

УДК 628.32

С.Е.НИКУЛИН, канд. техн. наук

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

А.В.ПРОКОПЕНКО

*УкрГНТЦ «Энергосталь», г.Харьков*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСА ПРИМЕНЕНИЯ ВИХРЕВЫХ НАПОРНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ОЧИСТКЕ ВОДЫ ОТ МАЛОРАСТВОРИМЫХ СОЛЕЙ**

Проведено исследование теоретических и эмпирических зависимостей, описывающих стадии процесса, определяющих количество, скорость роста и кинетику процесса образования карбонатной накипи. Рассмотрены результаты промышленной эксплуатации систем и лабораторных экспериментов смешивания сточных вод с различной щелочностью, а также влияние скорости перемешивания при этом на интенсивность образования карбонатных отложений. Обоснована возможность применения усовершенствованного горизонтального прямооточного цилиндрического гидроциклона для целей эффективного смешения сточных вод различного химического состава с целью очистки воды от солей временной жесткости.

Проведено дослідження теоретичних і емпіричних залежностей, які описують стадії процесу, що визначають кількість, швидкість росту і кінетику процесу утворення карбонатного накипу. Розглянуті результати промислової експлуатації систем і лабораторних експериментів змішування стічних вод з різною лужністю, а також вплив швидкості перемішування при цьому на інтенсивність утворення карбонатних відкладень. Обґрунтована можливість застосування вдосконаленого горизонтального прямооточного циліндрового гідроциклона для цілей ефективного змішення стічних вод різного хімічного складу з метою очищення води від солей тимчасової жорсткості.

Research of theoretical and empiric dependences of describing the stages of process, determining the amount, speed of growth and kinetics of process of formation of carbonate scum, is conducted. The results of operation and maintenance phase of the systems and laboratory experiments of mixing of sewages are considered with different alkalinity, and also influence of speed of interfusion here on intensity of formation of carbonates deposits. Possibility of application of the improved straight-flow horizontal cylindrical hydrocyclone is grounded for the aims of the effective mixing of sewages of different chemical composition with the purpose of water treatment from salts of temporal inflexibility.

*Ключевые слова:* теоретические и эмпирические зависимости, скорость, кинетика, карбонатные отложения, щелочность, смешивание, скорость перемешивания, горизонтальный прямооточный цилиндрический гидроциклонный аппарат, очистка, соли временной жесткости.

Проблема зарастания плотными солевыми (карбонатными) отложениями форсунок охлаждающих систем характерна практически для всех бессточных оборотных циклов водоснабжения горячих цехов в черной металлургии, машиностроении и других отраслей промышленности.

Разработка рациональных методов очистки сточных вод от мало-растворимых солей жесткости особенно актуальна для Украины, ввиду

ограниченного количества природных вод с низким содержанием магниевых и кальциевых солей жесткости.

Вопросами теоретического моделирования процессов образования, роста и старения кристаллов карбоната кальция занимались многие ученые: Ю.И.Боев, Л.С.Мрежин, А.Л.Пельш, Г.Е.Крушель [1-4] и др.

Анализируя различные варианты процесса накипеобразования, можно представить процесс выделения из воды карбоната кальция из следующих стадий: начальное кристаллообразование – переход ассоциатов  $[Ca^{2+} \cdot CO_3^{2-}]$  в молекулы  $CaCO_3$ ; образование центров кристаллизации – зародышей кристаллов; рост кристаллов.

Считается, что состав “первичной” накипи полностью зависит от температуры пограничного слоя в теплообменниках, а состав “вторичной накипи” – от температуры в объеме воды. Первичное накипеобразование считается характерным для теплообмена с кипением воды, например, в дистилляционных опреснительных установках. Для оборотных систем водоснабжения характерным считается вторичное накипеобразование – образование зародышей и частично рост кристаллов протекает в объеме раствора. Микрокристаллы карбоната кальция находятся во взвешенном состоянии и осаждаются на поверхности теплообменников за счет сил адгезии, гравитационных сил и т.д.

