

УДК 628.179.2

**Д.В. СТАЛИНСКИЙ**, докт. техн. наук, профессор, генеральный директор,  
**С.И. ЭПШТЕЙН**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, **З.С. МУЗЫКИНА**, канд. техн. наук, ученый секретарь  
Государственное предприятие «Украинский научно-технический центр металлургической промышленности  
«Энергосталь» (ГП «УкрНТЦ «Энергосталь»), г. Харьков

## ЭФФЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ, ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОКОВ

Представлены новые работы ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» по решению ряда проблем, возникающих при создании оборотных систем водоснабжения. Описаны схемы очистки сточных вод, рассмотрены вопросы дегазации сточных вод газоочисток. Предложена методика комплексной обработки воды с целью улучшения осветления воды в условиях применения ингибиторов накипеобразования.

**Ключевые слова:** оборотное водоснабжение, двухступенчатая схема, трехступенчатая схема, карбонатные отложения, тенденция к образованию карбонатных отложений, концентрация свободных ионов, монооксид углерода, коагулянт, флокулянт.

Одним из приоритетных направлений деятельности ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» (далее – Центр) является решение проблем очистки сточных вод и защита водных бассейнов от загрязнений на предприятиях горно-металлургического комплекса. Как известно, создание оборотных циклов водоснабжения – эффективный способ предотвращения сбросов загрязненных сточных вод в водоемы и экономии водных ресурсов, поэтому в Центре особое внимание уделяется разработке таких методов и сооружений для очистки воды, которые обеспечивают создание эффективных систем оборотного водоснабжения как условно-чистых, так и загрязненных вод.

Основные проблемы при создании систем оборотного водоснабжения – накопление в воде солей и, как следствие, появление условий для возникновения коррозии или образования карбонатных отложений. Для оборотных циклов загрязненных вод необходимо применение эффективных способов очистки воды от механических примесей и нефтепродуктов.

Одним из основных потребителей воды на металлургических предприятиях является производство горячекатаного металла как на широкополосных, так и на мелкосортных прокатных станах. Потребление воды на охлаждение металла на широкополосных станах достигает 20 000 м<sup>3</sup>/час и более. Для очистки и повторного использования отработанной воды, которая загрязнена окалиной и маслами, создаются оборотные циклы загрязненной воды (грязные оборотные циклы). Кроме того, отдельными потребителями используется свежая техническая вода или вода из условно-чистых оборотных циклов, в дальнейшем сбрасываемая в оборотные

циклы загрязненных вод, что приводит к переполнению грязных оборотных систем и необходимости сброса избытка загрязненных вод в водоемы.

Проблема создания бессточных оборотных систем водоснабжения загрязненных вод успешно решена специалистами Центра. В качестве примера – система водоснабжения стана 2000 ОАО «Северсталь». Здесь стоки участка охлаждения полосы, загрязненные в меньшей степени, чем сточные воды черновых и чистовых клетей, после предварительного отстаивания (в первичном отстойнике) не подвергаются вторичному отстаиванию, а направляются на антрацито-кварцевые фильтры, после чего частично возвращаются в чистый оборотный цикл, частично – другим потребителям стана (гидросбив окалины, черновые и чистовые клетки). Такая система последовательно-оборотного водоснабжения позволила сократить объем воды, выводимой на дальнейшее отстаивание, и уменьшить количество вторичных радикальных отстойников. Следует отметить, что в данном оборотном цикле впервые в СНГ в качестве первичного отстойника принята (после соответствующих расчетов и проведения гидравлических исследований на модели) яма для окалины гидроциклонного типа.

Аналогичные системы водоснабжения приняты и для ряда других широкополосных станов. Используемые в них для вторичной очистки радиальные отстойники с камерой флокуляции и антрацито-кварцевые фильтры разработаны Центром.

