

Применение нечеткой логики при управлении насосными агрегатами

АРХАНГЕЛЬСКАЯ Е.Л., ассист.

Рассматривается вопрос об управлении насосным отделением перекачивающей станции.

Ключевые слова: водопроводная станция, насосное отделение, программно-технический комплекс, теория нечетких систем управления.

FUZZY LOGIC USING WHILE MANAGING THE PUMP UNITS

E.L. ARKHANGELSKAYA, Assistant

The article brings up the question of the pump units management at the transmission station.

Key words: water supply plant, pump unit, software and hardware, theory of fuzzy system management.

Большую часть электроэнергии, необходимой для функционирования водопроводной станции и, в частности, насосных отделений, потребляют насосные агрегаты. В связи с этим можно утверждать, что, организовав работу насосов в экономичном режиме и при условии обеспечения достаточного расхода воды, эффективность работы насосного отделения и всей водопроводной станции будет значительно увеличена. Вышесказанное позволяет говорить о постановке задачи оптимизации расхода воды.

Основной задачей управления насосами является стабилизация давления в какой-либо точке распределенной сети (как правило, на выходе из насосного отделения) для обеспечения необходимого для потребителей расхода воды.

Поддача насосов в каждый момент времени равна водопотреблению из сети. Поскольку водопотребление постоянно изменяется, то и развиваемый насосами напор должен колебаться в широких пределах и может превышать требуемый в данный момент времени, что приводит к перерасходу электроэнергии и утечкам воды.

Измерять в процессе регулирования необходимый напор весьма затруднительно. Требуемый напор рассчитывается при проектировании водопроводной станции с учетом предположительного графика суточного водопотребления и в дальнейшем, за редкими исключениями, практически не корректируется. Между тем во время работы насосного отделения изменяется не только водопотребление, но и характеристики водопроводной сети. Персоналу водопроводной станции известно, что, например, во время наибольшего расхода воды напор увеличивается, что объясняется возросшим сопротивлением водопроводной сети, и наоборот, при небольших расходах напор уменьшается. В то же время для большинства объектов является допустимым поддержание заданного давления с точностью до 5–7 %.

При работе насосного отделения кроме потерь энергии, учитываемых с помощью КПД насоса и привода двигателя, и потерь при энергетически неэффективных способах регулирования можно выделить потери, связанные с поддержанием избыточного для удовлетворения нужд потребителей давления.

Учитывая все это, необходимо, чтобы система управления, принимая информацию о текущих расходе, развиваемом насосами напоре и его допустимых границах, потреблении ими электроэнергии, выбирала бы давление, необходимое для поддержания, с учетом обеспечения минимума потерь.

Такая система должна выдавать:

- команды на включение нерегулируемых насосных агрегатов;
- задание частоты (т.е. производительности) регулируемого агрегата для обеспечения заданного давления.

Минимизация потерь при этом достигается при учете особенностей параллельной работы насосов, главной из которых является необходимость нахождения всех рабочих агрегатов в общем диапазоне работы.

На кафедре «Автоматизация технологических процессов и производств» ИГЭУ разрабатывается программно-технический комплекс (ПТК), предназначенный для наладки программного обеспечения SCADA-систем насосных перекачивающих станций (НПС) [1].

В данном ПТК контролируются следующие технологические параметры: давление в обратной магистрали на напоре и всасе сетевых насосов; давление в подающей магистрали до клапана расщетки; давление в подающей магистрали после клапана расщетки; давление в обратной магистрали на всасе НПС; давление в обратной магистрали на напоре НПС; температура сетевой воды в подающей и обратной магистрали; расход сетевой воды в подающей и обратной магистрали; ток сетевых насосов; обороты электродвигателей с частотным приводом; режим работы сетевых насосов.

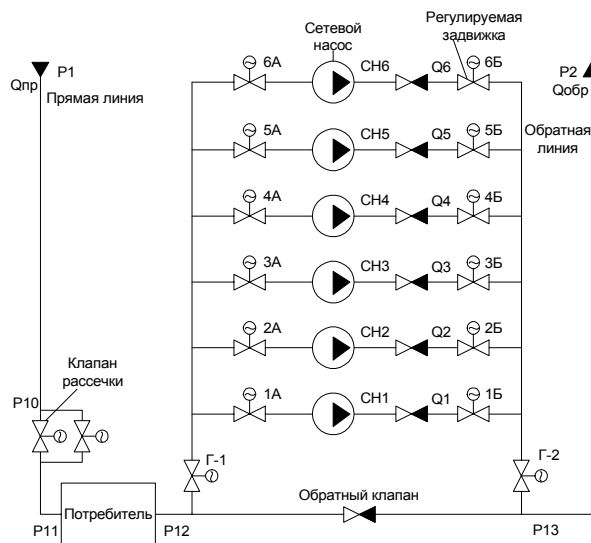
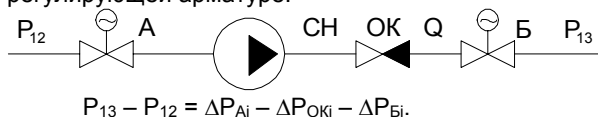


Рис. 1. Схема гидравлической модели НПС

Схема НПС (рис. 1) является гидравлически разомкнутой (из контура «удалена» ТЭЦ). Подразумевается, что давления воды на «выходе» и «входе» ТЭЦ стабилизируются средствами самой ТЭЦ.

