

Урядникова И.В.

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫМ РИСКОМ ПРИ ВОДОПОДГОТОВКЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Наиболее распространенным теплоносителем в тепло-электрогенерирующем оборудовании является вода. От качественных характеристик воды в значительной степени зависит риск сбоя в работе указанного оборудования, его остановки до регламентированного срока ремонта и выхода из строя этого оборудования.

Любой из указанных рисков приводит к значительным экономическим и экологическим потерям, причем последние, в случае их обратимости, также опосредуется через экономику. Кроме того, может быть безвозвратный экологический вред, в случае невозможности восстановления природной среды и смерти людей в этой среде.

Основной показатель воды, используемой для технологических нужд – жесткость G мг-экв/л. Причем, минимальное значение жесткости максимально снижает риск. Следовательно, при водоподготовке необходимо стремиться к минимальным экономически оправданным значениям жесткости.

На ТЭС и ТЭЦ вода преимущественно используется для получения пара в парогенераторах, испарителях, парообразователях, конденсации отработанного пара, в качестве теплоносителя в тепловых сетях и системах для охлаждения различных аппаратов и агрегатов.

В качестве питательной и подпиточной воды на ТЭЦ используют как природные воды различной минерализации, так и водопроводную воду. Особые требования предъявляются к качеству воды, поступающей на питание паровых, водогрейных котлов, для восполнения потерь циркулирующей воды в теплосетях [1-3].

При эксплуатации ТЭС и ТЭЦ образуются большие объемы сточных вод, загрязненных различными примесями. Некоторые стоки определяются установленной мощностью ТЭС, например, охлаждающая вода конденсаторов, а другие зависят от количества и зольности сжигаемого в парогенераторах твердого топлива – при гидрозоудалении. Количество и качество сточных вод ВПУ зависят от производительности, химического состава исходной воды, а также от применяемых методов ее обработки. Для крупных ТЭЦ, отдающих пар на производство, количество стоков от водоподготовки может достигать несколько сотен тонн в час.

В случаях прямоточной системы охлаждения сбрасываемая вода не содержит каких-либо веществ, отличающихся от исходного состава, но она имеет более высокую температуру, что оказывает заметное влияние на биоценоз водоисточника. В системах с оборотным охлаждением происходит рост концентрации растворенных веществ, вследствие чего состав циркулирующей воды регулируют продувкой системы. Количество продувочной воды составляет примерно 2 % от количества воды, проходящей через конденсаторы.

Присос охлаждающей воды в конденсаторах турбин обусловлен более высоким давлением сводной стороны конденсатора по сравнению с паровой, находящейся под глубоким вакуумом. Присосы воды наблюдаются практически во всех конденсационных установках, исключая воздушно-конденсационные, и составляют обычно 0,0005-0,003 % от количества конденсирующегося пара, повышаясь до 0,01-0,02 % при наличии коррозионных свищей или микротрещин в конденсаторных трубах и примерно до 0,2 % при разрыве одной трубы [3].

В качестве конструкционных материалов оборудования ТЭС, работающих на

органическом топливе, широко применяются стали перлитного и аустенитного классов, сплавы на основе меди, в том числе латуни, а также алюминиевые сплавы. Повышение температуры и давления в контурах ТЭС и ТЭЦ значительно изменяют способность воды растворять содержащиеся в ней примеси. В сбрасываемой воде концентрация растворенных веществ в 2 раза выше, чем в исходной. Способность пара растворять примеси и осложнение в связи с этим работы пароперегревателей котлов и паровых турбин за счет отложений и интенсификации коррозионно-эрозионных процессов вызывают необходимость поддерживать чистоту питательной воды энергетических блоков за счет, как приготовления подпиточной воды высокого качества, так и очистки питательной воды от растворенных в ней взвешенных примесей.

Основное количество сбросных, далее именуемое сточных, вод на ТЭЦ образуется при работе ВПУ при подготовке питательной и подпиточной воды для котлоагрегатов.

При подготовке подпиточной воды для котлов низкого и среднего давления образуются значительные количества минерализованных стоков от осветлителей, регенераций и промывок катионитных фильтров, содержащих в исходной воде кроме солей, продукты регенерации фильтров - CaCl_2 , MgCl_2 , Na_2SO_4 , CaSO_4 , MgSO_4 , а также избыток NaCl и сульфатов, которые используются при более глубокой регенерации фильтрующего материала.