В связи с созданием сталепрокатных комплексов и мини-заводов интенсивно развивается направление по разработке оптимальных схем и эффективных

способов очистки масло-окалиносодержащих сточных вод машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) и прокатных станов. Так, Центром разработана двухступенчатая схема очистки сточных вод МНЛЗ и прокатного стана ОАО «Волгоцеммаш» (рис. 1).

Система оборотного водоснабжения рассчитана на очистку и охлаждение 850 м<sup>3</sup>/час масло-окалиносодержащих сточных вод (250 м<sup>3</sup>/час – от МНЛЗ и 600 м<sup>3</sup>/час – от прокатного стана) и примерно такого же количества воды – от линии закалки.

Требования к качеству осветленной воды: содержание взвешенных веществ – до 20 мг/дм<sup>3</sup>, содержание масел – до 5 мг/дм<sup>3</sup>. Очистка сточных вод предусмотрена в двухсекционных первичных отстойниках (один отстойник – для стоков прокатного стана и один – для сточных вод МНЛЗ) и на антрацито-кварцевых фильтрах диаметром 3 м (перед подачей на фильтры вода обрабатывается флокулянтами).

Центром разработаны также трехступенчатые схемы очистки сточных вод МНЛЗ. В качестве примера – бессточная система водоснабжения МНЛЗ предприятия ГУП «Литейно-прокатный завод» (г. Ярцево Смоленской обл., РФ), где очищаемая вода (1000 м<sup>3</sup>/час) после первичных горизонтальных отстойников поступает на радиальные отстойники (два отстойника диаметром 30 м) и далее – на антрацито-кварцевые фильтры (шесть фильтров диаметром 3 м). Схема оборотного цикла представлена на рис. 2.

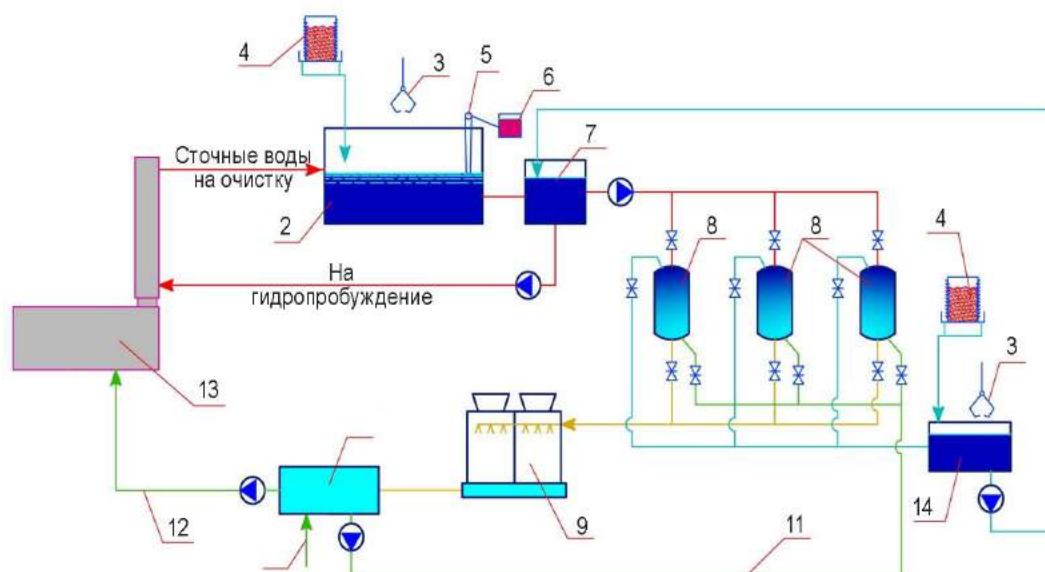
Характерное отличие данной системы – размещение радиальных отстойников над землей на высоте более 20 м, что позволило упростить архитектурно-планировочные решения узла отстаивания и значительно сократить объем земляных и строительных работ по созданию шламовой насосной станции.

Оборотная система пущена в эксплуатацию. Содержание взвешенных веществ в осветленной воде – 0,28 мг/дм<sup>3</sup>, масел – 0,18 мг/дм<sup>3</sup>.

