

УДК 62

**МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ РОСТОМ ЧИСЛЕННОСТИ
МОЛЛЮСКА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ОХЛАЖДЕНИЕМ АКТИВНЫХ ОБМОТОК
СТАТОРА АГРЕГАТА ВОЛЖСКОЙ ГЭС**

Лазарева Н.Г., Паршев С.С., Костин В.Е., Силаев А.А., Соколова Н.А.

Волжский политехнический институт (филиал) ВолгГТУ, Волжский, e-mail: kandy.08@mail.ru

В статье предложена математическая модель для автоматической системы управления охлаждением активных обмоток статора агрегата Волжской ГЭС. Предложен способ определения зависимости численности моллюска дрейссена от температуры. Выполнено моделирование процесса обрастания водоводов на ЭВМ.

Ключевые слова: объект управления, автоматизированное рабочее место, мониторинг, модель в пространстве состояний

**MODEL OF MANAGERIAL PROCESS BY GROWTH OF NUMBER OF THE MOLLUSC
FOR THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF COOLING OF ACTIVE WINDINGS
STATORA OF THE UNIT OF THE VOLGA HYDROELECTRIC POWER STATION**

Lazareva N.G., Parshev S.S., Kostin V.E., Silaev A.A., Sokolova N.A.

Volzhsky Polytechnical Institute (branch) of VolgGTU, Volzhsky, e-mail: kandy.08@mail.ru

Mathematical model of the generator stator coil's automatic control cooling system for the Volzhsky hydroelectric station's devices is described. The way of the zebra mussel population's dependence on the temperature is offered. The process of waterway's fouling is simulated by the electronic computer.

Keywords: Object of the management, the automated workplace, monitoring, a model in the problem space

Надежность получения электроэнергии от агрегатов на Волжской ГЭС во многом зависит от работы системы охлаждения активных обмоток статора. Серьёзной проблемой, значительно снижающей эффективность работы системы охлаждения, на Волжской ГЭС является обрастание поверхностей технических водоводов и оборудования моллюском дрейссена.

Для предотвращения попадания в систему водоснабжения воздухоохладителей крупных твёрдых частиц, технологической схемой предусмотрено наличие четырёх фильтров на агрегат. Ячейки перфорированного стакана фильтра эффективно препятствуют попаданию в систему водоснабжения твёрдых частиц, размеры которых больше диаметра ячейки. Считается, что более мелкие частицы не должны создавать помех движению воды и беспрепятственно удаляются из системы вместе с отработанной водой. Проблема заключается в том, что значительную часть твёрдых частиц, попадающих в водоводы ГЭС, представляют собой живые объекты. В тёплый период года особенно велика вероятность попадания в системы технического водоснабжения различных гидробионтов. Большинство гидробионтов, попавших в систему водоснабжения, – погибает, часть гидробионтов, размеры которых меньше размеров ячеек перфорированного элемента фильтра, проходят систему «насквозь», но определённая часть гидробионтов может существовать

и даже активно размножаться внутри системы. Таким гидробионтом является двусторчатый моллюск дрейссена.

Попадания моллюсков в систему технического водоснабжения избежать практически невозможно ввиду того, что вода на охлаждение забирается непосредственно из водохранилища. Активность моллюска резко повышается в тёплый период года, особенно в весенние и летние месяцы, когда происходит нерест. Крупные моллюски, попавшие в систему, задерживаются в фильтре, но при нерегулярной очистке моллюск может закрепляться на внутренних поверхностях стакана фильтра и размножаться, создавая новые колонии, так как, являясь «фильтратором», не испытывает проблем с пищей, а вода, поступающая из водохранилища, насыщена кислородом и имеет оптимальную температуру.

Мелкие моллюски и тем более их личинки могут беспрепятственно проникать через фильтр в водоводы станции. В дальнейшем моллюски и их личинки могут оседать и закрепляться на поверхностях труб и теплообменных аппаратов. Наилучшими местами для закрепления являются застойные зоны, зоны течения с небольшими скоростями. Наименьшие скорости течения в системе создаются в фильтре и крышках воздухоохладителей. Колонизация моллюском крышек воздухоохладителей и трубных решёток приводит к уменьшению пропускной способности агрегата,

а следовательно, к повышению температуры обмоток статора. Процесс обрастания моллюском различных субстратов протекает в течение некоторого промежутка времени, прочность закрепления зависит от природы субстрата и количества нитей биссуса, которыми моллюск крепится к субстрату. В ходе наблюдений, проведенных в Волжском политехническом институте, установлено, что для закрепления моллюска на новом субстрате с помощью биссуса требуется около 7...10 сут, до этого моллюск удерживается на субстрате за счет мускула ноги. Нарастание биомассы моллюска может быть значительным, как установлено авторами в ходе исследования обрастания затворов верхнего бьефа ГЭС, оно может достигать 1,5...2 кг/м² за два месяца.

Надёжность работы системы технического водоснабжения может быть повышена за счет внедрения автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУТП) очистки фильтров и прогрева воздухоохладителей. АСУТП на базе микропроцессорной техники позволяет с автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора-технолога контролировать состояние фильтров и теплообменных аппаратов всех гидроагрегатов.

Если не допускать закрепления моллюсков, то можно значительно уменьшить затраты на внеплановые остановы и ремонт оборудования, связанные с обрастанием моллюском. В фильтрах для очистки перфорированных элементов можно использовать механическую систему, включающуюся периодически по заданному алгоритму.

