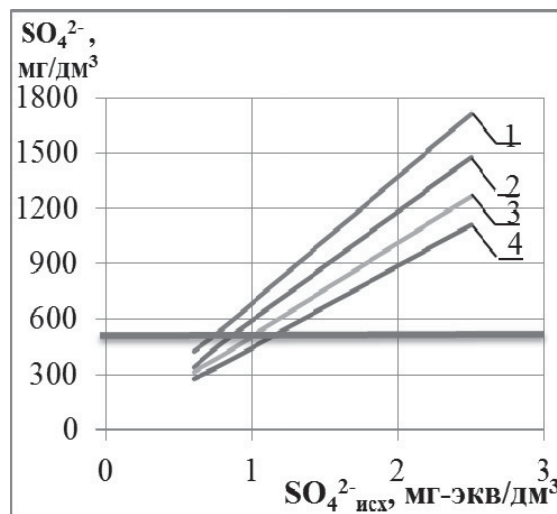


Рис. 4. Изменение концентрации сульфат-иона в циркуляционной воде в зависимости от концентрации сульфатов в исходной воде и величины отбора на ГВПУ: 1,2,3,4 – отбор на ГВПУ соответственно 30, 50, 75, 100 м³/ч.

Для обеспечения эффективного ВХР КОСО по контролируемой величине сульфатов в циркуляционной воде необходимы значительные величины продувок G_3'' : для р.Ю.Буг – более 100 м³/ч, а для р.Днестр – в несколько раз больше, что практически неприемлемо по экономическим и экологическим причинам.

Апробация результатов исследований

Концентрация сульфатов в циркуляционной воде КОСО не зависит от расходов рециркуляции продувки на умягчение G_3' . В то же время прослеживается зависимость

остаточной концентрации сульфатов в циркуляционной воде КОСО от концентрации сульфатов в исходной воде и величин отборов продувки на ГВПУ G_3'' .

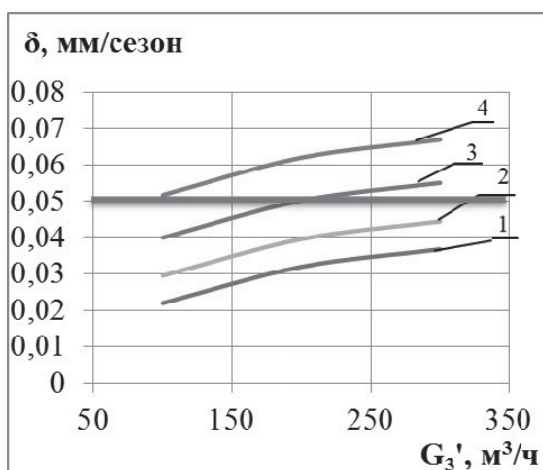
При этом качество умягченной в осветлителе воды по показателям pH, общей жесткости, концентрации сульфат-иона и др. отвечает необходимым физико-химическим показателям для ее дальнейшей переработки на ГВПУ.

По формуле (1) рассчитывается толщина отложений в зависимости от потока рециркуляции (G_3') и величины отбора на ГВПУ (G_3''). Расчетные данные группируются в табл. 3.

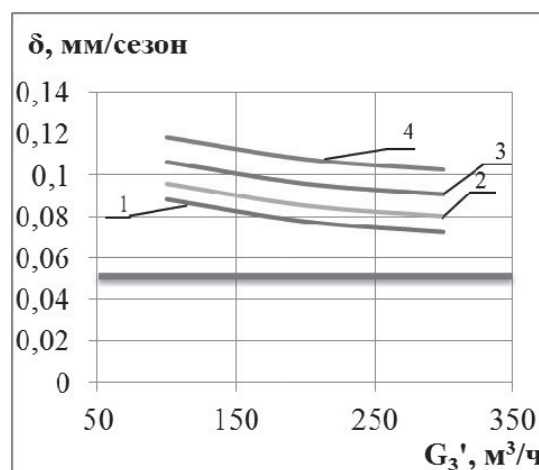
Таблица 3. Значения толщин отложений на ТПК за сезон (мм) в зависимости от потока продувки на рециркуляцию, величины отбора на ГВПУ и качества известкования

Источник водоснабжения	Отбор воды на ГВПУ (G_3''), м ³ /ч	$\text{HCO}_3^- = 0,7 \text{ мг-экв/дм}^3$			$\text{HCO}_3^- = 2,0 \text{ мг-экв/дм}^3$		
		Поток рециркуляции (G_3'), м ³ /ч					
		100	200	300	100	200	300
Ю.Буг	30	0,0518	0,0620	0,0670	0,1181	0,1077	0,1026
	50	0,0400	0,0502	0,0551	0,1063	0,0958	0,0908
	75	0,0296	0,0396	0,0445	0,0959	0,0853	0,0802
	100	0,0220	0,0320	0,0368	0,0883	0,0776	0,0724

На рис. 5 графически представлены результаты расчета толщин отложений на ТПК для схемы ВХР КОСО с обработкой продувочной воды на встроенном осветлителе и отбором осветленной воды на ГВПУ с использованием физико-химических составов воды реки Ю.Буг. Расчеты произведены для ВХР с качеством добавочной воды КОСО равным $\text{HCO}_3^- = 0,7 \text{ мг-экв/дм}^3$ и $\text{HCO}_3^- = 2,0 \text{ мг-экв/дм}^3$.