В 2011 г. Центром разработано ТЭО установки для очистки от масел сточных вод МНЛЗ конвертерного цеха ПАО «МК «Азовсталь» – фактически выполнено ТЭО реконструкции оборотного цикла.

В настоящее время расход воды в оборотном цикле составляет 5270 м<sup>3</sup>/час (проектный расход – 2000 м<sup>3</sup>/час). Загрязненная вода подается для очистки на четыре существующих флокулятора диаметром 12 м. Согласно техническому заданию на разработку ТЭО, ожидаемый расход воды – 6000 м<sup>3</sup>/час, требуемое содержание масел в осветленной воде – до 1 мг/дм<sup>3</sup> (при исходном содержании – 10 мг/дм<sup>3</sup>).

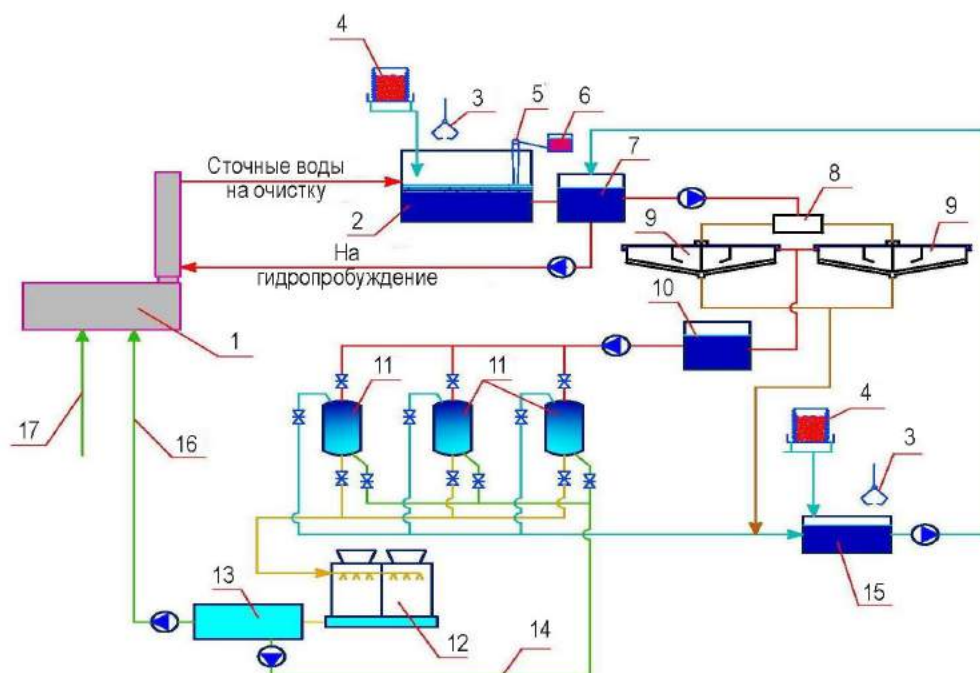
Исследования по очистке сточных вод МНЛЗ методами отстаивания и фильтрования с использованием коагулянтов и флокулянтов показали, что для снижения концентрации масел с 10 мг/дм<sup>3</sup> до 1 мг/дм<sup>3</sup> необходимо применить трехступенчатую схему очистки воды: первичные отстойники, вторичные отстойники и фильтры (рис. 3).



**Рисунок 1 – Схема бессточной двухступенчатой системы очистки сточных вод МНЛЗ и прокатных станов (ОАО металлургический мини-завод «Волгоцеммаш»):**

- 1 – производственный корпус; 2 – яма окалины; 3 – грейфер; 4 – бункер окалины; 5 – маслосборное устройство; 6 – накопитель масла; 7 – резервуар осветленных вод; 8 – напорные антрацито-кварцевые фильтры; 9 – градирни; 10 – резервуар очищенных вод; 11 – вода на обратную промывку фильтров; 12 – очищенные воды в производство; 13 – подпитка свежей водой; 14 – горизонтальный отстойник промывных вод





