

В модели с помощью участков локальной стационарности с разными параметрами интенсивности имитируются нестационарные потоки, представляющие собой совокупность сформированных участков.

4. На заключительном этапе результаты моделирования записываются в файл и отображаются в графическом виде на экране монитора ПЭВМ. Результат моделирования – потоки запросов на передачу кадров корреспондентов сети и их объединение в суммарный поток. Сформированные потоки запросов представляют собой, по сути, временные ряды, состоящие из запросов на передачу от  $K$  корреспондентов с возможностью изменения интенсивности потока запросов у каждого корреспондента.

#### Выводы.

Разработанная модель позволит проводить исследование ИВС для различных ситуаций, возникающих в процессе воздействия модифицированных DoS-атак. С ее помощью появляется возможность формирования сетевого трафика с заданными характеристиками.

Таким образом, имитационная модель формирует последовательности моментов запросов на передачу кадров в магистральном канале СЛС с заданным законом изменения интенсивности, обладающие свойствами ординарности и нестационарности. Использование модели позволит осуществлять имитацию как стандартных, так и аномальных ситуаций, встречающихся в ИВС. Один из вариантов предусматривает формирование эталонных ситуаций, возникающих при сетевой атаке в реальной обстановке, что может быть использовано для повышения информационной безопасности сети.

#### Литература

1. Брэгг, Р. Безопасность сетей / Р. Брэгг, М. Родс-Оусли, К. Страссберг. – М., 2006.
2. Вентцель, Е. С. Исследование операций / Е. С. Вентцель. – М., 1972.
3. Добровольский, Е. В. Моделирование сетевого трафика с использованием контекстных методов / Е. В. Добровольский, О. Л. Нечипорук. – Одесса, 2005.
3. Шелухин, О. И. Моделирование информационных систем / О. И. Шелухин, А. М. Тенякшев, А. В. Осин. – М., 2005.

УДК 536.24

**Н. В. Телин**

*Череповецкий государственный университет*

### КИНЕТИКА НАКИПЕОБРАЗОВАНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА

В статье предложен единый подход к оценке кинетики кристаллизации накипеобразователей на поверхности теплообмена. Разработана методика оценки образования накипи на теплообменных поверхностях тепломеханического оборудования.

Кинетика, кристаллизация, теплоноситель, теплообмен, нагрев, охлаждение, накипеобразование, накипь, тепломеханическое оборудование.

In the article a unified approach of evaluation of crystallization kinetics formation of scale on the heat transfer surface is suggested. Method for estimation of scale formation on heat transfer surfaces of mechanical equipment is developed.

Kinetics, crystallization, heat transfer material, heat transfer, heating, cooling, scaling, scale, thermal and mechanical equipment.

#### Введение.

При использовании теплоносителей, содержащих растворенные соли и газы, на поверхности теплообмена ответственных элементов тепломеханического оборудования образуются отложения. Непрерывно растущий на поверхности теплообмена слой отложений, имеющий высокие механические свойства и низкий коэффициент теплопроводности, снижает интенсивность теплопередачи и нарушает гидравлический режим тепломеханического оборудования, что является основной причиной повреждения экранированных труб паровых и водогрейных котлов.

Экспериментальное изучение процессов образования отложений на поверхностях теплообмена ответственных элементов тепломеханического оборудования является довольно сложной задачей, поэтому их теоретическое изучение становится наиболее предпочтительным. Однако практическая реализация

предлагаемых на настоящее время расчетных соотношений связана с необходимостью экспериментального определения коэффициента скорости накипеобразования [1]. Кроме того, при разработке математических моделей отсутствует ясность в факторах, определяющих интенсивность процесса образования отложений. В работе [2], например, показано, что определяющим фактором процесса выпадения солей жесткости на поверхности нагрева является предел растворимости солей при соответствующей температуре. Скорость процесса определяется значением местной тепловой нагрузки во второй степени. Другие авторы считают, что масса отложений на поверхности теплообмена может быть пропорциональна плотности теплового потока в первой, второй и, как предполагается, другой, более высокой, степени. В данной работе предпринята попытка выработать

единый подход к оценке кинетики накипеобразования на поверхности теплообмена.

