

7. Климова, Г. Н. Оценка потенциала энергосбережения региона. Проблемы энергетики [Текст] / Г. Н. Климова, В. А. Литвак // Известия высших учебных заведений. — 2010. — № 3. — С. 42–48.
8. Technik: podręcznik opracowany według niemieckiego pierwowzoru, wydawanego przez Stowarzyszenie «Hütte». T. 1 [Electronic resource]. — Gebethner i Wolff, 1905 (orig. ed.). — 2012 (digital ed.). — 1213 p. — Available at: \www/ URL: <http://212.182.64.85/dlibra/docmetadata?id=746&from=pubindex&dirids=31&lp=140>. — 20.05.2014.
9. Синчук, О. Н. Совершенствование методов расчета электрических нагрузок при проектировании и модернизации систем электроснабжения железорудных предприятий [Текст] / О. Н. Синчук, Э. С. Гузов, Р. А. Пархоменко // Вісник Кременчуцького національного університету. — 2013. — Вип. 1(78). — С. 28–32.
10. Hoshide, R. K. Energy Conservation Measures (ESMs): Which Projects Should We Select [Text] / Robert K. Hoshide // Strategic Planning for Energy and the Environment. — 2007. — Vol. 16, No. 4. — P. 6–17.
11. Мамалыга, В. М. Организация службы энергоменеджмента промышленного предприятия [Текст] / В. М. Мамалыга // Энергетика и электрификация. — 2011. — № 3. — С. 42–50.
12. Випанасенко, С. І. Системи енергоменеджменту вугільних шахт [Текст] / С. І. Випанасенко. — Д.: Національний гірничий університет, 2008. — 106 с.

#### ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛУ ТА ТАКТИКА ПІДВИЩЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДЗЕМНИХ ЗАЛІЗОРУДНИХ ВИРОБНИЦТВ

Викладений аналіз структури об'ємів енерговитрат на залізорудних підприємствах з підземним способом добування. Показано, що на долю електричної енергії припадає біля 90 % всіх енерговитрат. Розглянуті шляхи підвищення електроенергоєфективності на даних видах гірських підприємств. Запропоновані конкретні рекомендації по підвищенню електроенергоєфективності вітчизняних підземних залізорудних виробництв шляхом введення системи енергетичного менеджменту.

**Ключові слова:** електроспоживання, залізорудне виробництво, електроенергоєфективність, енергозатрати, служба енергетичного менеджменту, політика енергозбереження.

*Синчук Олег Николаевич, доктор технических наук, профессор, кафедра автоматизированных электромеханических систем в промышленности и транспорте, ГВУЗ «Криворожский национальный университет», Украина, e-mail: speet@ukr.net.*

*Синчук Игорь Олегович, кандидат технических наук, доцент, кафедра автоматизированных электромеханических систем в промышленности и транспорте, ГВУЗ «Криворожский национальный университет», Украина, e-mail: speet@ukr.net.*

*Гузов Эдуард Семёнович, кандидат технических наук, доцент, кафедра автоматизированных электромеханических систем в промышленности и транспорте, ГВУЗ «Криворожский национальный университет», Украина, e-mail: speet@ukr.net.*

*Ялова Алёна Николаевна, аспирант, кафедра автоматизированных электромеханических систем в промышленности и транспорте, ГВУЗ «Криворожский национальный университет», Украина, e-mail: speet@ukr.net.*

*Баулина Марина Анатольевна, аспирант, кафедра автоматизированных электромеханических систем в промышленности и транспорте, ГВУЗ «Криворожский национальный университет», Украина, e-mail: speet@ukr.net.*

*Синчук Олег Миколайович, доктор технічних наук, професор, кафедра автоматизованих електро механічних систем в промисловості та транспорті, ДВНЗ «Криворізький національний університет», Україна.*

*Синчук Ігор Олегович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра автоматизованих електро механічних систем в промисловості та транспорті, ДВНЗ «Криворізький національний університет», Україна.*

*Гузов Едуард Семенович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра автоматизованих електро механічних систем в промисловості та транспорті, ДВНЗ «Криворізький національний університет», Україна.*

*Ялова Альона Миколаївна, аспірант, кафедра автоматизованих електро механічних систем в промисловості та транспорті, ДВНЗ «Криворізький національний університет», Україна.*