**Рисунок 2 – Схема бессточной трехступенчатой системы очистки сточных вод МНЛЗ и прокатных станов:**

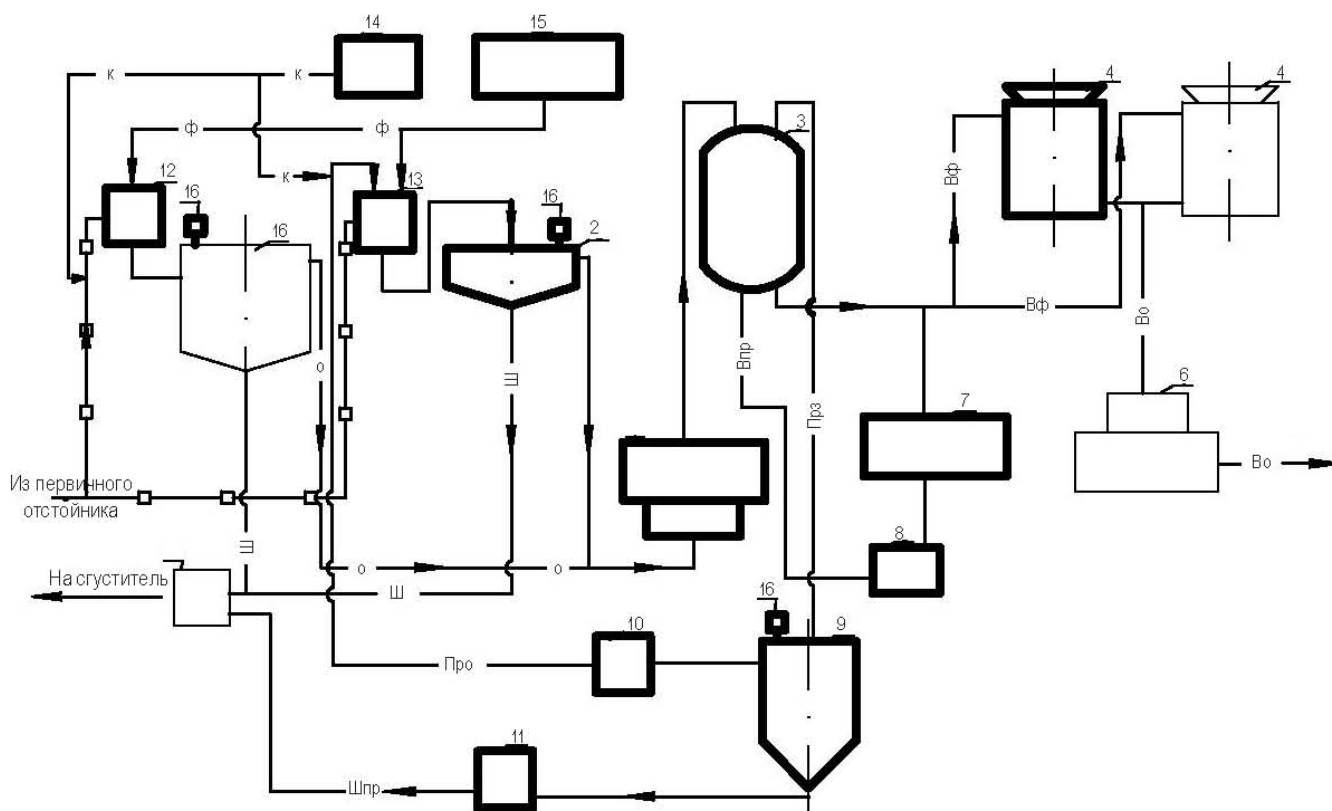
- 1 – производственный корпус; 2 – яма окалины; 3 – грейфер; 4 – бункер окалины; 5 – маслосборное устройство; 6 – накопитель масла; 7 – резервуар осветленных вод; 8 – распределительная камера отстойников; 9 – радиальные отстойники; 10 – резервуар осветленных вод; 11 – напорные антрацито-кварцевые фильтры; 12 – градирни; 13 – резервуар очищенной воды; 14 – вода на обратную промывку фильтров; 15 – горизонтальный отстойник промывных вод фильтров; 16 – очищенные воды в производство; 17 – подпитка свежей водой