Солевые стоки ВПУ содержат нейтральные соли не являющиеся токсичными. Однако эти сбросы приводят к существенному повышению солесодержания водоемов и изменению pH, что недопустимо и требуется организация дополнительной их очистки.

Замена природных, пресных вод очищенными сточными водами позволит решить проблему ликвидации дефицита водных ресурсов и предотвратить истощение запаса пресных вод, за счет создания замкнутых систем водоснабжения.

Одним из наиболее эффективных методов в водоподготовке, является метод электрокоагуляционной очистки, при котором сравнительно легко управлять значением жесткости за счет изменения технологических режимов.

Анализируя схему работы электрокоагулятора [4], можно прийти к выводу, что основными режимами, влияющими на величину жесткости воды являются плотность тока q A/m^2 , время электрообработки воды в аппарате t мин и скорость течения воды в электрокоагуляторе v м/мин.

С точки зрения минимального значения жесткости, величины этих режимов легко определяются. Однако, эти же режимы влияют на такие показатели как расход металла электродов W мг/л, удельный расход электроэнергии Q Втг/л и выход металла электрода по току P мг/кг. Эти величины связаны с экономическими показателями работы и с качеством очистки. Поэтому они будут ограничивать диапазон режимов, при которых можно иметь минимальное значение G .

Экспериментальные исследования работы электрокоагулятора позволили установить зависимости основных показателей его работы от плотности тока q A/m^2 , времени обработки воды в аппарате t мин и скорости течения воды в электрокоагуляторе v м/мин. Эти зависимости показаны на рисунках 1, 2, 3 и 4, и имеют вид:

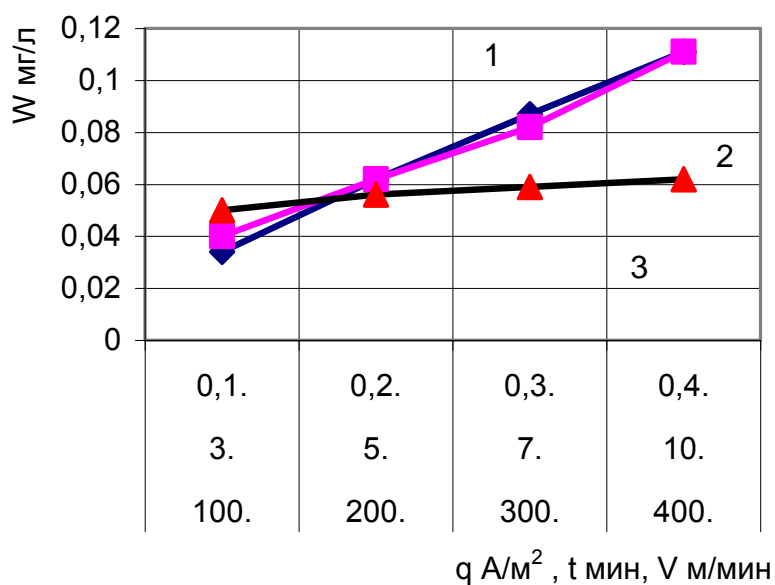


Рисунок 1 – Зависимость расхода металла электродов W мг/л от:
 1 – плотности тока q А/м², 2 – времени обработки воды в аппарате t мин, 3 – скорости течения воды в электрокоагуляторе v м/мин