Рядом учёных предложены формулы определения количества карбоната кальция, выделяющегося при распаде бикарбоната, скорости роста карбонатной накипи в теплообменниках, описывающие кинетику процесса.

Д.И.Кучеренко предложил определять количество карбоната кальция, выделяющегося при распаде бикарбоната по формуле [5]

$$X = [(P_1 + P_2 + P_3) \cdot \text{Щ}_{\text{доб}} - (P_2 + P_3) \cdot \text{Щ}_{\text{об}}] \cdot Q \cdot 10^{-2} \cdot \tau \cdot 50, \text{ г},$$

где  $P_1, P_2, P_3$  – потери воды в оборотной системе на испарение, капельный унос и продувку, %;  $\text{Щ}_{\text{доб}}, \text{Щ}_{\text{об}}$  – щелочность оборотной и добавочной воды, г-экв/л;  $Q$  – расход воды в оборотной системе,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $\tau$  – продолжительность работы оборотной системы, ч.

В работе предложена формула [6] для определения скорости роста карбонатной накипи в теплообменниках:

$$C = A \cdot I \cdot e^{-\beta \cdot t},$$

где  $A$  – коэффициент пересчета глубины распада бикарбонатов ( $I$ ) на скорость роста отложений накипи в данной оборотной системе;  $I = (Ж_{\text{п}} K_x - Ж_{\text{о}}) 50, \text{ г}/\text{м}^3$ ;  $Ж_{\text{п}}, Ж_{\text{о}}$  – карбонатная жесткость подпиточной и оборотной воды, г-экв/м<sup>3</sup>;  $K_x$  – коэффициент упаривания;  $\beta$  – коэффициент, определяющий возрастание скорости роста отложений с увеличением температуры,  $1/^\circ\text{C}$ ;  $t$  – температура нагрева воды в

точке образования отложений, °С.

Коэффициенты  $A$  и  $\beta$  определяются для каждой оборотной системы экспериментально.

Влияние гидродинамических параметров на скорость роста кристаллов накипеобразования в теплообменниках учитывается вводом коэффициента диффузии в уравнение роста в работах [7-9]:

$$\frac{dm}{d\tau} = \frac{D}{\delta}(x - x_0),$$

где  $D$  – коэффициент диффузии;  $\delta$  – толщина диффузионного слоя;  $x$  – концентрация вещества в растворе;  $x_0$  – растворимость вещества.

Действие приведенного уравнения первого порядка ограничивается начальным периодом – термического распада бикарбоната кальция и для роста отложений накипи в инкубационный период.

Для условий существования в водной системе центров кристаллизации, например твердой фазы (взвешенных частиц) или ранее образовавшихся кристаллов солей справедливо уравнение реакции второго порядка [9-13]:

$$\frac{dm}{d\tau} = K(x - x_0)^n,$$

где  $n = 2$ ;  $K$  – коэффициент пропорциональности.

Оценивая известные теоретические представления об условиях образования и кинетики прикрепления кристаллов малорастворимых солей можно сделать следующие выводы:

- наличие твердой фазы (сформированных кристаллов, взвешенных частиц) ускоряет переход в молекулы карбоната кальция. Это характерно для всех процессов кристаллизации из пересыщенных растворов;

- стимулирование процесса диффузии (массобмена) ускоряет рост кристаллов;

- отсутствуют теоретические зависимости, в которых бы в полной мере учитывалось влияние скорости перемешивания при наличии твердой фазы на кинетику выделения карбоната кальция и интенсивность процесса образования солевых отложений.

Один из известных методов решения проблемы предотвращения образования отложений в охлаждающих системах в промышленности – смешение сточных вод различного химического состава с последующим отстаиванием усредненных вод. Например, сточных вод газоочисток конвертерного производства с преимущественно бикарбонатной щелочностью и подбункерных помещений доменного производства – с гидратной щелочностью [14].

Однако стандартные конструкции отстойников не предусматривают зону для эффективного смешения вод различного химического состава. Как показала промышленная эксплуатация, процесс смешения в радиальных отстойниках Ø30 м с камерой флокуляции имел нестационарный характер, что приводило к выносу “свежих” кристаллов карбоната кальция, обладающих большой адгезионной способностью, из отстойников. В результате по всему напорному тракту подачи осветленной воды и в трубе Вентури газоочистки конвертеров одного из заводов России наблюдались интенсивные отложения – до 50 мм в сутки.