В качестве вторичных отстойных сооружений применены тонкослойные флокуляторы, разработанные Центром. При этом четыре существующих флокулятора предложено переоборудовать в прямоугольные тонкослойные флокуляторы, а существующие флотаторы (6 шт.) – в круглые тонкослойные флокуляторы диаметром 10 м. Для доочистки воды предусмотрено использовать 24 антрацито-кварцевых фильтра. Разработана установка для регенерации уловленных масел. Более подробное описание установки для очистки сточных вод МНЛЗ ПАО «МК «Азовсталь» приведено в работе [1].

В работах Центра большое внимание уделяется способам повышения эффективности оборотных систем водоснабжения газоочисток металлургических производств. Производительность оборотных циклов газоочисток доменных печей и конвертеров может достигать 4000–6000 м<sup>3</sup>/час и более. На основании проведенных исследований Центром даны рекомендации для проектирования оборотных циклов газоочисток доменной печи № 9 ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» и доменных печей ПАО «Запорожсталь» с очисткой воды, соответственно, в радиальных отстойниках с камерой флокуляции и флокуляторах, разработанных Центром. Выполнен проект оборотных циклов газоочисток конвертеров и МНЛЗ ПАО «МК «Азовсталь» с очисткой воды во флокуляторах диаметром 12 м. Все упомянутые системы водоснабжения построены и успешно эксплуатируются.

Одна из основных проблем эксплуатации оборотных систем газоочисток конвертеров – образование карбонатных отложений в аппаратах газоочисток и трубопроводах. Наиболее опасны отложения в трубах Вентури, так как они приводят к снижению расхода газа и к созданию взрывоопасных ситуаций (при работе конвертеров в режимах «без дожигания» или «с частичным дожиганием»).

Следует отметить: в отличие от предлагаемых различными разработчиками методов реагентной обработки воды с использованием фосфонатов и комплексонов для предотвращения карбонатных отложений, что приводит к ухудшению осветления воды в отстойных сооружениях, Центром разработан метод комплексной реагентной обработки воды в оборотных системах водоснабжения газоочисток конвертеров, который может быть использован также в оборотных системах мокрых газоочисток других металлургических агрегатов. Суть предлагаемой технологии состоит в том, что оборотная вода, подаваемая в газоочистные аппараты, обрабатывается ингибиторами накипеобразования, а загрязненная вода, поступающая на отстойные сооружения, обрабатывается флокулянтами и коагулянтами (при необходимости). Обработка воды флокулянтами обязательна, поскольку наличие в ней ингибиторов накипеобразования приводит к стабилизации взвешенных веществ и к ухудшению осветления. Комплексное применение флокулянтов и ингибиторов позволяет получить воду требуемого качества (рис. 4).



**Рисунок 3 – Схема очистки сточных вод МНЛЗ (с резервуаром запаса воды для промывки фильтра):**

1 – существующие флокуляторы (4 шт.); 2 – флокуляторы тонкослойные (6 шт., новые, на месте флотаторов); 3 – антрацитокварцевые фильтры d=3,4 (однокамерные – 24 шт. или двухкамерные – 12 шт.); 4 – градирни; 5 – насосная станция подачи воды на фильтры; 6 – насосная станция подачи осветленной охлажденной воды на МНЛЗ; 7 – резервуар запаса воды для промывки фильтров; 8 – насосы для промывки фильтров; 9 – отстойник для загрязненной промывной воды; 10 – насосы для подачи осветленной промывной воды на флокуляторы; 11 – насосы для откачки осадка промывных вод; 12 – распределительная камера существующих флокуляторов; 13 – распределительная камера новых отстойников-флокуляторов; 14 – реагентное хозяйство приготовления и дозирования коагулянтов; 15 – реагентное хозяйство приготовления и дозирования флокулянтов; 16 – маслосборное устройство; 17 – распределительная камера существующих сгустителей