а)



б)

Рис. 5. Изменение значения толщины отложений на ТПК в зависимости от потока продувки на рециркуляцию и качества известкования: а) $\text{HCO}_3^- = 0,7 \text{ мг-экв/дм}^3$; б) $\text{HCO}_3^- = 2,0 \text{ мг-экв/дм}^3$. 1,2,3,4 – отбор на ГВПУ, соответственно, 30, 50, 75, 100 м³/ч.

Безнакипный водно-химический режим КОСО при использовании технологии известкования рециркуляционной части продувки на включенном осветлителе для исследованной схемы КОСО обеспечивается только при высоком качестве умягченной воды,

равном $\text{HCO}_3^- = 0,7$ мг-экв/дм³, что практически мало достижимо в процессе эксплуатации в промышленных условиях.

Для вод реки Ю.Буг изменение расхода продувочной воды на рециркуляцию на осветлитель в 2 раза (от 150 до 300 м³/ч) незначительно влияет на эффективность водно-химического режима по контролируемому показателю толщины отложений $\delta = 0,05$ мм/сезон.

В то же время, управление ВХР за счет увеличения отбора на ГВПУ G_3'' от 30 до 100 м³/ч более эффективно и позволяет уменьшить толщину отложений на ТПК $\delta = 0,03$ мм/сезон. Это объясняется невысокой эффективностью процесса умягчения методом известкования рециркуляционной продувки на включенном осветлителе.

Выводы

Эффективным методом регулирования солесодержания циркуляционной воды по солям накипеобразователей в данной схеме является продувка за пределы системы G_3'' . При неудовлетворительном качестве $\text{HCO}_3^- = 2,0$ мг-экв/дм³ величина толщины отложений на ТПК значительная – превышает 0,1 мм/сезон; вместе с тем, для данного состава воды влияние величины отбора G_3'' менее ощутимо из-за высокого солесодержания продувочных вод, выносимых за пределы системы (рис. 4).

В связи с тем, что концентрация кальция в циркуляционной воде является основным аргументом при определении величины $|j_{\text{отл}}|^{\text{OCO}}$, повышение качества известкования продувочной воды на включенном осветлителе повышает эффективность ведения ВХР КОСО.

МЕТОД РОЗРАХУНКУ ГІБРИДНИХ СХЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПРОДУВНИХ ВОД ОБОРОТНИХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ

В.П. Кишневський, В.В. Чиченін, І.Д. Шуляк, Є.В. Кишневський
Одеський національний політехнічний університет «ОНПУ», м. Одеса
Email: twf61@yandex.ru

У роботі показано, що безнакипний режим комплексної оборотної системи охолодження (КОСО) забезпечується великими витратами додаткової води і продувки (близько 300 м³/ч на 1000 МВт встановленої потужності). Для зменшення або повного припинення скиду продувочної води в навколишнє середовище запропонована методика і алгоритм розрахунку для ряду схем з рециркуляцією продувочної води через освітлювачі для пом'якшення циркуляційної води.

Методика розрахунку ВХР КОСО полягає у визначенні жорсткості кальцієвої і прогнозованої товщини відкладень для розрахункового часу експлуатації станції (сезон). Запропонована методика дозволяє розрахувати не тільки кальцієву жорсткість, а й величину рН, концентрацію інших іонів, в тому числі сульфатів.

Показано, що при використанні структурних схем КОСО з рециркуляцією продувочної води через освітлювач в циркуляційній воді відбувається концентрування сульфатів, які можуть досягти критичних значень з точки зору інтенсифікації корозії енергетичного обладнання. Для корекції критичного вмісту сульфатів запропонована відповідна методика виведення солей методом водообміну.

Запропоновані методики та алгоритми розрахунку дають можливість обґрунтування вибору точок відбору потоків продувочної води, що подається на рециркуляцію і водообмін, в залежності від обраного водно-хімічного режиму та якості вихідної води. Розрахунки наведено для двох водно-хімічних режимів.

Ключові слова: оборотні системи охолодження, передочистка, додаткова вода, циркуляційна вода.

METHOD OF CALCULATING THE HYBRID CIRCUITS CONDITIONING PURGE WATER CIRCULATING COOLING SYSTEMS

V.P. Kishnevsky V.V. Chichenin I.D. Shulyak E.V. Kishnevsky

Odessa national polytechnic university "ONPU" Odessa, Ukraine

Email: twf61@yandex.ru

It is shown that the water chemistry mode of recirculating cooling system without scale ensures high costs of additional water and blowdown (about 300 m³/h per 1000MW of installed capacity).

