

Анализ параметров технологического процесса деаэрации как основных элементов Математической модели системы их измерения и оценки

Авторы: Авраменко С.В., аспирант, Демьяненко Е.В., студент, Тарасюк В.П к.т.н., доцент.

Источник: Материалы III Научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых г. Северодонецк

Общая постановка проблемы.

Надежность и экономичность тепловых электрических станций в значительной степени определяется уровнем защиты оборудования и трубопроводов от внутренней коррозии. Основной причиной коррозии является присутствие в воде кислорода и диоксида углерода, особенно при повышенных температурах.

В воде конденсатно-питательного тракта могут присутствовать различные примеси: газообразные (кислород, уголекислота, азот, аммиак), твердые (продукты коррозии конструкционных материалов), естественные (хлориды, кремнекислоты и другие).

Газообразные примеси поступают в основном за счет присосов воздуха в конденсаторе и в первых ПНД (подогреватели низкого давления), работающих при давлениях ниже атмосферного. Продукты коррозии поступают в воду в результате взаимодействия конструкционных материалов с водной средой, образования окислов металлов и перехода их в воду. Продукты коррозии, а также некоторые естественные примеси (например, кальций и магний) выпадают в отложения на теплопередающих поверхностях, что приводит к уменьшению коэффициента теплопередачи и возникновению под отложениями местных, наиболее опасных видов коррозионных повреждений. Это снижает экономичность, надежность и безопасность работы ТЭС. Поэтому в течении всего времени использования воды в качестве теплоносителя ее нужно постоянно подвергать деаэрации.

Изменившиеся в последнее время экономические условия, в частности, резкое удорожание топливно-энергетических ресурсов и нехватка средств для замены изношенного оборудования, сделали весьма актуальной проблему повышения энергетической и экономической эффективности технологических процессов деаэрации [1].

Эффективность деаэрации зависит от таких факторов как поверхность деаэрации и время контакта фаз, так как процесс деаэрации газов из холодной воды значительно замедляется из-за того, что скорости движения молекул воды и газа в воде с понижением температуры уменьшаются.

Постановка задачи исследования.

Для повышения энергетической и экономической эффективности технологий термической деаэрации воды необходимо прогнозировать процессы, протекающие в деаэраторе, с возможностью дальнейшей их оптимизации на основе оперативного контроля. Однако для достижения определенного экономического и энергетического эффекта не достаточно проводить лишь анализ уровня допустимого содержания кислорода и диоксида углерода в деаэрируемой воде, как граничных значений эффективности оборудования.

Это можно осуществить за счет разработки компьютеризированной системы многопараметрического контроля технологического процесса деаэрации и создания условий

для ее внедрения на тепловых электрических станциях.

На сегодняшний день качество воды отслеживается при помощи кислородомеров, для которых регулируемые параметрами служат заданные конечные показатели эффективности деаэрации: остаточные концентрации растворенных кислорода и диоксида углерода [2]. Погрешность измерения составляет $\pm (3 \text{ мкг/дм}^3 + 4\% \text{ от измеряемой величины})$.

Следовательно, необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ параметров технологического процесса деаэрации как основных элементов для создания математической модели повышения энергетической и экономической эффективности работы теплоэлектростанции, основанную на учете массообмена и теплообмена в процессе деаэрации при разделении фаз на газообразную и водную среды, определение удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении.

2. Для разработки компьютеризированной системы многопараметрического контроля технологического процесса деаэрации необходимо построить математическую модель, учитывающую уровень деаэрируемой воды, температуры фаз, парциальное давление; обеспечить некоторую разность между равновесным давлением газа в жидкости и парциальным давлением газа над жидкостью; создать необходимую поверхность контакта жидкости и газа; обеспечить отвод выделившихся из жидкости газов; обеспечить необходимое время для разделения газовой и жидкой фазой.

Анализ существующих исследований и публикаций.

Проведены фундаментальные исследования в области совершенствования способов процесса деаэрации [3,4], определения предельной массообменной и энергетической эффективности термических деаэраторов [5], определение теоретически необходимого расхода выпара термических деаэраторов [6]. Однако в результате эти исследования сводятся в основном к проектированию новых конструктивных параметров деаэрационной установки. Практически не уделяется внимание возможности дистанционного контроля параметров, протекающих при данном технологическом процессе, посредством внедрения компьютеризированной системы измерения и оценки.

Решение задачи.