**Условные обозначения трубопроводов:**

- |        |   |         |  |
|--------|---|---------|--|
| —□—    | загрязненная вода от МНЛЗ;  | — Вф —  | фильтрованная вода;                                    |
| —      | предварительно осветленная вода после флокуляторов и тонкослойных отстойников-флокуляторов; | — Впр — | вода на промывку фильтров;                             |
| — ш —  | шлам от осветлителей и тонкослойных отстойников-флокуляторов;                               | — Прз — | загрязненная промывная вода (после промывки фильтров); |
| — Во — | осветленная охлажденная вода на повторное использование;                                    | — Про — | осветленная промывная вода;                            |
|        |   | — Шпр — | осадок промывных вод (в сгустители);                   |
|        |   | — к —   | подача раствора коагулянта;                            |
|        |   | — ф —   | подача раствора флокулянта                             |

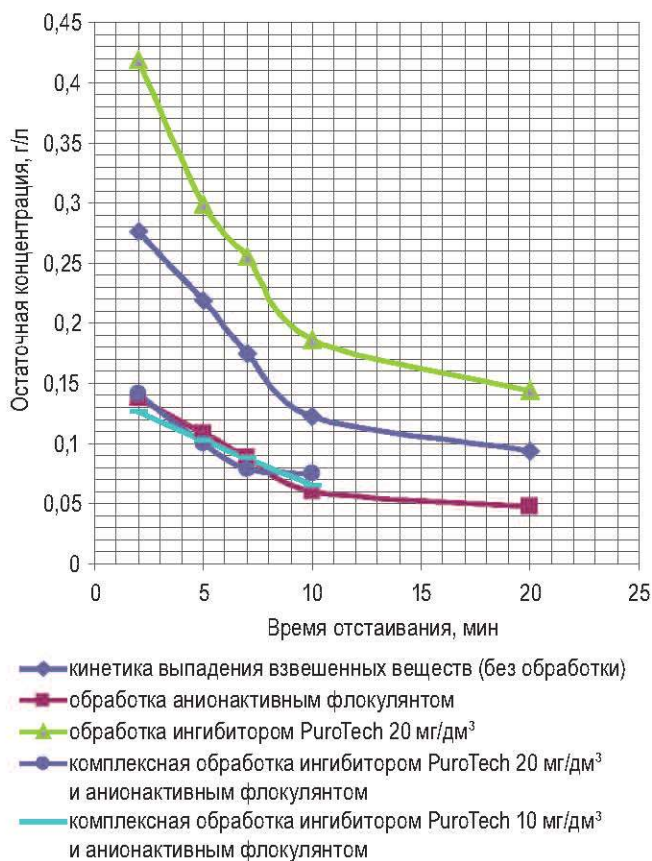
В настоящее время комплексная реагентная обработка воды внедрена в оборотном цикле газоочисток конвертеров на ПАО «Енакиевский металлургический завод» (ПАО «ЕМЗ») и на ПАО «МК «Азовсталь».

При эксплуатации «грязных» оборотных циклов серьезной проблемой является дегазация сточных вод, поскольку в сточных водах газоочисток доменных печей, конвертеров, электросталеплавильных печей могут содержаться вредные газы, в частности монооксид углерода (СО). Для удаления монооксида углерода из воды применяются устройства дегазации, которые обеспечи-

вают удаление газа из падающих струй при контакте с воздухом, однако эти устройства сложны и громоздки. Как правило, необходимо также предусмотреть определенный перепад отметок на отводящих шламопроводах, что на действующих объектах практически невозможно.