### Основная часть.

Рассматривается кинетика образования отложений на поверхности теплообмена тепломеханического оборудования. Появление отложений на теплообменных поверхностях тепломеханического оборудования определяется химическими законами. Движущей силой процесса кристаллизации является пересыщение, т. е. превышение фактической концентрации растворенного вещества над его растворимостью. Параметрами, определяющими интенсивность образования накипи на поверхности теплообмена, являются: состав теплоносителя, температура поверхности теплообмена и режим движения теплоносителя.

Для практических приложений наибольший интерес представляет исследование состояния раствора (теплоносителя) вблизи температуры пересыщения. Для солей с отрицательным температурным коэффициентом (например,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Mg(OH)}_2$ ,  $\text{CaSO}_4$ ) растворимость солей с повышением температуры уменьшается. Пересыщение таких солей наблюдается при нагреве теплоносителя. Для солей с положительным температурным коэффициентом (например,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ) растворимость солей в воде с повышением температуры увеличивается. Пересыщение таких солей будет наблюдаться при охлаждении теплоносителя. Некоторые вещества, например, кремниевая кислота, сильно растворимы в паре. В настоящее время информация о зависимостях растворимости веществ от температуры ограничена и противоречива, особенно для высоких температур.

Основное вещество, образующее накипь на поверхностях ответственных элементов тепломеханического оборудования (теплообменные поверхности котлов и бойлеров, экранных или кипятильных труб, теплообменниках, трубопроводах), – карбонат кальция. Поэтому далее, не теряя общности рассуждения, рассмотрение кинетики накипеобразования в данной работе проводится применительно к кальциевым соединениям. Кроме того, в подавляющем большинстве случаев содержание кальция в теплоносителе существенно превышает содержание магния. Зависимость растворимости карбоната кальция  $C(t)$  в воде от температуры воды может быть представлена уравнением  $C(t) = A \cdot e^{-a \cdot t}$ . Для диапазона температур 20...100°C при атмосферном давлении  $A = 78,71$ ;  $a = 0,0155$  при коэффициенте детерминации  $R^2 = 0,9493$ . А в диапазоне температур 100...300°C на линии насыщения воды  $A = 34,614$ ;  $a = 0,00347$ ,  $R^2 = 0,9905$ . Зависимость получена на основе данных, приведенных в работах [2], [3]. Аналогичные уравнения получены для растворимости солей  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$  и  $\text{Mg(OH)}_2$ .

Можно показать, что максимальный диффузионный поток вещества  $m$  на поверхность теплообмена определяется соотношением

$$m = a \frac{D}{\lambda} C(t) \cdot q, \quad (1)$$

где  $a$  – постоянная величина;  $D$  – коэффициент диффузии;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности теплоносителя;  $C(t)$  – растворимость накипеобразователя у поверхности теплообмена;  $q$  – плотность теплового потока.

Из теории броуновского движения следует, что коэффициент диффузии равен

$$D = k \cdot T / (6\pi \cdot \eta \cdot r),$$

где  $k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – температура, К;  $\eta$  – коэффициент динамической вязкости, Па·с;  $r$  – радиус диффундирующей частицы, м.

Плотность теплового потока на поверхности определяется, исходя из характера процесса взаимодействия теплоносителя с поверхностью теплообмена

$$q = \alpha \cdot (t_n - \bar{t}_ж),$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи;  $t_n$  – температура поверхности теплообмена;  $\bar{t}_ж$  – средняя температура потока теплоносителя.

Для оценки интенсивности образования смешанных накипей на поверхностях теплообмена используется принцип суперпозиции.

Существующие методы подготовки воды практически исключают образование накипи карбоната кальция в экранных трубах. Однако образование накипи в экранных трубах возможно при нарушении водно-химического режима. Произведем экстремальную оценку времени нарушения водно-химического режима, приводящую к повышению температуры наружной поверхности экранной трубы котла ДКВР – 10 – 13 до критического значения (450°C) по соотношению (1). Температура обогреваемой поверхности (со стороны газов) при загрязненной накипью поверхности теплообмена определяется из уравнения

$$t_{ст} = t_n + q \left( \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{\delta_{отл}}{\lambda_{отл}} + \frac{1}{\alpha} \right), \quad (3)$$

где  $t_{ст}$  – температура стенки;  $t_n$  – температура насыщения (кипящей воды);  $q$  – плотность теплового потока;  $\delta_{ст}$  – толщина стенки;  $\delta_{нак}$  – толщина слоя накипи;  $\lambda_{ст}$  – коэффициент теплопроводности материала стенки;  $\lambda_{отл}$  – коэффициент теплопроводности слоя отложений;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи от накипи к воде.