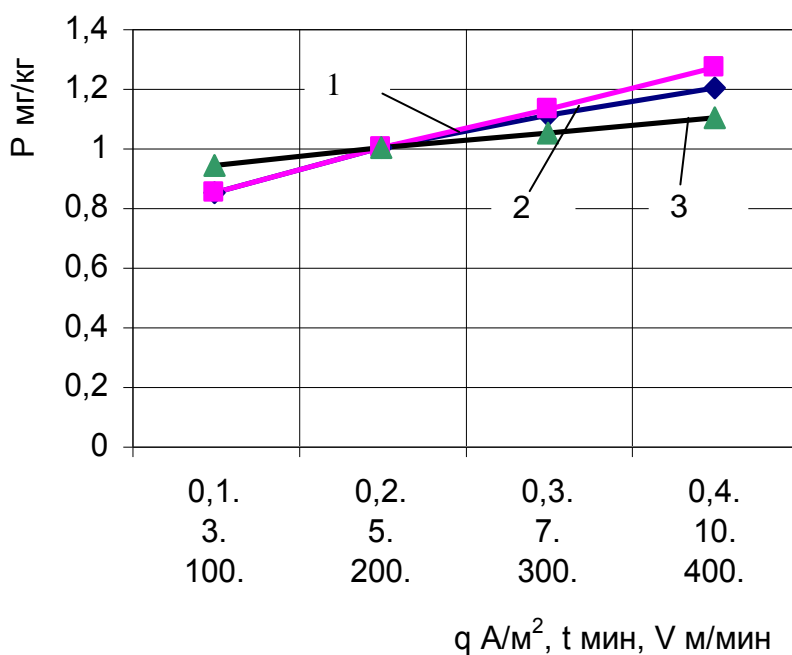


Рисунок 2 – Зависимость выхода металла электродов по току P мг/кг от:
 1 – плотности тока q А/м², 2 – времени обработки воды в аппарате t мин,
 3 – скорости течения воды в электрокоагуляторе v м/мин

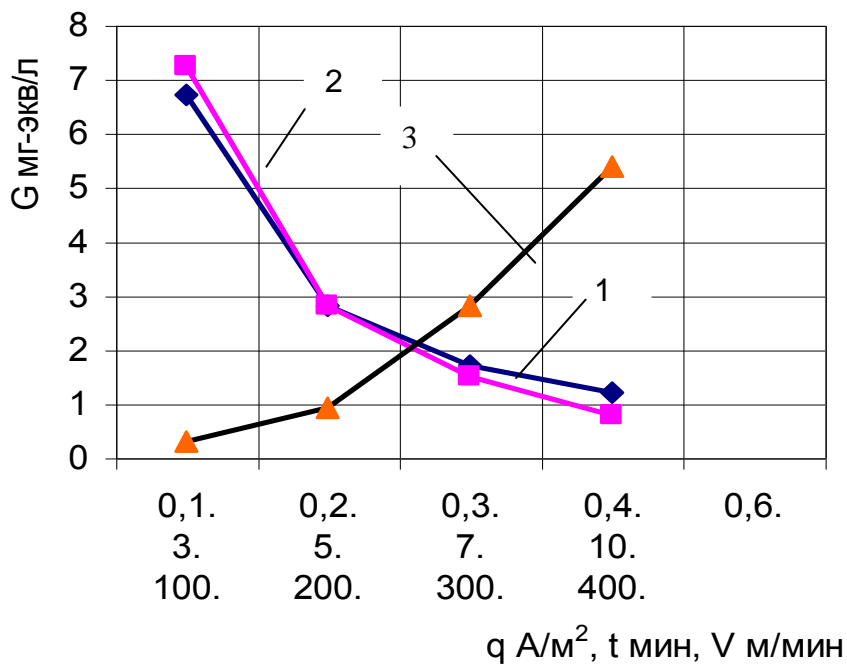


Рисунок 3 – Зависимость жесткости воды G мг-экв/л от:
 1 – плотности тока q A/m², 2 – времени обработки воды в аппарате t мин,
 3 – скорости течения воды в электрокоагуляторе v м/мин

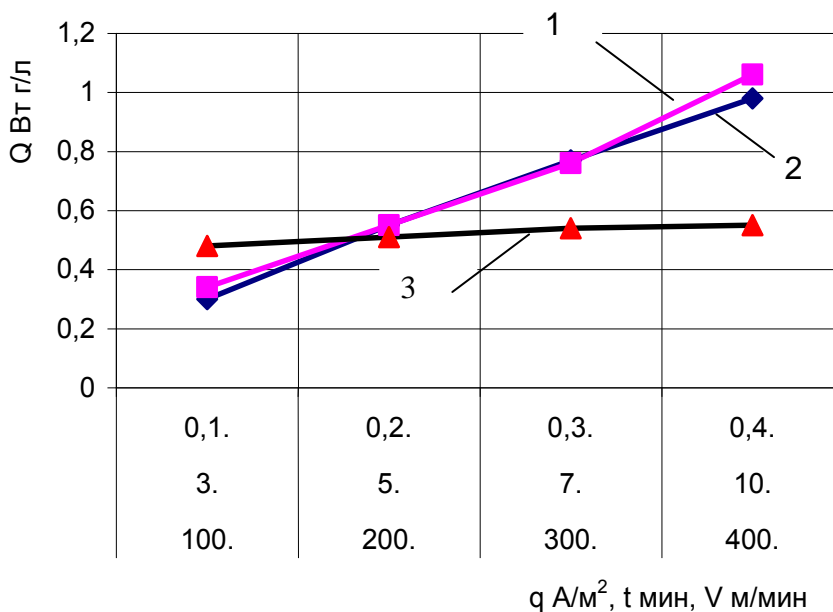


Рисунок 4 – Зависимость расхода электроэнергии Q Вт/л от:
 1 – плотности тока q A/m², 2 – времени обработки воды в аппарате t мин,
 3 – скорости течения воды в электрокоагуляторе v м/мин