В Центре разработано устройство дегазации сточных вод газоочисток конвертеров, представляющее собой укрытый участок шламоотводящего лотка, из которого отсасывается воздух. При этом делить поток на множество падающих струй и создавать перепад отметок на водоотводящих лотках или трубопроводах не





**Рисунок 4 – Результаты комплексной реагентной обработки воды в оборотном цикле газоочисток конвертеров ПАО «ЕМЗ»**

требуется. При разработке данного устройства для конкретного объекта основное значение имеет определение длины укрытого участка и необходимого количества отсасываемого воздуха. В Центре разработана методика оценки этих параметров.

Разработанное устройство дегазации внедрено в оборотном цикле газоочисток конвертеров ПАО «ЕМЗ». Для определения содержания в воде монооксида углерода использована методика, разработанная в Центре. Расчетные и фактические параметры работы устройства приведены в табл. 1.

**Таблица 1 – Расчетные и фактические параметры работы устройства дегазации**

Параметры работы устройства дегазации			
Расход воды, м³/час	Содержание СО в воде, кг/час	Расход отсасываемого воздуха, м³/час	Концентрация СО в воде после дегазации, г/м³
По расчету			
300	2,5	740	0,084
Фактически			
300	25	2740	0

Сложности эксплуатации, связанные с нестабильностью состава воды, возникают и в условно-чистых циклах. Учитывая это, для повышения надежности работы условно-чистых оборотных циклов в Центре разработаны уточненные методы определения тенденции к образованию карбонатных отложений и оценки антинакипной эффективности различных ингибиторов.

Известно, что для определения тенденции к образованию карбонатных отложений используется индекс DFI [2].

$$DFI = \frac{[Ca^{2+}] \cdot f_{Ca} \cdot [CO_3^{2-}] \cdot f_{CO_3}}{S_{CaCO_3}}, \quad (1)$$

где  $[Ca^{2+}]$  и  $[CO_3^{2-}]$  – концентрации ионов  $Ca^{2+}$  и  $CO_3^{2-}$ ;  $f_{Ca}$  и  $f_{CO_3}$  – коэффициенты активности ионов  $Ca^{2+}$  и  $CO_3^{2-}$ ;  $S_{CaCO_3}$  – произведение растворимости  $CaCO_3$ .

На основе обобщения большого объема данных по химическому составу воды оборотных циклов водоснабжения металлургических производств, а также опираясь на фундаментальные положения аналитической химии, авторы установили, что при расчетах по формуле (1) следует использовать концентрации свободных ионов  $Ca^{2+}$  и  $CO_3^{2-}$  (но не общие концентрации этих ионов), что позволит более точно оценить тенденцию к образованию карбонатных отложений.

Центром разработана методика и программа определения DFI с учетом концентраций свободных ионов. С использованием индекса DFI была произведена оценка ингибирующей способности различных реагентов-ингибиторов, используемых для предотвращения карбонатных отложений (табл. 2).

Полученные данные показывают, что по степени удерживания в воде карбоната кальция самым эффективным ингибитором является ОЭДФ, затем Налко 43-63, ЭПМ-12 и PuroTech-41.

Проведенные исследования позволили разработать экспериментально-расчетный метод определения дозы реагентов для антинакипной обработки воды кислотой и ингибиторами, предусматривающий следующие этапы:

- экспериментальное определение предельных величин  $Щ_{пред}$  и  $Ca^{2+}$  при заданных дозах ингибиторов;
- расчет величины  $DFI_{пред}$  (при  $DFI \leq DFI_{пред}$  карбонатные отложения отсутствуют);
- расчет дозы кислоты, необходимой для доведения DFI воды до  $DFI_{пред}$ , при которой обработка воды ингибиторами исключает образование отложений.