Для проведения расчетов принято: температура пароводяной смеси в трубе  $\bar{t}_ж = 200$  °C,  $a = 0,00347$  1/°C,  $d = 50 \cdot 10^{-3}$  м,  $\delta = 2,5 \cdot 10^{-3}$  м, плотность теплового потока  $q = 0,7$  МВт/м<sup>2</sup>. Для выбранных значений параметров работы экранной трубы скорость образования толщины слоя карбоната кальция на ее поверхности составляет 0,634 мм/мес. При скорости образования толщины слоя 0,634 мм/мес. температура наружной поверхности трубы достигнет своего критического значения (450 °C) через 0,3 месяцев непрерывной

работы котла. Дальнейшее продолжение эксплуатации котла в условиях нарушения водно-химического режима может привести к аварии.

Использованные в настоящей работе методы и полученные результаты могут быть применимы для предварительной оценки технического состояния тепломеханического оборудования, работающего в условиях накипеобразования без разборки, что позволяет повысить его надежность.

#### Выводы.

1. Предложен единый подход для оценки кинетики кристаллизации накипеобразователей на поверхности теплообмена, учитывающий вид накипеобразователей и концентрацию раствора, условия его на-

грева или охлаждения, характер движения потока теплоносителя и величину тепловой нагрузки.

2. Предложенная методология может служить основой для оценки ресурса отдельных элементов тепломеханического оборудования, а также расчета и нормирования расхода реагентов на обработку воды.

#### Литература

1. Давидзон, М. И. Массоперенос при накипеобразовании внутри труб / М. И. Давидзон // Теплоэнергетика. – 2004. – №10. – С. 75–77.
2. Манькина, Н. Н. Физико-химические процессы в пароводяном цикле электростанций / Н. Н. Манькина. – М., 1977.
3. Лисиенко, В. Г. Теплотехнические основы технологии и конструирования машин непрерывного литья заготовок / В. Г. Лисиенко, Ю. А. Самойлович. – Красноярск, 1986.

УДК 681.3.06

*А. Н. Швецов, С. В. Дианов*  
Вологодский государственный университет

## О ПОСТРОЕНИИ УНИВЕРСАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

*Работа поддержана грантом РФФИ №15-01-04713 а*

В статье рассматривается проблема создания универсальной модели представления гетерогенной информационной среды. Авторами статьи предлагается в качестве теоретического базиса такой модели использовать теорию информационных объектов.

Информационная среда, информационный объект, модель данных, открытая информационная система.

The article considers the problem of creating a generic view model of a heterogeneous information environment. The authors suggest using the theory of information objects as theoretical foundation of this model.

Information environment, information object, a data model, an open information system.

#### Введение.

Процессы формирования современной техногенной среды непосредственным образом связаны с образованием информационного пространства как основы информационных систем, создаваемых посредством технических средств и предназначенных для использования человеком-машинными системами [3].

При этом разнообразие технических средств и технологий их построения привели и в дальнейшем будут приводить к существованию огромного количества зафиксированной на машинных носителях информации, представленной с использованием различных формализованных систем. Данное обстоятельство в значительной степени усложняет процессы создания и эксплуатации современных информационных систем, к которым в качестве одного из основных критериев их функционирования предъявляется требование открытости. В этой связи актуальной является тема создания эффективных механизмов функционирования человеко-машинных систем в распределенной гетерогенной информационной среде, центральным моментом которых становится

решение проблемы единого понимания информации различными субъектами информационной системы, возникающей в процессах непосредственного доступа, хранимой информации в данной системе и передачи информации между субъектами информационных систем.

#### Основная часть.

Можно выделить следующие используемые в современной практике решения проблемы информационного взаимодействия в гетерогенных средах:

1. Разработка общих форматов представления информации в рамках обеспечения функционирования определенных групп информационных систем. Одним из многочисленных примеров подобного рода стандартов является отраслевой стандарт создания, хранения, передачи и визуализации медицинских изображений и документов обследованных пациентов DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine).
2. Разработка специализированных интерфейсов доступа к информации, представленной в опреде-