*Бауліна Марина Анатоліївна, аспірант, кафедра автоматизованих електро механічних систем в промисловості та транспорті, ДВНЗ «Криворізький національний університет», Україна.*

*Sinchuk Oleg, State institution of higher education «Kryvyi Rih National University», Ukraine, e-mail: speet@ukr.net.*

*Sinchuk Igor, State institution of higher education «Kryvyi Rih National University», Ukraine, e-mail: speet@ukr.net.*

*Guzov Eduard, State institution of higher education «Kryvyi Rih National University», Ukraine, e-mail: speet@ukr.net.*

*Yalova Al'ona, State institution of higher education «Kryvyi Rih National University», Ukraine, e-mail: speet@ukr.net.*

*Baulina Marina, State institution of higher education «Kryvyi Rih National University», Ukraine, e-mail: speet@ukr.net.*

УДК 621.187.16

**Кишневский В. А.,  
Чиченин В. В.,  
Савич С. Л.**

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА БЛОЧНЫХ МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ ОБОРОТНЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ АЭС

*В статье предложен метод и алгоритм расчета ряда водно-химических режимов комплексных оборотных систем охлаждения ТЭС и АЭС.*

*Усовершенствована методика расчета углекислотного равновесия, позволяющая получать расчетные значения pH и формы щелочности в циркуляционной воде для исследуемых систем, практически не отличающаяся от аналитически измеренных величин.*

**Ключевые слова:** оборотные системы охлаждения, конденсаторы ТЭС и АЭС, скорость отложений, водно-химические режимы.

### 1. Введение

На стадии проектирования комплексных оборотных систем охлаждения (КОСО) необходимо выбрать:

структурную схему соединений водоподготовительной установки (ВПУ), охладителей и конденсаторов; необходимые теплогидравлические и физико-химические условия их эффективной работы; водно-химический

режим системы исходя из качества исходной воды и допустимых величин продувок в окружающую среду.

С этой целью были предложены структурные схемы КОСО блоков с осветлителями, на вход которых подается смесь природной и циркуляционной воды после конденсатора. В этом случае кроме доумягчения циркуляционной воды повышается эффективность процесса известкования не только за счет привнесенного тепла, но и за счет дополнительных центров кристаллизации, образовавшихся в процессе упаривания.

Приемлемым, на наш взгляд, является также метод стабилизации температуры процесса известкования путем смешения горячих и холодных потоков теплоносителей перед встроенным осветлителем КОСО.

Нами предложен водно-химический режим (ВХР) КОСО, заключающийся: в мягкой нейтрализации гидратной щелочности, переводе части карбонатной щелочности в бикарбонатную с сохранением мелкой фракции кристаллов  $\text{CaCO}_3$  в известкованной воде за счет  $\text{CO}_2$ , сорбированного из атмосферы; управлении процессами шламообразования в циркуляционной воде путем дозирования акриловых ингибиторов и транспорта образовавшегося шлама из системы кондиционированием части циркуляционной воды.

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Наиболее эффективными являются замкнутые и полужамкнутые оборотные системы охлаждения (ОСО), для которых коэффициент полезного использования воды наиболее высокий [1]:

$$K_{\text{ПИ}} = \frac{P_1}{P_1 + P_2 + P_3}, \quad (1)$$

где  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  — соответственно выпар, капельный унос и продувка ОСО.

Очевидное условие эффективности использования воды  $\lim_{P_2+P_3 \rightarrow 0} K_{\text{ПИ}} = 1$  невыполнимо по специфике работы ОСО, поскольку рост  $K_{\text{ПИ}}$  сопровождается ростом коэффициента упаривания  $K_y$  и увеличением соледержания циркуляционной воды. Химический состав циркуляционной воды включает ионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ; их концентрация не должна достигать значений, при которых возможно образования труднорастворимых кристаллов на теплообменных поверхностях [2].

В связи с тем, что ионы  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Cl}^-$  являются сильными деполаризаторами коррозии; их концентрация в циркуляционной воде не должна достигать критических значений, при которых возможно разрушение бетонов и интенсификация увеличения скоростей коррозионных процессов энергетического оборудования [3].