Данный метод был использован при разработке технических решений по стабилизационной обработке воды во внутренних оборотных циклах МНЛЗ

Таблица 2 – Сравнительная оценка эффективности ряда ингибиторов (доза 10 мг/дм<sup>3</sup>)

Показатели	Виды реагентов-ингибиторов			
	PuroTech-41	Налко 49-63	ЭПМ-12	ОЭДФ
Щелочность, мг-экв/дм <sup>3</sup> :				
ф-ф	0,55	0,83	0,6	0,73
м-о	4,26	5,8	4,5	6,26
Ca <sub>общ</sub> , мг-экв/дм <sup>3</sup>	6,0	6,65	6,45	7,6
Карбонатный индекс I <sub>к</sub> (мг-экв/дм <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>	25,56	38,57	29,25	45,57
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	1,1	1,66	1,2	1,46
DFI <sub>пред</sub>	33,65	57,98	49,81	65,68

ПАО «Енакиевский металлургический завод». Более подробно этот вопрос рассмотрен в работе [3].

ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» как ведущее предприятие в СНГ по проектированию ферросплавных заводов успешно решает все вопросы, связанные с водоснабжением и водоотведением на этих предприятиях. Водоснабжение потребителей, загрязняющих воду (газоочистки плавильных агрегатов и вспомогательных цехов, гидроуборка и гидротранспорт, разливные машины), организуется по оборотной схеме – в Центре изучены свойства и разработаны методы очистки вод таких потребителей, благодаря чему практически на всех ферросплавных заводах отсутствуют сбросы загрязненных производственных стоков во внешние водоемы, а коэффициент использования воды в системах оборотного водоснабжения для всех видов ферросплавов превышает 94 %.

## ВЫВОДЫ

Основные проблемы при создании оборотных систем водоснабжения – накопление солей и возникновение условий для образования коррозии или карбонатных отложений, а также необходимость эффективной очистки оборотной воды от механических загрязнений и масел.

В ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» разработаны методы и схемы очистки сточных вод газоочисток доменного, конвертерного и электросталеплавильного производств, МНЛЗ и прокатных станов, а также ферросплавных заводов.

С использованием технических решений, проектов и сооружений для очистки воды, разработанных в Центре,

построены и успешно эксплуатируются системы водоснабжения на ведущих металлургических предприятиях Украины и России.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Эпштейн, С.И.** Разработка метода глубокой очистки сточных вод МНЛЗ ПАО «МК «Азовсталь» / С.И. Эпштейн, А.Ю. Капустяк, Ю.А. Щербак, Н.Н. Черкасов, И.В. Нестеренко // Инновационные пути модернизации базовых отраслей промышленности, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей природной среды : сб. тр. I Межотраслевой науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов, 27–28 марта 2012 г., г. Харьков / УкрНТЦ «Энергосталь». – Х., 2012. – С. 391–400.
2. **Кучеренко, Д.И.** Обратное водоснабжение : (Системы водяного охлаждения) / Д.И. Кучеренко, В.А. Гладков. – М. : Стройиздат, 1980. – 168 с., ил. – (Охрана окружающей среды).
3. **Эпштейн, С.И.** Разработка методики предотвращения карбонатных отложений во внутренних контурах охлаждения МНЛЗ Енакиевского металлургического завода / С.И. Эпштейн, Н.Н. Черкасов, А.Ю. Капустяк, Ю.А. Щербак // Инновационные пути модернизации базовых отраслей промышленности, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей природной среды : сб. тр. I Межотраслевой науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов, 27–28 марта 2012 г., г. Харьков / УкрНТЦ «Энергосталь». – Х., 2012. – С. 423–431.

*Поступила в редакцию 15.04.2012*

Надано нові роботи ДП «УкрНТЦ «Енергосталь» щодо вирішення ряду проблем, які виникають під час створення оборотних систем водопостачання. Описано схеми очистки стічних вод, розглянуто питання дегазації стічних вод газоочисток. Запропоновано методику комплексної обробки води з метою поліпшення освітлення води в умовах застосування інгібіторів накипоутворення.

The article presents new works of SE "UkrRTC "Energostal" on solving the problems arising under construction of circulating water supply systems. The scheme of wastewater treatment is described, issues of wastewater degassing after gas purification are considered. The technique of comprehensive water treatment for the purpose of improving water clarification under scale inhibitors applying is suggested.