Для очистки крышек и трубных решёток воздухоохладителей можно применить периодический прогрев аппарата, который достигается временным исключением прогреваемого аппарата из проточной системы. При повышении температуры воды свыше 35...40 °С наблюдается быстрая, обычно в течение одного часа, гибель моллюска. При определённой периодичности прогрева может быть достигнута ситуация, при которой моллюски не будут успевать закрепляться с помощью биссуса, а не закрепившиеся моллюски, после включения в систему аппа-

рата, будут удалены потоком воды, так как закрепление с помощью мускула ноги при прогреве будет прекращено из-за гибели моллюска.

Для разработки АСУТП с заданными эксплуатационными свойствами необходимо составить математическую модель управления процессом обрастания и засорения элементов оборудования в переменных пространства состояний. Преимущество построения модели в таком виде обуславливается простотой реализации модели в цифровых системах управления [1].

В общем случае математическая модель системы в переменных пространствах состояний имеет вид (1; 2)

$$\frac{dx}{dt} = Ax(t) + Bu(t) + \Gamma r(t), \quad (1)$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t), \quad (2)$$

где $x(t)$ – n -мерный вектор параметров состояний; $u(t)$ – m -мерный вектор управляющих воздействий; $r(t)$ – k -мерный вектор возмущающих воздействий; $y(t)$ – l -мерный вектор выходов; A – матрица состояний системы размерности $n \times n$; B – матрица управлений размерности $n \times m$; Γ – матрица возмущений размерности $n \times k$; C – матрица выходов размерности $l \times n$; D – матрица компенсаций (обходов) размерности $l \times m$.

Модель строится с учетом ограничений на процесс охлаждения гидроагрегата, используя метод В-сплайнов для нахождения зависимостей роста численности моллюска от температуры.

В результате анализа сложной биологической системы на Волжской ГЭС было выявлено, что численность моллюска зависит в первую очередь от температуры воды, но найти её математическое описание практически невозможно [3].

Поэтому был выбран метод В-сплайнов для нахождения зависимостей роста численности моллюска по экспериментальным данным с помощью метода наименьших квадратов [2]. Для обрастания моллюском водоводов систем охлаждения обмоток гидроагрегата модель в пространстве состояний будет иметь вид (3):

$$\begin{cases} \dot{X}_k = X_{k-1} + \Delta t \cdot (A \cdot X_{k-1} + B \cdot U_{k-1} + C \cdot T_{k-1}); \\ N_k = H \cdot \dot{X}_k, \end{cases} \quad (3)$$

где X – выходная величина; y – выходной сигнал модели; H – матрица наблюдения; A, B – коэффициенты системы; U_{k-1} – фактор, зависящий от кислотности воды; T_{k-1} – фактор, зависящий от температуры.

Функциональную зависимость результирующей переменной от влияющего фактора можно описать В-сплайнами 1-го порядка (4):

$$N_k = \sum_{j=0}^m (F_{k,j} \cdot \beta_j), \quad (4)$$

где N_k – численность моллюска в момент времени t_k ; m – количество интервалов; F_{kj} – известные финитные функции переменной (В-сплайны 1-го порядка); β_0, \dots, β_m – неизвестные параметры, подлежащие определению на этапе параметрической идентификации математической модели анализируемого процесса, объединенные в вектор параметров.

При описании модели анализируемого процесса В-сплайнами 1-го порядка используем финитную функцию 1-го порядка:

$$F_{ki} = \begin{cases} 0, & \text{если } T \leq (j-1) \cdot t; \\ \frac{T - (j-1) \cdot t}{t}, & \text{если } (j-1) \cdot t \leq T \leq j \cdot t; \\ \frac{(j+1) \cdot t - T}{t}, & \text{если } j \cdot t \leq T \leq (j+1) \cdot t; \\ 0, & \text{если } T \geq (j+1) \cdot t, \end{cases} \quad (5)$$

где T – наблюдаемое (измеряемое) значение входной переменной в момент времени; k – температура; t – интервал непрерывности В-сплайна 1-го порядка – время.

Для нахождения оптимального набора параметров удобно использовать приемы матричной алгебры. С этой позиции реали-

зация метода наименьших квадратов выглядит следующим образом:

$$\beta = (F^T \cdot F)^{-1} \cdot F^T \cdot F. \quad (6)$$

В конечном виде математическая модель будет иметь вид:

$$\begin{cases} \dot{X}_k = X_{k-1} + \Delta t \cdot \left(\sum_{j=0}^m F_{k,j} \cdot \beta_j \right); \\ N_k = H \cdot \dot{X}_k. \end{cases} \quad (7)$$

Полученную модель процесса обрастания моллюском водоводов системы охлаждения можно использовать для нахождения оптимального времени температурного воздействия на моллюска с учётом эксплуатационных ограничений гидроагрегата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольцов А.С. Методы оптимизации и адаптивного управления в машиностроении: учеб. пособие. – Волгоград: Изд-во ВолгГТУ, 2009. – 168 с.
2. Гольцов А.С., Капля В.И., Лясин Д.Н. Моделирование сложных систем: монография. – Волгоград: ВолгГТУ, 2007. – 177 с.
3. Каблов В.Ф., Соколова Н.А., Костин В.Е. Комплексное решение проблемы биообрастания оборудования и сооружений ГЭС // Перифитон и обрастание: теория и практика: материалы международной научно-практической конференции. – СПб., 22-25 октября 2008; СПб., 2008. – 214 с.