

КОРРЕЛЯЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ДЕАЭРАЦИИ

Демьяненко Е.В., студент; Тарасюк В.П., доц., к.т.н.

(ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, Украина)

Анализ опубликованных данных показал, что потери металла от коррозии за весь срок службы металлических конструкций составляет приблизительно 8% начальной массы. Если принимать во внимание весьма высокий уровень оснащенности теплоэнергетики дорогостоящими металлическими конструкциями, то на основе этого показателя легко представить размеры ущерба, который наносит коррозия.

Коррозионное повреждение металла часто приводит к аварийным остановкам теплоэнергетического оборудования или снижению его мощности. Повреждения нередко лимитируют выработку электроэнергии и отпуск теплоты потребителям пара с одновременным пережогом топлива.

На тепловых электростанциях перед техникой противокоррозионной защиты стоят чрезвычайно сложные задачи по обеспечению безопасной работы металла с учетом форсированной их эксплуатации при высоких значениях температуры и давления. Конденсатно-питательный тракт современных ТЭС включает в себя значительное количество элементов оборудования, способных подвергаться коррозионным разрушениям под действием растворенных в воде кислорода и угольной кислоты.

Наличие в системе ПНД благоприятствует развитию коррозии, так как температура воды после этих подогревателей возрастает на несколько десятков градусов. Согласно закону Вант-Гоффа повышение температуры на 10°C ускоряет протекание реакции в 2 раза и более [1, стр.83]. На рис.1 представлена зависимость скорости коррозии стали от температуры воды, где 1 – водопроводная вода, 2 – Na-катионированная вода, 3 – химически обессоленная вода, 4 – H-Na-катионированная вода. Весь водный тракт подвергается коррозии при совместном действии кислорода и угольной кислоты. Влияние щелочности воды на скорость коррозии стали показано на рис.2., которое в свою очередь является фактором зависимым от температуры и давления в деаэраторе.

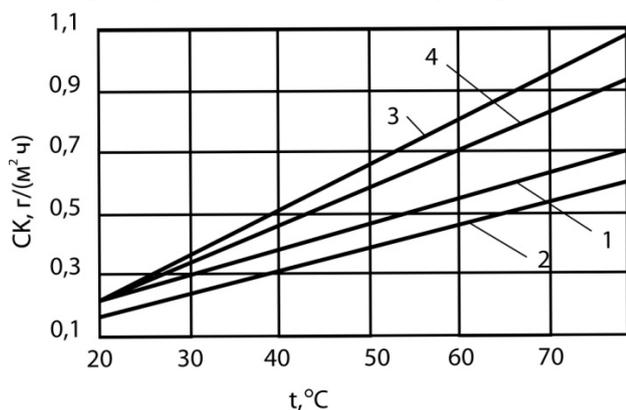


Рисунок 1 - Зависимость коррозии стали от температуры

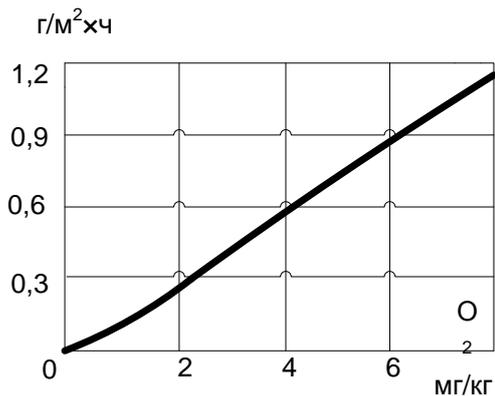


Рисунок 2 - Влияние щелочности воды на скорость коррозии стали

Одним из эффективных методов деаэрации воды является термическая деаэрация. Она основана на том, что с повышением температуры воды (при постоянном давлении) парциальное давление водяного пара над жидкостью увеличивается, в других газов (O₂, CO₂, NH₃) – понижается, вследствие чего уменьшается их растворимость в воде. Термическая деаэрация представляет собой сложный процесс неизотермической десорбции газа, сопровождающейся конденсацией пара на поверхности жидкой фазы.

Под десорбцией понимается процесс, при котором происходит переход растворенного газа или одновременно нескольких газов из жидкости в соприкасающуюся с ней газовую (паровую) среду. До недавнего времени ставилась задача об удалении из питательной воды только растворенного воздуха, содержащего кислород, откуда и произошло название процесса – деаэрация и аппарата – деаэратор.

Статика процесса десорбции основывается на законах равновесия между жидкой и газовой фазами. В общем случае условия совместного существования фаз определяются наличием динамического равновесия между ними, подчиняющегося правилу фаз. Согласно этому правилу при определенных давлении и температуре некоторому составу одной из фаз соответствует определенный «равновесный» состав второй фазы. Если содержание какого-либо компонента в газовой фазе выше равновесного, то он переходит в жидкую фазу, и наоборот. Состояние динамического равновесия между фазами устанавливается при продолжительном времени соприкосновения фаз.