Математическая обработка полученных зависимостей с использованием метода наименьших квадратов дало возможность получить математические зависимости указанных величин от q , v и t . Эти зависимости имеют вид:

$$G = 4,12 q^{1,23} t^{-1,95} v^{-1,6} \quad (1)$$

$$W = 0,2 q^{0,85} t^{0,80} v^{-0,15} \quad (2)$$

$$Q = 1,53 \cdot 10^{-3} q^{0,84} t^{0,95} v^{-0,1} \quad (3)$$

$$P = 0,165 q^{0,25} t^{0,33} v^{-0,05} \quad (4)$$

Таким образом, нам необходимо чтобы $G \rightarrow \min$ в условиях, когда $W \leq L_1$, $Q \leq L_2$ и $P \leq L_3$, причем L_1 , L_2 и L_3 выбирается из экономических соображений.

Иными словами, нам необходимо минимизировать целевую функцию G в рамках ограничений $W \leq L_1$, $Q \leq L_2$ и $P \leq L_3$.

Для решения задачи в обобщенном виде введем обозначения: $A = 0,2$; $B = 1,53 \cdot 10^{-3}$; $C = 0,165$; $D = 4,12$; $x_1 = 0,85$; $x_2 = 0,8$; $x_3 = 0,15$; $y_1 = 0,84$; $y_2 = 0,95$; $y_3 = 0,1$; $z_1 = 0,25$; $z_2 = 0,33$; $z_3 = 0,05$; $k_1 = 1,23$; $k_2 = -1,95$; $k_3 = -1,6$.

В этом случае получим:

$$G = D q^{k_1} t^{k_2} v^{-k_3} \rightarrow \min \quad (5)$$

$$W = A q^{x_1} t^{x_2} v^{x_3} \leq L_1 \quad (6)$$

$$Q = B q^{y_1} t^{y_2} v^{-y_3} \leq L_2 \quad (7)$$

$$P = C q^{z_1} t^{z_2} v^{-z_3} \leq L_3 \quad (8)$$

В данном случае, уравнение (5) является нелинейной минимизируемой целевой функцией. А уравнение (6), (7) и (8) ограничениями, которые ограничивают область возможных значений технологических режимов.

Оптимальными значениями величин q , v и t будут значения, полученные в результате совместного решения уравнений (6), (7) и (8). Эти значения, подставленные в уравнение (5) дадут минимальное значение жесткости в рамках ограничений, определяемых, в первую очередь, приемлемой экономичностью процесса.

Для решения системы нелинейных неравенств (6), (7), (8) проведем их линеаризацию, и будем решать в логарифмической форме, представив их как строгие равенства.

Имеем:

$$\ln G = \ln D + k_1 \ln q + k_2 \ln t + k_3 \ln v \quad (9)$$

$$\ln W = \ln A + x_1 \ln q + x_2 \ln t + x_3 \ln v = \ln L_1 \quad (10)$$

$$\ln Q = \ln B + y_1 \ln q + y_2 \ln t + y_3 \ln v = \ln L_2 \quad (11)$$

$$\ln P = \ln C + z_1 \ln q + z_2 \ln t + z_3 \ln v = \ln L_3 \quad (12)$$

Преобразуем уравнение (10), (11) и (12) следующим образом:

$$x_1 \ln q + x_2 \ln t + x_3 \ln v = \ln L_1 - \ln A = M_1 \quad (13)$$

$$y_1 \ln q + y_2 \ln t + y_3 \ln v = \ln L_2 - \ln B = M_2 \quad (14)$$

$$z_1 \ln q + z_2 \ln t + z_3 \ln v = \ln L_3 - \ln C = M_3 \quad (15)$$

Введем новые значения: $q^* = \ln q$; $t^* = \ln t$; $v^* = \ln v$ и тогда система уравнений (13) – (15) переписывается в виде:

$$x_1 q^* + x_2 t^* + x_3 v^* = M_1 \quad (16)$$

$$y_1 q^* + y_2 t^* + y_3 v^* = M_2 \quad (17)$$

$$z_1 q^* + z_2 t^* + z_3 v^* = M_3 \quad (18)$$

Целевая функция будет:

$$G^* = D^* + k_1 q^* + k_2 t^* + k_3 v^* \quad (19)$$

Оптимальными значениями q^* , t^* и v^* будут решения, удовлетворяющие уравнениям (16), (17) и (18).