При использовании в качестве подпиточной воды с высоким содержанием сульфатов для ее кондиционирования наряду с умягчением на встроенном осветлителе необходимо предусмотреть технологию регулирования содержания  $\text{SO}_4^{2-}$  в циркуляционной воде за счет рециркуляционной очистки продувочной воды на установке обратного осмоса (УОО) [4].

Отдельно стоит задача утилизации продувочных вод, решение которой предопределяется также структурными построениями КОСО:

— если продувки сбрасываются в поверхностные воды региона, то структурная организация КОСО разомкнута, и уровень термохимических загрязнений сбросных вод должен соответствовать экологическим нормам по температуре и по нормируемым, предельно допустимым концентрациям сбрасываемых реагентов и контролируемым солям;

— если продувки отводятся на встроенные в КОСО осветлители с целью утилизации тепла и умягчения части циркуляционной воды, которая после умягчения возвращается снова в КОСО, т. е. рециркулирует в пределах системы или направляется на другие нужды энергообъекта (тепловые сети, химводоочистка, система ответственных потребителей и т. п.), то структурная организация КОСО условно замкнута, и величина  $P_3$  незначительна.

Для оценки влияния режимно-структурных факторов схем КОСО на основные физико-химические показатели циркуляционной воды [5–13] и интенсивность отложений на ТПК разработана определенная методика анализа.

В разработанной методике анализа за критерий эффективности ведения ВХР КОСО во всех вариантах рассматриваемых схем принимается суммарное количество отложений, образующихся на ТПК.

## 3. Методика анализа эффективности функционирования структурных схем ОСО

Нами предложен комплексный метод расчета новых и коррекции используемых ВХР КОСО, заключающийся в теоретическом расчете предельного пересыщения циркуляционной воды при заданном качестве добавочной воды и различных  $K_y$  с использованием экспериментальных данных скорости отложений труднорастворимых солей на теплообменных трубках масштабной модели, имеющей теплогидравлические характеристики исследуемых ОСО.

Методика анализа состоит из расчетного определения ионного состава циркуляционной воды и пересыщения труднорастворимых солей, интенсивности отложений на ТПК в зависимости от структурного построения КОСО, качества добавочной воды и величины продувок.

Данная методика позволяет производить анализ различных схем структурного соединения охладителя, подогревателя и ВПУ в блоках КОСО, а также двухступенчатых схем структурного объединения блоков КОСО.

В качестве исходных данных для анализа принимались:

- теплотехнические характеристики энергоустановок;
- физико-химические характеристики исходной и циркуляционной воды;
- физико-химические характеристики малорастворимых солей и соединений;
- допустимая величина удельных отложений на теплообменных поверхностях конденсаторов в заданный промежуток времени.

В качестве независимых вариационных переменных принимались:

- структурная организация системы КОСО;
- точки смешения потоков и вывода продувок из системы;
- качество кондиционированной добавочной воды;
- качество кондиционированной рециркуляционной воды.

Расчетная методика [5] основана на оценке концентрации  $i$ -ой примеси по отношению к добавочной воде  $j$ -ой ступени:

$${}^j K_y = \frac{j [i]}{(j-1) [i]}, \quad (2)$$

$$\Sigma K_y = \frac{j [i]}{(j-1) [i]}, \quad (3)$$

или по отношению к исходной воде:

$$\Sigma K_y = \frac{j [i]}{[i]_{исх}}, \quad (4)$$

где  ${}^j K_y$ ,  $\Sigma K_y$  — коэффициент упаривания соответственно в  $j$ -ой ступени или суммарно в  $j$  ступенях;  $i$  — основной ион ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ...);  $j=1, 2, \dots, n$  — номер ступени в объединении нескольких единичных блоков КОСО.

— коэффициент упаривания КОСО для схем с рециркуляцией части циркуляционной воды через осветлитель рассчитывается по:

$$\Sigma K_y = \frac{G + \gamma G_3}{G_2 + (1 - \gamma) G_3}, \quad (5)$$

где  $\gamma$  — доля рециркуляции продувки;  $(1 - \gamma)$  — доля воды, необратимо удаляемой с продувкой системы.