Деаэрация – гетерофазный массообменный процесс, в котором растворенные газы воды переходят в газовую фазу водяного пара. Этот процесс может проходить в тонких слоях воды, но более эффективное его протекание наблюдается в мелкокапельном состоянии. Часто для перевода воды в требуемое состояние используется барботаж водяного пара через тонкий слой обрабатываемой воды.

Наиболее распространенной на ТЭС является термическая деаэрация, которую осуществляют при помощи деаэраторов повышенного давления [7]. Суть этого типа деаэрации заключается в том, что с ростом температуры и понижением внешнего давления растворимость газа в воде уменьшается. Она позволяет удалять из воды любые растворенные в воде газы и не вносит никаких дополнительных примесей в воду.

Удаляемые газы переходят в водяной пар и выносятся из аппарата. Отработанный пар (его называют выпаром) удаляется из деаэратора. В некоторых моделях, сконструированных с учетом проблем энергосбережения, производится утилизация тепла выпара. Сущность новых технологий заключается в регулировании режимных параметров по величине заданной остаточной концентрации растворенного кислорода или по величине рН деаэрированной воды. В вакуумных деаэраторах регулирующим параметром может быть, например, расход греющего агента, а в атмосферных деаэраторах – расход выпара. Главным достоинством этих технологий управления является надежное обеспечение нормативного качества деаэрации при максимально возможной энергетической эффективности реализуемых

теплообменных процессов.

Термические деаэраторы позволяют удалять из воды любые растворенные в воде газы и не вносят никаких дополнительных примесей в воду.

Рассмотрим принцип работы термического деаэратора:

В соответствии с законом Генри количество растворенного в воде газа, например кислорода – G_{O_2} , пропорционально парциальному давлению этого газа над жидкостью.

$$G_{O_2} = k_{O_2} \times P_{O_2} \quad (1)$$

где:

G_{O_2} - количество растворенного в воде кислорода;

k_{O_2} - коэффициент абсорбции кислорода жидкостью или коэффициент растворимости кислорода, зависящий от температуры;

P_{O_2} - парциальное давление кислорода над жидкостью. Суммарное давление над уровнем воды:

$$P = P_{O_2} + P_{H_2O} + \sum P_r \quad (2)$$

где:

P_{H_2O} - парциальное давление водяных паров;

$\sum P_r$ - сумма парциальных давлений других, кроме кислорода, газов, растворенных в воде.

С учетом (2) уравнение (1) можно записать в виде:

$$G_{O_2} = k_{O_2} \times (P - P_{H_2O} - \sum P_r) \quad (3)$$

Нагревом воды можно уменьшать содержания кислорода поскольку коэффициент растворимости (k_{O_2}) уменьшается с ростом температуры. Несмотря на уменьшение количества кислорода в воде с повышением температуры оставшаяся его часть значительна. Так, при изменении температуры воды от 20 до 50 °С количество растворенного в воде кислорода уменьшается с 9 до 5 мг/кг. Оставшаяся часть кислорода (5 мг/кг) в сотни раз превышает допустимые уровни.

Из уравнения следует, что для сведения к нулю содержания кислорода в воде необходимо выполнение условия:

$$P_{H_2O} = P$$

Это условие выполняется при повышении температуры воды до температуры насыщения, т.е. до кипения. При температуре кипения давление над водой определяется давлением насыщенных паров воды, а количество растворенного в воде кислорода равно нулю. Устройство, где происходит прогрев воды до температуры кипения с целью удаления газов, и называется деаэратором. Подогрев воды в деаэраторе осуществляется за счет отборного пара из турбины.

Для надежного удаления из воды газов необходимо прогреть всю массу воды до температуры насыщения. Недогрев воды на 1—3°С увеличивает остаточное содержание газов в воде.

Для выполнения условия необходимо постоянно удалять выделившиеся из воды газы. Отводимая из деаэратора парогазовая смесь называется выпаром. Чем больше выпар, тем эффективнее будет работать деаэратор.

Разность давлений кислорода в деаэраторе в первую очередь связана с температурой входящей и уходящей деаэрированной воды. Объясняется это тем, что парциальное давление

сухих газов в деаэраторе очень невелико, и полное давление в деаэраторе практически полностью определяется давлением насыщенных водяных паров, соответствующих температуре уходящей из деаэратора воды.

Процесс деаэрации можно реализовать за счет поддержания температуры на входе в деаэрационную систему на $5-7^{\circ}\text{C}$ выше температуры на выходе из нее, с одновременным удалением выпара (за счет чего деаэрируемая вода охлаждается).

Необходимо отметить, что с понижением температуры воды очищать воду от растворенных в ней газов становится труднее.