Растворимость кислорода, азота и углекислого газа в воде различна. Меньшая растворимость двухатомных газов (кислорода и азота) объясняется тем, что эти газы при контакте с водой находятся в весьма перегретом состоянии. Большая (по сравнению с O₂ и N₂) растворимость углекислого газа в воде обуславливается его химическим взаимодействием с водой с образованием угольной кислоты H₂CO₃.

В условиях деаэрационных установок растворы газов могут считаться бесконечно разбавленными. В этом случае переход того или иного компонента из жидкой фазы в газовую не зависит от наличия в растворе других компонентов и определяется лишь содержанием в растворе данного компонента. Для растворов газов, критическая температура которых ниже температуры раствора, вследствие чего они могут конденсироваться при этой температуре, применим закон Рауля: равновесное парциальное давление компонента над раствором p пропорционально его молярной доле и жидкости, т.е.

$$p = P_k x \quad (1)$$

где P_k - давление насыщенного пара чистого вещества при данной температуре;
 x - молярная доля компонента.

Если же температура газа при рассматриваемых условиях выше критической, то равновесие определяется законом Генри:

$$p = E x, \quad (2)$$

где E - коэффициент Генри, имеющий размерность давления.

При температурах до 100 °С коэффициент Генри для растворов газов в воде возрастает с повышением температуры, что приводит к понижению растворимости компонента. При температурах выше 100 °С коэффициент Генри понижается, что приводит к повышению растворимости двухатомных газов в воде.

При термической деаэрации воды полное выделение растворенных в ней газов невозможно. Выделение каждого газа происходит лишь до тех пор, пока его равновесное парциальное давление в жидкой фазе превышает парциальное давление этого газа над раствором, т.е. в паровой фазе. Поэтому для глубокой деаэрации воды необходимо использовать пар с возможно меньшим содержанием удаляемых из воды компонентов воздуха.

В деаэраторах вследствие ограниченности поверхности контакта фаз, а соответственно и времени соприкосновения воды с паром равновесное состояние, как правило, не достигается. К равновесному состоянию можно только приблизиться путем увеличения поверхности соприкосновения пара и деаэрируемой воды или интенсификации массообмена.

Новые нормы качества питательной воды, установленные ГОСТ и ПТЭ, предусматривают необходимость глубокого удаления из нее наряду с кислородом также свободной и «связанной» двуокиси кислорода

Неэффективность методов регулирования процессов деаэрации и нестабильность технологических параметров (ТП), недостатки в эксплуатации и встречающиеся при проектировании ошибки, не позволяющие организовать оптимальный режим работы

деаэратора, часто приводят к серьезным нарушениям в работе всей установки и значительно влияют на эффективность деаэрации.

Технические требования к термическим деаэраторам питательной воды котлов определяются ГОСТ 9654-61, действующими нормами технологического проектирования тепловых электрических станций и тепловых сетей. Конструкции деаэрационных установок должны согласно техническим требованиям обеспечивать устойчивую деаэрацию питательной воды при работе деаэратора с нагрузками в пределах от 30 до 120 % номинальной производительности в диапазоне среднего подогрева воды от 10 до 40 °С. При указанных выше условиях остаточная концентрация растворенного кислорода в деаэрированной воде должна быть:

Не более 30 мкг/кг – при начальной концентрации кислорода, равной состоянию насыщения – в деаэраторах ДСА, ДСС и ДСП к котлам с давлением до 40 кГ/см²;

20 мкг/кг – при начальной концентрации кислорода не более 3 мг/кг – в деаэраторах ДСА, ДСС и ДСП к котлам с давлением от 40 до 100 кГ/см²;

10 мкг/кг – при начальной концентрации кислорода не более 1 мг/кг - в деаэраторах ДСП к котлам с давлением более 100 кГ/см²;

Деаэраторы должны обеспечивать устойчивую деаэрацию воды при работе в диапазоне 30-100% номинальной производительности при изменении нагрева воды в них в пределах 10-40 °С.

Для деаэраторов, предназначенных для энергетических блоков, минимальная производительность должна составлять 15% номинальной; при производительности 15-30% номинальной и рабочем давлении 0,12 МПа (1,2 кгс/см²) нагрев воды в деаэраторе должен составлять 70-40 °С. Максимальная производительность деаэраторов энергетических блоков должна быть равна их номинальной производительности.

В настоящее время контроль ТП процесса деаэрации не является достаточно совершенным, точным для обеспечения эффективного процесса дегазации. На качество деаэрации могут влиять различные факторы, такие как возникновение недогрева при котором производительность деаэратора резко падает. Так же энергетическая эффективность процесса деаэрации зависит от технологий и качества управления работой деаэратора, предотвращение нестабильности ТП.