— суммарная масса отложений на теплообменных поверхностях с площадями  $F_j$  определяется как функция интенсивности отложений за время экспозиции:

$$M^\Sigma = \sum_j M_j = \left( \sum_j |j_{отл}|_j F_j \right) \tau, \quad (6)$$

где  $M^\Sigma$  — удельные отложения на теплообменной поверхности, г;  $F_j$  — поверхность теплообмена, м<sup>2</sup>;  $|j_{отл}|_j$  — интенсивность отложений, г/(м<sup>2</sup>·ч);  $\tau$  — время, ч.

— величина пересыщения (ВП) малорастворимой соли [6, 7]:

$$\text{ВП} = \frac{[\text{Ca}^{2+}] f'' [\text{CO}_3^{2-}] f''}{\text{ПР}(\text{CaCO}_3)}, \quad (7)$$

где  $\text{ПР}(\text{CaCO}_3)$  — произведение растворимостей карбоната кальция.

— выпадение гипса и гидроксида магния из пересыщенных растворов определяется соблюдением условий:

$$[\text{Ca}^{2+}] \leq \frac{\text{ПР}(\text{CaSO}_4)}{(f'')^2 [\text{SO}_4^{2-}]}, \quad (8)$$

$$\{\text{Mg}^{2+}\} \leq \frac{\text{ПР}(\text{Mg}(\text{OH})_2)}{(f'')(\{f'\} \cdot \{\text{OH}^-\}_{изв})^2}, \quad (9)$$

где  $\text{ПР}(\text{CaSO}_4)$ ,  $\text{ПР}(\text{Mg}(\text{OH})_2)$  — произведение растворимостей карбоната кальция и гидроксида магния [8].

— на основании совместного решения уравнений диссоциации угольной кислоты по первой и второй ступени, ионного произведения воды  $K_w$  и закона элект-

ронейтральности (10) получаем численные значения концентраций иона  $\text{CO}_3^{2-}$ , что позволяет рассчитать величину  $[\text{Ca}^{2+}]_{\text{нас}}^{\text{OCO}}$  — предельную концентрацию иона кальция, вызывающую опасность отложений:

$$\begin{cases} K_d^I = \frac{f'[\text{H}^+] f'[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}, \\ K_d^{II} = \frac{f'[\text{H}^+] f''[\text{CO}_3^{2-}]}{f'[\text{HCO}_3^-]}, \\ K_w = \{\text{H}^+\} \{\text{OH}^-\}; \\ \text{Щ}_O = [\text{OH}^-] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]. \end{cases} \quad (10)$$

— значение избыточной массовой концентрации карбонатных солей:

$$|M_{\text{CaCO}_3}| = \left( [\text{Ca}^{2+}]^{\text{OCO}} - [\text{Ca}^{2+}]_{\text{нас}}^{\text{OCO}} \right) \mathcal{E}_{\text{CaCO}_3}, \quad (11)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{CaCO}_3}$  — эквивалентная масса  $\text{CaCO}_3$ ;  $|M_{\text{CaCO}_3}|$  — масса взвеси, мг/дм<sup>3</sup>;  $[\text{Ca}^{2+}]_{\text{нас}}^{\text{OCO}}$  — предельная концентрация  $\text{Ca}^{2+}$ , мг-экв/дм<sup>3</sup>.

— при условии, что вся выделившаяся из раствора твердая фаза отложится на теплообменной поверхности, гипотетическая скорость отложения выразится:

$$|j_{отл}|^{\text{OCO}} = \frac{G_0 \cdot M_{\text{CaCO}_3}}{F \cdot K_y}, \quad (12)$$

где  $|j_{отл}|^{\text{OCO}}$  — скорость отложений, г/(м<sup>2</sup>·ч);  $M_{\text{CaCO}_3}$  — масса отложений, г/м<sup>2</sup>;  $G_0$  — расход теплоносителя через конденсатор, м<sup>3</sup>/ч;  $F$  — площадь теплообменной поверхности конденсаторов блока, м<sup>2</sup>.

#### 4. Результаты исследования влияния $K_y$ и дозы ингибитора на контролируемые параметры и эффективность исследуемых ВХР

Многoletний опыт расчетов величины рН циркуляционной воды, выполненных по данной методике, и сопоставление с фактическими значениями при различных ВХР КОСО РАЭС (табл. 1) показали ее правильность и достоверность в отношении исходно принятого тезиса о несущественном (менее 3 %) влиянии ассоциированных пар  $\text{CaCO}_3^0$  и  $\text{CaSO}_4^0$  в циркуляционной воде с содержанием (1...2 г/дм<sup>3</sup>) 9, 7, 10, 11, 12, 13.