$$q^{**} = \frac{\begin{vmatrix} M_1 & x_2 & x_3 \\ M_2 & y_2 & y_3 \\ M_3 & z_2 & z_3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \\ z_1 & z_2 & z_3 \end{vmatrix}} \quad (20)$$

$$t^{**} = \frac{\begin{vmatrix} x_1 & M_1 & x_3 \\ y_1 & M_2 & y_3 \\ z_1 & M_3 & z_3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \\ z_1 & z_2 & z_3 \end{vmatrix}} \quad (21)$$

$$v^{**} = \frac{\begin{vmatrix} x_1 & x_2 & M_1 \\ y_1 & y_2 & M_2 \\ z_1 & z_2 & M_3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \\ z_1 & z_2 & z_3 \end{vmatrix}} \quad (22)$$

Подставляя q^{**} , t^{**} и v^{**} в уравнение (19), после потенцирования получаем значения q , t и v , которые будут оптимальными значениями для минимального значения жесткости G в рамках выбранных из экономических соображений ограничений L_1 , L_2 , L_3 .

Это значение жесткости G будет минимальным и экономически целесообразным для данных конкретных условий работы и определит минимальный риск работы теплогенерирующих установок.

Непрерывно контролируя величину G , можно, в случае изменения жесткости, изменять значения L_1, L_2, L_3 в сторону увеличения и получать минимально возможное значение жесткости при более высоких экономических затратах, что будет оправдано, если на вход электрокоагулятора поступает сильно загрязненная вода.

Выше приведенные решения уравнений можно реализовать на компьютере на вход которого непрерывно подается величина жесткости воды, в результате чего на выходе непрерывно формируются оптимальные значения режимов водообработки, которые обеспечивают значения жесткости, дающие минимальный риск при эксплуатации.

Обобщенный алгоритм оптимального управления жесткостью при водоподготовке в целях минимизации риска эксплуатации для любой системы водоочистки может быть найден, используя следующую методологию:

1. Составление структурной схемы системы водоочистки.
2. Анализ технологических режимов, влияющих на величину жесткости.
3. Технико-экономический анализ величин, ограничивающих значения режимов, дающих минимальную жесткость.
4. Получение математических выражений, отражающих зависимость величины жесткости и величины ограничений от конкретных технологических режимов (метод статистически планируемого эксперимента или метод наименьших квадратов).
5. Составление системы уравнений подобной (9) – (12) и составление алгоритма решений подобно уравнениям (16) – (22).
6. Задание массивов L_1, L_2, L_3 для случаев изменения оптимальных параметров жесткости.
7. Ввод данных в компьютер на входной порт которого подается текущее значение жесткости на выходе установки водоочистки из выходного порта которого снимаются конкретные значения технологических режимов, поддерживаемых органами управления установки водоочистки.

Литература

1. Белоконова А.Ф. Водно-химические режимы тепловых электростанций. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 201 с.
2. Кострикин Ю.М., Мещерский Н.А., Коровина О.В. Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 254 с.
3. Мещерский Н.А., Быч Е.С., Фролов Ю.В. Эксплуатация водоподготовок в металлургии / 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1988. – 400 с.
4. Урядникова И.В., Лебедев В.Г. Некоторые проблемы определения рисков в системах водоочистки сточных вод ТЭС, ТЭЦ и АЭС // Холодильна техніка і технологія. – Одеса, 2003. – № 3(83). – С. 37-40.

УДК 628.33

Уряднікова І.В.

ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОГЕННИМ РИЗИКОМ ПРИ ВОДОПІДГОТОВЦІ В ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЦІ

Досліджено роботу електрокоагуляційної установки з погляду оптимального управління процесом водоочищення. Отримано математичні залежності у вигляді системи рівнянь, рішення якої дає оптимальні режими водообробки, що забезпечують мінімальну жорсткість при обраному рівні економічних витрат.