Важными условиями для обеспечения эффективного контроля процесса деаэрации являются правильная организация необходимых температурных режимов, оснащение деаэрационных установок современным оборудованием контроля качества деаэрации, применение современных технологий управления и прогнозирования ТП процесса деаэрации.

Основными контролируемыми параметрами процесса деаэрации являются уровень деаэрируемой воды (10-25 кПа с погрешностью 1%), давление в деаэраторе (0,7 МПа, с погрешностью 0,5%) и температуры (до 172 °С, с погрешностью 0,3%). Для более эффективного контроля процесса деаэрации необходима новая технология контроля и регулирования ТП процесса деаэрации, сущность которой заключается в контроле ТП не только по отклонению значения параметра от номинального, но и по величине заданной остаточной концентрации растворенного кислорода или по величине рН деаэрированной воды. В качестве системы контроля технологическим процессом чаще всего используют унифицированные системы. В связи с этим возникает ряд моментов, которые значительно влияют на качество контроля процесса деаэрации.

При нагреве воды, содержащей растворенные газы, с ростом температуры парциальное давление водяных паров в свободном пространстве над поверхностью воды растет, а парциальное давление воздуха и кислорода снижается практически до нуля. Ниже приведена зависимость парциального давления воздуха (1), паров воды (2) и кислорода (3), а также содержания кислорода в воде (4) от температуры рис. 3.

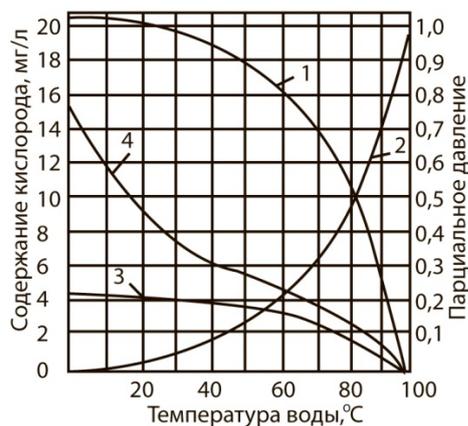


Рисунок 3 - Кривые зависимости парциального давления воздуха (1), паров воды (2) и кислорода (3), а также содержания кислорода в воде (4) от температуры (давление 760 мм. рт. ст.)

На основе экспериментальных данных приведенных в таблице 1, была решена задача аппроксимации результатов эксперимента и получено две аналитические зависимости, которые можно использовать в последующих расчетах.

Таблица 1

t, °C	1	5	9	14	18	30	45	70	90	98
C, мг/кг	14,16	12,73	11,52	10,29	9,46	7,52	6,00	3,90	0,72	0,38

Определим коэффициент корреляции для коррелированных зависимых величин зависимости концентрации кислорода от температуры – для процесса термической деаэрации.

В результате эксперимента были получены исходные данные, которыми являются два вектора входной переменной X – изменение температуры и выходной Y – изменение концентрации:

$$X = \{1, 5, 9, 14, 18, 30, 45, 70, 90, 98\}, \quad Y = \{14.16, 12.73, 11.52, 10.29, 9.46, 7.52, 6.00, 3.90, 0.72, 0.38\}$$

Определили коэффициент корреляции (X, Y):

$$r_{XY} = \frac{\sum[(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]}{m\sigma_x \cdot m\sigma_y} \quad (3)$$

Его абсолютная величина составляет -0,984. Так как коэффициент корреляции отличен от нуля, то величины коррелированы.

Воспользовавшись кубической интерполяцией получили:

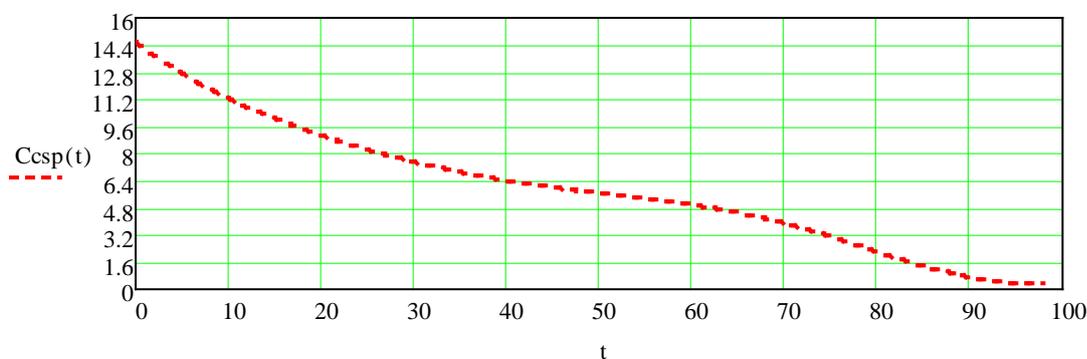


Рисунок 4 - Интерполированная зависимость экспериментальных данных

где $C_{\text{сп}}(t)$ – интерполяционная зависимость концентрации от температуры, t – температура в баке деаэратора.