To reduce the discharge of blowdown water to the environment a method and calculation algorithm for a number of schemes with blowdown water recirculation through clarifiers are proposed. Method of calculation the water chemistry mode of recirculating cooling system is to determine calcium hardness and predict deposit thickness for the estimated operation time of the plant. The proposed method allows to calculate not only calcium hardness, but the pH, concentration of other ions, including sulphates.

We have shown that by using structural schemes of complex recirculating cooling system with recirculation blowdown water through a clarifier the concentration of sulfates that can reach critical values in terms of intensification of power equipment corrosion.

To correct critical sulphates concentration an appropriate methodology of water exchange is suggested. The proposed methodology and calculation algorithm enable the justification of blowdown water sampling points selection and flow of side-stream supplied to the recirculation and water exchange, depending on the water-chemical conditions and the quality of the source water. Calculations are presented for two water chemistry modes.

Keywords: circulating cooling system, pre-treatment, extra water, circulating water.

Список литературы:

1 *Кишневский В. А.* Использование альтернативных источников технического водоснабжения для электростанций и крупных энергоемких предприятий / В.А. Кишневский, О.А. Дорож, И.Д. Шуляк // Экономист. – 2011. – №8. – С. 50–53.

2 *Кишневский В. А.* Технологические схемы снижения нагрузки на городской водопровод путем перевода промпредприятий на альтернативные источники водоснабжения / В.А. Кишневский, В.В. Чиченин, И.Д. Шуляк// Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2011. – №42. – С. 90–101.

3 *Энергетика и охрана окружающей среды/ [под ред. Н.Г.Залогина, Л.И.Кроппа, Ю.М. Кострикина].* – М.: Энергия, 1979. – С.352.

4 *Кишневский В. А.* Применение гибридных водоподготовительных установок при обработке продувочных вод оборотных систем охлаждения / В.А. Кишневский, Е.В. Кишневский, О.М. Малиновский, И.Д. Шуляк// Вода и водоочистные технологии. Научно–технические вести. – 2011. – №2(4). – С. 53–58.

5 *Zeng H.* Comparison of an ultrafiltration membrane fed with raw seawater, coagulated seawater and cooling tower blowdown / H. Zeng, J. Zhang, Ye C. // Desalination. – 2009. – № 244. – P.199–207.

6 *Hasson D.* Calcium carbonate hardness removal by a novel electrochemical seeds system / D. Hasson, G. Sidorenko, R. Semiat // Desalination. – 2010. – V.263, № 1–3. – P.285–289.

7 *Liu W.* Mineral scaling mitigation in cooling systems using tertiary–treated municipal wastewater / W. Liu, S.–H. Chien, D.A. Dzombak, R.D. Vidic // Water Research. – 2012. – V.46, №14–15. – P. 4488–4498.

- 8 *Antony A.* Scale formation and control in high pressure membrane water treatment systems: A review / A. Antony, J.H. Low, S. Gray, A.E. Childress, P. Le-Clech, G. Lelie. // *Journal of Membrane Science*. – 2011. – № 383. – P. 1 – 16.
- 9 *Greenlee L.F.* Effect of antiscalants on precipitation of an RO concentrate: metals precipitated and particle characteristics for several water compositions / L.F. Greenlee, F. Testa, D.F. Lawler, B.D. Freeman, P. Moulin // *Water Research*. – 2010. – № 44 (8). – P. 2672–2684.
- 10 *Greenlee L.F.* The effect of antiscalant addition on calcium carbonate precipitation for a simplified synthetic brackish water reverse osmosis concentrate / L.F. Greenlee, F. Testa, D.F. Lawler, B.D. Freeman, P. Moulin // *Water Research*. – 2010. – №44 (9). – P. 2957–2969.
- 11 *Greenlee L. F.* Effect of antiscalant degradation on salt precipitation and solid/liquid separation of RO concentrate / Lauren F. Greenlee, F. Testa, D. F. Lawler, Benny D. Freeman, Philippe Moulin // *Journal of Membrane Science*. – 2011. – № 366. – P. 48–61.
- 12 *Репин Д. А.* Оптимизация водно-химических режимов систем охлаждения конденсаторов турбин : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.14.14 "Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты/ Д. А. Репин. – Москва, 2009.– С. 21.
- 13 *Репин Д. А.* Влияние ОЭДФК и хеламина на работу катионитных фильтров // Д.А. Репин, Т.И. Петрова/ Пятнадцатая междунар. научн.-техн. конф. студентов и аспирантов "Радиоэлектроника, электротехника и энергетика": Тез. докл. – М.,2009. – Т.3. – С. 172–173.
- 14 *Репин Д.А.* Способы коррекции ВХР оборотной системы охлаждения конденсаторов турбин / Д.А. Репин, Т.И. Петрова // Тринадцатая междунар. научн.-техн. конф. студентов и аспирантов "Радиоэлектроника, электротехника и энергетика": Тез. докл. – М.,2007. – Т.3. – С. 141–142.
- 15 *Kim H. S.* Thermal coupling of HTGRs and MED desalination plants, and its performance and cost analysis for nuclear desalination/ H. S. Kim, H. C. No // *Desalination*. – V.303. – 2012. – P. 17–22.