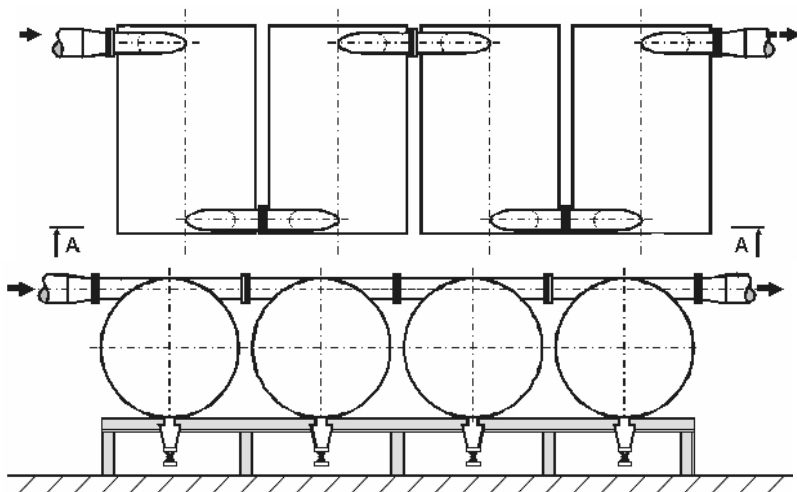
Известны лабораторные исследования по определению влияния интенсивного перемешивания в горизонтальной плоскости смеси вод, моделирующих физико-химический состав сточных вод указанных выше производств [15].

Установлены оптимальные диапазоны максимальных линейных скоростей и продолжительности безнапорного горизонтального перемешивания для достижения максимального эффекта ингибирования карбоната кальция: без взвешенных веществ –  $V_{\text{д}} \geq 5,6$  м/с и  $t_{\text{п}} = 1,5-2,5$  мин.; при концентрациях взвешенных веществ 50-100 мг/л –  $V_{\text{д}} = 1,9-3,8$  м/с и  $t_{\text{п}} = 1,5-2,5$  мин.; при концентрациях взвешенных веществ 5000 мг/л –  $V_{\text{д}} = 1,9$  м/с и  $t_{\text{п}} = 1,5$  мин.

Известны конструкции, теоретические и экспериментальные исследования прямоточных напорных горизонтальных вихревых аппаратов, предназначенных для очистки сточных вод от тяжелых примесей [16]. На рисунке приведены план и разрез А-А усовершенствованного горизонтального прямоточного цилиндрического гидроциклонного аппарата.

Анализ технологических параметров при испытании этих аппаратов в промышленных условиях позволяет обоснованно сделать вывод о возможности реализации в них скоростного режима, обеспечивающего оптимальные условия массообмена для обеспечения эффективного смешения сточных вод различного химического состава. Очевидно, что конструкция аппаратов требует адаптации для целей максимального снижения адгезионной способности образующихся кристаллов карбоната кальция до момента их выхода из аппарата. Проведение натурных исследований на модернизированных аппаратах, а также совершенствование теоретической модели кристаллизации малорастворимых солей в направлении учета скоростного режима перемешивания позволит создать эффективную ресурсосберегающую технологию очистки химически загрязненных оборотных вод в различных областях промышленности от солей временной жесткости при минимальных ка-

питательных затратах.