С одной стороны, все более напряженными становятся условия работы вакуумных аппаратов, так как с понижением температуры воды давление в деаэраторе падает очень резко, и значительно возрастает объемный расход отсасываемой парогазовой смеси.

С другой стороны, процесс деаэрации газов из холодной воды значительно замедляется, так как скорости движения молекул воды и газа в воде с понижением температуры уменьшаются. Это приводит к необходимости увеличения поверхности деаэрации и времени пребывания воды в деаэраторе, то есть к увеличению габаритов деаэратора.

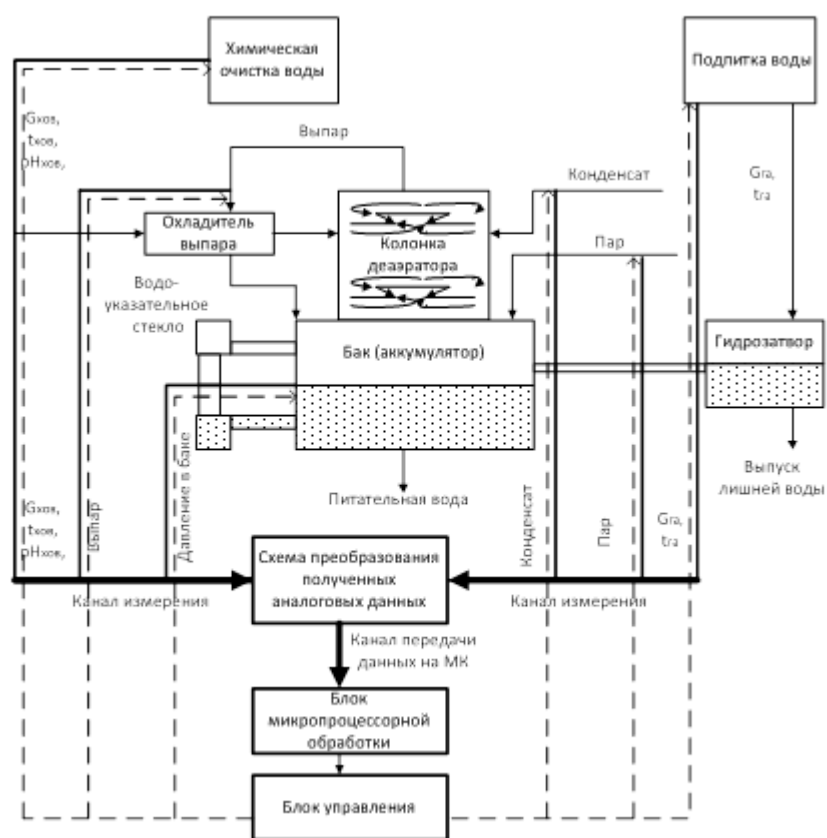


Рисунок 1 - Схема протекания процесса разделения фаз в деаэраторах атмосферного типа.

Проанализируем факторы, влияющие на эффективность деаэрации, и способы обеспечения их оптимальных состояний:

Увеличение поверхности контакта может производиться различными способами:

1. создание тонкослойного потока воды на прямолинейных и криволинейных поверхностях;
2. пропуска воды через регулярную и нерегулярную насадку;
3. барботажа жидкости паром;
4. распылением (диспергация) перегретой жидкости в газовой среде;
5. раскруткой перегретой жидкости с уменьшением радиуса закрутки и падением давления.

Возможно одновременное сочетание этих методов в одном аппарате.

Время контакта может обеспечиваться за счет:

1. увеличения размеров деаэрационных аппаратов;
2. уменьшения скорости потока воды.

Удаление выпара, образующегося в процессе деаэрации воды, происходит за счет разности давлений – в атмосферном режиме, или за счет разности давлений, созданной эжектором (водо- или пароструйного) или вакуумным насосом с электроприводом (только для деаэраторов малой производительности) в вакуумном режиме. Далее выпар направляется в охладитель выпара, откуда через вестовую трубу агрессивные газы удаляются в атмосферу. Существует возможность создания многофакторной модели для учета всех основных факторов, оказывающих влияние на деаэрацию. Многофакторные математические модели вакуумных деаэраторов представляют собой уравнения регрессии - зависимости показателей качества деаэрации от основных управляемых режимных факторов. К показателям качества деаэрации относятся:

- остаточного содержания кислорода Y_1 в мкг/дм³.
- остаточного содержания диоксида углерода Y_2 в мг/дм³.