Благодаря одномерной регрессии исходных данных было выведено две группы коэффициентов двух аналитических зависимостей, которые позволяют записать аппроксимирующую функцию в явном виде.

Математическая модель объекта является лишь его аналогом, определенным в рамках принятых допущений. Возникает задача подтверждения наиболее подходящей модели.

Основываясь на критерий Вильяма и Клута для сравнения двух регрессионных моделей, была выбрана математическая модель имеющая вид:

$$C_{\text{medfit}} := \text{medfit}(\text{temp}, C) \quad C_{\text{line}} := \text{line}(\text{temp}, C)$$

$$C_{\text{medfit}} = \begin{pmatrix} 12.616 \\ -0.134 \end{pmatrix} \quad C_{\text{line}} = \begin{pmatrix} 12.687 \\ -0.132 \end{pmatrix}$$

$$Y(x) := C_{\text{medfit}}_0 + C_{\text{medfit}}_1 \cdot x \quad Y_1(x) := C_{\text{line}}_0 + C_{\text{line}}_1 \cdot x$$

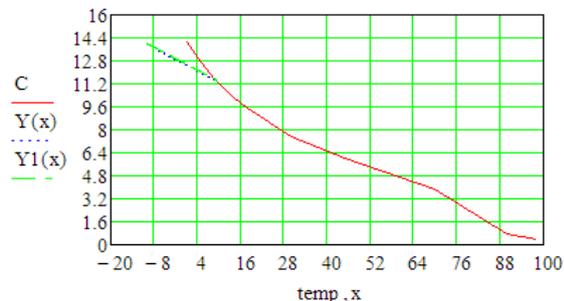


Рисунок 5 - Одномерная регрессия исходных данных

$$y(x) = 12.616 - 0.134 \cdot x \quad (1.4)$$

Существующие технологии деаэрации и управления процессом деаэрации простые, однако, во многих случаях не достигается желаемый результат деаэрации при больших энергетических затратах. Поэтому, учитывая данную математическую модель предложена система контроля технологических параметров процесса деаэрации приведенная ниже:

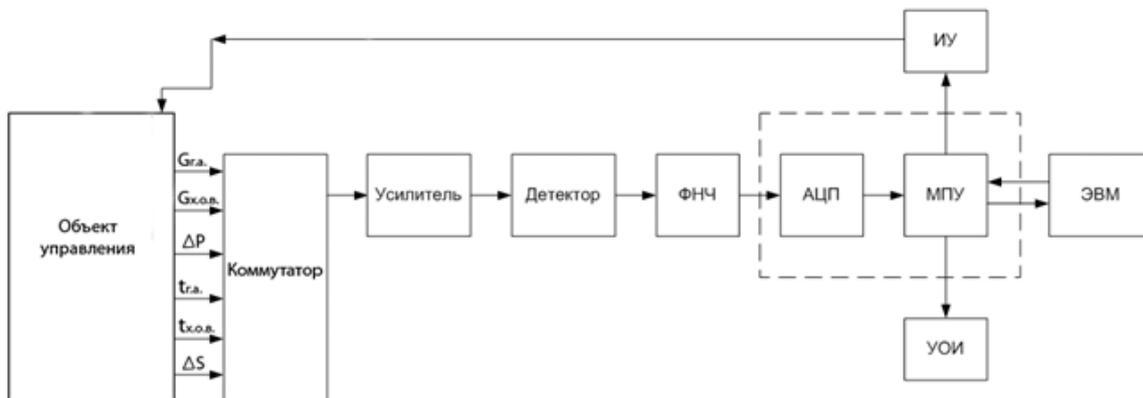


Рисунок 6 - Структурная схема системы контроля технологических параметров процесса деаэрации, где ФНЧ – фильтр низких частот, АЦП – аналогово цифровой преобразователь, МПУ – микропроцессорное устройство, УОИ – устройство отображения информации, ЭВМ – электро вычислительная машина, ИУ – исполнительное устройство.

Использование данной математической модели может значительно упростить контроль за процессом деаэрации, улучшить систему контроля технологических параметров процесса деаэрации.

Перечень ссылок

1. Шарапов В.И. Подготовка подпиточной воды систем теплоснабжения с применением вакуумных деаэраторов. М.: Энергоатомиздат. 1996. 176 с.
2. Шарапов В.И., Цюра Д.В. Термические деаэратеры. Ульяновск: УлГТУ. 2004. 560 с.
3. Справочно-информационные материалы по применению вакуумных деаэраторов для обработки подпиточной воды систем централизованного теплоснабжения. М.: СПО ОРГРЭС. 1997. 20 с.