План и разрез А-А усовершенствованного горизонтального прямоточного цилиндрического гидроциклонного аппарата

1. Боев Ю.И. Накипобразование в теплообменных аппаратах, работающих на природных минерализованных водах // Химия и технология воды. – 1981. – №2. – С.156-161.
2. Мрежин Л.С., Ткач В.И. и др. Опыт пуска, наладки и эксплуатации 5-корпусной опреснительной установки Красноводской ТЭЦ // Вопросы атомной науки и техники. Опреснение соленых вод. – 1975. – №1(7). – С.14-22.
3. Пельш А.Л. и др. Справочник экспериментальных данных по растворимости солевых систем. Т.4. – Л.: Госхимиздат, 1963. – 243 с.
4. Крушель Г.Е. Образование и предотвращение отложений в системах водяного охлаждения. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1955. – 224 с.
5. Кучеренко Д.И., Гладков В.А. Обратное водоснабжение / Системы водяного охлаждения. – М.: Стройиздат, 1980. – 168 с.
6. Кошкина К.А., Мانتель В.Э., Машанов А.В. Определение режимов работы действующих систем обратного водоснабжения в зависимости от скорости роста отложений // Промышленная энергетика. – 1982. – №9. – С.36.
7. Жабин Г.Г. Закономерности отложения карбоната кальция на поверхности нагрева из турбулентного потока некипящей жидкости // Тр. ВНИИ ВОДГЕО. Вып.49. – М., 1975. – С.42-45.
9. Матусевич Л.Н. Кристаллизация из растворов в химической промышленности. – М.: Химия, 1988. – 303 с.
10. Михайловский В.Я., Иванов А.М., Червинский К.А. Пути воздействия ингибиторов на процесс превращения бикарбоната кальция в карбонат // ЖПХ. – 1980. – №3. – С.481-484.
11. Иванов А.М., Михайловский В.Я., Червинский К.А., Галабидский Б.В. Кинетика образования поверхностных отложений при превращении бикарбоната кальция в карбо-

нат // Украинский химический журнал. – 1980. – Т.46, №3. – С.270-274.

12.Иванов А.М., Михайловский В.Я., Галабицкий Б.В., Червинский К.А. Кинетика превращения бикарбоната натрия, калия и кальция в разбавленных водных растворах // Журнал общей химии. –1979. – Т.49, №3. – С.481-485.

13.Иванов А.М., Михайловский В.Я., Галабицкий Б.В., Червинский К.А. Влияние гидродинамических факторов на устойчивость водных растворов бикарбоната кальция // Украинский химический журнал. – 1978. – Т.44, №7. – С.721-724.

14.Шуб В.Б., Хвостак Л.Л., Пантелют Г.С., Муха В.И. Водооборотные системы на металлургических предприятиях // Водоснабжение и санитарная техника. – 1987. – №12. – С.25-26.

15.Никулин С.Е. Усовершенствованная система оборотного водоснабжения станов горячей прокатки: Дисс. ... канд. техн. наук. – Харьков: НДПИ «Энергосталь», 1994. – 233 с.

16.Левашова Ю.С. Очищення стічних вод від механічних мінеральних домішок у прямооточних вихрових апаратах: Дис. ... канд. техн. наук. – Харків: ХДТУБА, 2007. – 145 с.

*Получено 25.12.2009*

УДК 628.35

А.Я.ОЛЕЙНИК, д-р техн. наук

*Киевский национальный университет строительства и архитектуры*

А.И.ТЕТЕРЯ, канд. техн. наук

*ООО "UKRBIOTAL", г. Ровно*

## **СУЩЕСТВУЮЩИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ НА УСТАНОВКАХ МАЛОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ**

Приведены существующие модели расчета процессов биологической очистки на установках малой производительности (УМП). Проанализирована возможность применения моделей различных порядков для различной степени очистки.

Наведено існуючі моделі розрахунку процесів біологічного очищення на установках малої продуктивності (УМП). Проаналізовано можливість застосування моделей різних порядків для різного ступеня очищення.

In article existing models of calculation biological clearing processes on small productivity installations are resulted. The opportunity of models application of various orders for a various degree of clearing is analysed.

*Ключевые слова:* установки малой производительности, модель, нитрификация, денитрификация, биологическая очистка.

В установках и сооружениях малой производительности используются различные технологии и методы утилизации сточных вод в зависимости от решаемых задач и реальных возможностей их реализации. Однако, наиболее эффективным и перспективным в случае малых количеств сточных вод, загрязненных преимущественно органическими веществами, соединениями азота и фосфора и некоторых других являются биологические методы, основанные, как известно, на