На основании уравнения (12) можно произвести оценку удельных гипотетических значений массы и толщины отложений на теплообменных поверхностях конденсаторов:

— удельная масса отложений  $|m_{отл}|^{\text{OCO}}$ , г/м<sup>2</sup> на теплообменной поверхности конденсаторов за отрезок время  $\tau$ , ч рассчитывается по формуле:

$$|m_{отл}|^{\text{OCO}} = |j_{отл}|^{\text{OCO}} \tau. \quad (13)$$

Таблица 1

Расчетные и промышленные значения величины рН циркуляционной воды КОСО

Химический состав циркуляционной воды КОСО РАЗС							Расчетные показатели			
№ пп	t, °С	CO <sub>2</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	Ж <sub>0</sub> , мг-экв/дм <sup>3</sup>	Cl <sup>-</sup>	Щ <sub>0</sub>	рН	Щ <sub>0</sub>		рН	Δ
							HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>		
							мг-экв/дм <sup>3</sup>			
1	24,0	0,59	7,8	61,4	6,0	8,91	5,68	0,31	8,96	-0,05
2	24,4	0,59	5,3	40,7	3,9	8,76	3,76	0,13	8,79	-0,03
3	22,7	0,61	6,8	49,1	5,0	8,84	4,80	0,19	8,87	-0,03
4	2,8	0,78	4,8	35,4	3,0	8,53	2,94	0,06	8,56	-0,03

— толщина отложений  $\sigma$ , м ( $\rho_{\text{CaCO}_3} = 1600 \text{ кг/м}^3$ ):

$$\sigma = \frac{|m_{\text{отл}}|^{\text{OCO}}}{\rho_{\text{CaCO}_3}} \quad (14)$$

Из-за многофакторности влияния (скорость обтекания, удельные тепловые потоки, солесодержание, рН, концентрация ГДП, доза и природа ингибитора) на скорость отложений твердой фазы реальные значения скорости отложений на теплообменных поверхностях конденсаторов можно оценить только экспериментально. Стендовая проверка исследуемого ВХР КОСО возможна на масштабной модели исследуемой системы с соответствующими теплогидравлическими характеристиками для конкретного состава воды. На основании системных лабораторных и промышленных исследований для различных классов вод нами получена зависимость:

$$|j_{\text{отл}}|^{\text{OCO}} = A \cdot |Ж_{\text{Ca}}|, \quad (15)$$

где  $|j_{\text{отл}}|^{\text{OCO}}$  — скорость отложений, мг/(м<sup>2</sup>ч);  $|Ж_{\text{Ca}}|$  — средняя концентрация карбонатной жесткости, мг-экв/дм<sup>3</sup>;  $A$  — эмпирический коэффициент.

На основании экспериментально полученной зависимости (15) по аналогии с уравнениями (13), (14) рассчитываются реальные значения массы и толщины отложений на теплообменных поверхностях конденсаторов:

$$|m_{\text{отл}}|^{\text{OCO}} = |j_{\text{отл}}|^{\text{OCO}} \tau, \quad (16)$$

$$\sigma = \frac{|m_{\text{отл}}|^{\text{OCO}}}{\rho_{\text{CaCO}_3}} \quad (17)$$

Для систематизации расчетных и экспериментальных данных и создания целостной картины процессов, происходящих в КОСО (кондиционирования, упаривания, вывода солей, образования отложений), материал сводится в таблицы, на основе которых строятся графические зависимости.

Алгоритм анализа эффективности функционирования структурных схем КОСО и их водно-химических режимов, основанный на вышеприведенной методике, можно представить в следующем виде:

А 1. С учетом качества исходной воды, методов обработки добавочной и циркуляционной вод составляется

первичное структурное построение КОСО и определяются оперативные значения удельных величин  $P_1, P_2$ .

А 2. Составляется материально-солевой баланс выbranной схемы.