Основные управляемые режимные факторы:

- расход $G_{x.o.v}$
- температура $t_{x.o.v}$
- щелочность $pH_{x.o.v}$ исходной химически очищенной воды
- расход $G_{2.a}$ и температура $t_{2.a}$ греющего агента – перегретой воды и их взаимодействий.

Однако процесс диффузии газов только через видимую поверхность раздела фаз имеет место лишь в том случае, если суммарная равновесная упругость растворенных в жидкости газов и пара жидкости не превышает общего давления газопаровой смеси над раствором.

В противном случае процесс диффузии идет не только через видимую поверхность раздела, но и через поверхность многочисленных пузырьков газопаровой смеси, образующихся в самой толще жидкости, что может быть сравнено с процессом парообразования при кипении.

Таким образом, из теории следует, что для эффективного разделения газовой и жидкой фазы из смеси необходимо:

- обеспечить некоторую разность между равновесным давлением газа в жидкости и парциальным давлением газа над жидкостью ΔP ;
- создать необходимую поверхность контакта жидкости и газа ΔS ;
- обеспечить отвод выделившихся из жидкости газов ΔV ,
- обеспечить необходимое время для разделения газовой и жидкой фазой τ .

Таким образом, математическая модель системы измерения параметров процесса деаэрации можно привести к следующей зависимости:

$$F_{out} = f([G, t, pH]_{xob}, [G, t]_{gr}, \Delta P, \Delta S, \tau, \Delta V) \quad (4)$$

Очевидно, что построение динамических характеристик деаэраторов методами периодически проводимого ручного химического анализа содержания кислорода практически невозможно. Необходимым условием для получения этих характеристик является непрерывный мониторинг с помощью компьютеризированной системы измерения и оценки параметров процесса деаэрации.

При проектировании и эксплуатации деаэрационных установок в качестве основного регулируемого параметра технологического процесса обычно принимается величина давления (разрежения) в деаэраторе или соответствующей ему температуры деаэрированной

воды. Подразумевается, что принятый за оптимальный фиксированный уровень регулируемого параметра обеспечивает требуемое качество деаэрации воды. Поддержание рабочего давления или температуры деаэрированной воды в заданных пределах осуществляется путем изменения регулирующего параметра - расхода греющего агента, подаваемого в деаэратор. Традиционная технология регулирования термических деаэраторов в значительной степени была обусловлена простотой измерения давления и температуры, принятых в качестве регулируемых параметров.

Однако анализ эксплуатации деаэраторов показывает, что при традиционной технологии управления процессом термической деаэрации, с одной стороны, во многих случаях не гарантируется достижение требуемого качества обработки воды, а с другой, - нередко деаэрация проводится с повышенными энергетическими затратами.

Выводы.

Математическая модель системы измерения и оценки параметров технологического процесса деаэрации в термических деаэраторах тепловых электростанций позволит повысить надежность, качество и экономичность работы теплоэнергетических установок за счет глубокого удаления коррозионно-активных газов при минимальных энергетических затратах.

Предложена математическая модель, которая базируется на оперативном контроле параметров деаэрации. Разработанная система должна выполнять: измерение уровня воды в деаэраторе; измерение давления в деаэраторе; измерение давления питательной воды к котлам; измерение температуры, расхода и щелочности химочищенной воды к деаэратору; измерение температуры и расхода деаэрируемой воды; контроль остаточного содержания кислорода в воде; контроль остаточного содержания диоксида углерода.

Литература:

1. Комарчев И. Г. Безреагентный метод удаления диоксида углерода из воды // Электрические станции. 1988. № 8. С. 43-45.
2. Шарапов В. И. О применении кислородомеров при исследовании и эксплуатации теплоэнергетического оборудования // Энергосбережение и водоподготовка. 2005. № 5.
3. Шарапов В. И., Малинина О. В., Цюра Д.В. О предельной массообменной и энергетической эффективности термических деаэраторов // Энергосбережение и водоподготовка. 2003. № 2. С. 61-64.
4. Шарапов В.И., Малинина О.В. Определение теоретически необходимого расхода пара термических деаэраторов // Теплоэнергетика. 2004. №4. С. 63-66.
5. Шарапов В. И., Малинина О. В., Цюра Д.В. О предельной массообменной и энергетической эффективности термических деаэраторов // Энергосбережение и водоподготовка. 2003. № 2. С. 61-64.
6. Шарапов В.И., Цюра Д.В. Термические деаэраторы. Ульяновск: УлГТУ. 2003. 560 с.
7. ГОСТ 16860-88. Термические деаэраторы. М.: Изд-во стандартов. 1989.
8. Деаэраторы с ТСА // www.fisonic.com.