А 3. Рассчитывается ионный состав циркуляционной воды для различных значений  $P_3$  и сезонных изменений качества добавочной воды.

А 4. На основании совместного решения системы уравнений по первой и второй ступени, ионного произведения воды  $K_w$  и закона электронейтральности определяются концентрации  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{CO}_2$ , величина рН и величины пересыщения карбонатных солей в граничных условиях растворения гипса. Масса твердой фазы (пересыщения  $\text{CaCO}_3$ ) рассчитывается методом последовательных приближений из начального условия, что  $\text{ВП} = 1$ .

А 5. На основании уравнений (6)...(12) определяется гипотетическая масса ГДП (кристаллов  $\text{CaCO}_3$ ).

А 6. По (13), (14) рассчитываются гипотетические значения массы и толщины отложений на теплообменных поверхностях конденсаторов, а с использованием уравнения (17) реальные значения указанных величин.

А 7. Полученные данные сводятся в таблицы, которые легко трансформируются в графики.

А 8. Задаваясь предельно допустимыми значениями толщины отложений (0,2 мм за год или 0,05 мм за летний период) за сезон, с использованием графиков зависимостей экспериментальных и расчетных значений толщины отложений от величины продувки определяется оперативная величина продувки КОСО и соответствующее значение  $C_{\text{кр}}$ .

## 5. Выводы

1. Предложен научно-технический метод и алгоритм расчета ряда ВХР КОСО, состоящий в теоретическом расчете максимального пересыщения циркуляционной воды при заданном качестве добавочной воды и разных значениях  $K_y$  с использованием экспериментальных данных о скорости образования отложений труднорастворимых солей на теплообменных поверхностях масштабной модели с теплогидравлическими характеристиками исследуемых КОСО.

2. Усовершенствована методика расчета карбонатных систем в циркуляционной воде КОСО в процессе ее упаривания, позволяющая получать расчетные значения рН и формы щелочности в циркуляционной воде для исследуемых систем, практически не отличающаяся от аналитически измеренных величин.

3. Разработан и рассчитан ВХР разомкнутой КОСО с предвключенной ВПУ и очисткой части циркуляционной воды на встроенной ВПУ с организованными продувками циркуляционного контура и термостабилизацией процессов известкования.

4. Условно замкнутая схема КОСО с рециркуляционной очисткой продувки циркуляционного контура на предвключенной ВПУ и организованным выводом обезвоженного шлама из осветлителя позволяет значительно сэкономить расход добавочной воды, однако в процессе эксплуатации концентрации анионов сильных кислот в циркуляционной воде увеличились до 9,7 мг-экв/дм<sup>3</sup> при  $\text{HCO}_3^- = 2,5 \text{ мг-экв/дм}^3$  и  $K_y = 7,4$ .

5. В двухступенчатой схеме процесс накопления анионов сильных кислот во второй ступени более дина-



мичен и при увеличения  $K_y$  может достигнуть более  $20 \text{ мг-экв/дм}^3$ , что является критическим с точки зрения разрушения бетона, коррозии энергетического оборудования, выделения гипса. Для вывода из системы анионов сильных кислот необходимо использовать мембранные технологии очистки циркуляционной воды.

#### Литература

1. Кишнеvский, В. А. Технологии подготовки воды в энергетике [Текст]: учебн. для студ. ВУЗов / В. А. Кишнеvский. — Одесса: Феникс, 2008. — 400 с.
2. Кишнеvский, В. А. Очистка пара котлов от угольной кислоты [Текст] / В. А. Кишнеvский, А. П. Боровский, Б. Н. Шукайло // Холодильная техника и технология. — 2004. — № 2(88). — С. 46–48.
3. Малахов, И. А. Способ организации работы бессточной системы оборотного охлаждения [Текст] / И. А. Малахов // Теплоэнергетика. — 1996. — № 8. — С. 34–38.
4. Методичні рекомендації по проведенню хімічних промивок парогенераторів з боку другого контуру АЕС з реакторами типу ВВЕР [Текст]: ТР-М. 1234.05-051-03. — Офіц. вид. — Технічне рішення Минтопэнерго України. — Київ: Энергоатом, 2008. — 28 с.
5. Кишнеvский, В. А. К расчету водно-химических режимов оборотных систем охлаждения с испарительными охладителями [Текст] / В. А. Кишнеvский, Е. В. Кишнеvский, В. В. Чиченин // Вода и водоочистные технологии. Научно-технические вестн. — 2011. — № 2 (4). — С. 59–63.
6. Боднар, Ю. Ф. Выбор критерия для оценки накипеобразующих свойств охлаждающей воды [Текст] / Ю. Ф. Боднар // Теплоэнергетика. — 1979. — № 7. — С. 65–68.
7. Алёкин, О. А. Основы гидрохимии [Текст] / О. А. Алёкин. — Л.: Гидрометеиздат, 1970. — 437 с.
8. Кишнеvский, В. А. Системы обработки воды в энергетике, расчеты и проектирование [Текст]: учеб. пос. / В. А. Кишнеvский. — Одесса: Астропринт, 2003. — 160 с.
9. Somerscales, E. F. C. Particulate fouling of heat transfer tubes enhanced on their inner surface [Text] / E. F. C. Somerscales, A. F. Ponteduro, A. E. Bergles // Fouling and Enhancement Interactions. — 1991. — № 164. — P. 17–28.
10. Панченко, В. В. Исследование процессов известково-едконатрового умягчения природных вод [Текст] / В. В. Панченко, Б. Н. Ходырев, Б. С. Федосеев и др. // Теплоэнергетика. — 1992. — № 11. — С. 23–26.
11. Гаррелс, Р. М. Растворы, минералы, равновесия [Текст] / Р. М. Гаррелс, Ч. Л. Крайст. — М.: Мир, 1968. — 368 с.
12. Кишнеvский, В. А. Тестовая оценка эффективности моющих растворов при промывках парогенераторов от шламовых

отложений [Текст] / В. А. Кишнеvский, Ю. П. Буравчук, А. А. Силютин // Труды Одесск. политехн. ун-та. — 2004. — № 1(21). — С. 36–39.

13. Исследование эффективности работы современного водоподготовительного оборудования, топливного оборудования и водно-химических режимов ТЭС и АЭС [Текст]: науч.-техн. отчет / рук. В. А. Кишнеvский. — № 0107U001963. — Одесса: ОНПУ, 2009. — 136 с.

#### МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ВОДНО-ХІМІЧНОГО РЕЖИМУ БЛОКОВИХ БАГАТОСТУПЕНЕВИХ ОБОРОТНИХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ АЕС

У статті запропоновано метод і алгоритм розрахунку низки водно-хімічних режимів комплексних оборотних систем охолодження ТЕС та АЕС.

Удосконалено методику розрахунку вуглекислотної рівноваги, що дозволяє отримувати розрахункові значення рН і форми лужності в циркуляційній воді для досліджуваних систем, практично не відрізняється від аналітично вимірних величин.

**Ключові слова:** оборотні системи охолодження, конденсатори ТЕС і АЕС, швидкість відкладень, водно-хімічні режими.

*Кишнеvский Виктор Афанасьевич, доктор технических наук, профессор, кафедра технологии воды и топлива, Одесский национальный политехнический университет, Украина, e-mail: tef.onpu@gmail.*

*Чиченин Вадим Валентинович, кандидат технических наук, доцент, кафедра технологии воды и топлива, Одесский национальный политехнический университет, Украина, e-mail: ch-v-v@yandex.ru.*

*Савич Святослав Лаврентьевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра технологии неорганических веществ и экологии, Одесский национальный политехнический университет, Украина, e-mail: savychsl@gmail.com.*

*Кишнеvський Віктор Панасович, доктор технічних наук, професор, кафедра технології води та палива, Одеський національний політехнічний університет, Україна.*

*Чиченін Вадим Валентинович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра технології води та палива, Одеський національний політехнічний університет, Україна.*

*Савич Святослав Лаврентійович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра технології неорганічних речовин та екології, Одеський національний політехнічний університет, Україна.*

*Kishnevskiy Victor, Odessa National Polytechnic University, Ukraine, e-mail: tef.onpu@gmail.*

*Chichenin Vadim, Odessa National Polytechnic University, Ukraine, e-mail: ch-v-v@yandex.ru.*

*Savych Svyatoslav, Odessa National Polytechnic University, Ukraine, e-mail: savychsl@gmail.com*