Особенностью модели гидравлической системы является существенная нелинейность, связанная с изменением структуры системы при открытии (закрытии) запорной арматуры. При этом возникает сложная комбинаторная задача учета всех возникающих гидравлических схем.

Однако основной проблемой при моделировании является соблюдение материального баланса между суммой расходов во всех линиях насосной группы и в остальной системе. Перепад давления на каждой линии складывается из напора, создаваемого насосом, и потерь давления на запорно-регулирующей арматуре:



Необходимо найти такие расходы для каждой линии, чтобы во всех линиях совпадали давления на входе P_{12} , а также давления на выходе P_{13} . Кроме того, сумма всех расходов должна соответствовать расходу в подающем и обратном трубопроводах: $Q_{пр} = Q_{обр} = Q_{\Sigma} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$ – и эти расходы должны давать на входе и выходе насосной группы давления P_{12} и P_{13} .

Для решения этой проблемы необходимо решить систему уравнений, что напрямую приводит к уравнению высокой степени, не решаемому аналитически. Для численного решения системы уравнений был использован следующий подход. По имеющимся расходам рассчитывается перепад давлений на насосной группе. Для этого перепада давлений решается обратная задача определения расхода в каждой линии. Расходы во всех линиях суммируются и сравниваются с общим расходом в системе.

Недостатком использования метода является то, что в первое время после изменения проходных сечений запорно-регулирующей арматуры возникает нарушение материального баланса между суммой расходов через параллельно работающие насосы и общим расходом через систему. Однако из-за малого шага квантования по времени непродолжительная нестыковка баланса остается для операторов незаметной, так как длится меньше секунды и «сливается» с изменением показаний датчиков.

В последнее время бурно развивается новое направление, которое можно определить как теорию нечетких (Fuzzy) систем управления [2, 3]. Применение подхода нечеткого логического вывода оправданно, а иногда и единственно возможно, когда необходимо описать поведение сложной системы и получить возможность определять значения одних параметров системы на основе значений других ее параметров или параметров окружающей среды.

Применение нечеткой логики возможно в тех случаях, когда сложность зависимостей между параметрами системы «технический объект – внешняя среда» не позволяет получить аналитическую зависимость выходных параметров от входных. Также данный подход можно применять в условиях неполного знания о правилах поведения системы, неясной связи между параметрами, недостоверных ис-

ходных данных, когда поведение системы и требуемое поведение объекта описываются приближенно.

Наиболее развитыми возможностями влияния на динамику процесса обладает структура нечеткой системы управления с многоканальной системой контроля состояния объекта управления.

Широкие возможности приложения нечеткого управления открываются в области адаптивного регулирования, т.е. улучшения качества регулирования в режиме on-line. Здесь могут быть созданы самоорганизующиеся контроллеры, которые посредством модификации параметров регулятора оптимальным образом настраиваются на управляемый процесс.

Основой для адаптации нечеткого контроллера является наблюдение за ошибкой регулирования и/или выходной величиной объекта управления, из которой/ых формируется значение показателя качества на базе подходящего критерия (например, интегральная квадратичная оценка). Собственно стратегия настройки параметров сосредоточена в блоке алгоритма адаптации. Он содержит «интеллект» адаптивного регулятора в форме различных команд установки параметров в зависимости от значения текущего показателя качества. При этом возможна реализация алгоритма адаптации как алгоритма на основе правил типа ЕСЛИ ... ТО ...

Для описания поведения системы используются два основных понятия нечеткой логики: лингвистическая переменная P и терм лингвистической переменной T . Переменная в нечеткой логике соответствует одному из параметров, характеризующих систему, например, скорости объекта, температуре и т.п.

Измеряемые значения соответствующего параметра будут являться «четкими» значениями переменной. Например, для переменной «температура» ее четкими значениями будут являться 58°C , и т.п. Все множество четких значений образует область определения лингвистической переменной $D(P)$.

Терм переменной является ее «нечетким» значением и обозначается фразой, характеризующей одно из характерных состояний параметра системы. Например, для переменной «температура» можно выделить такие характерные состояния: высокая температура, температура в пределах нормы, пониженная температура и т.п. «Высокая», «нормальная», «пониженная» соответствуют термам переменной «температура» – это будут «нечеткие» значения переменной, с помощью которых будет описываться поведение системы и желаемая реакция технического объекта. Терм является поименованным нечетким множеством, которое определяется как упорядоченная пара элемента области определения переменной и действительного числа из отрезка $[0, 1]$.

Таким образом, терм определяет степень истинности принадлежности показания датчика к тому характерному значению переменной, которым назван этот терм. Например, показание датчика температуры 58°C можно отнести к терму «нормальная температура» с уверенностью 0,9, а к терму «пониженная температура» – с уверенностью 0,3.

Поведение системы описывается с помощью продукционных правил. Если при анализе системы определено, что значение одного параметра P_1 влияет на другой параметр P_2 , то это отражается продукционным правилом вида ЕСЛИ $P_1 = T_{1p1}$, ТО $P_2 = T_{1p2}(p)$,

где P_1 и P_2 – лингвистические переменные, соответствующие параметрам системы; T_{1p1} , T_{1p2} – термы переменных P_1 и P_2 ; p – важность данного правила.

Fuzzy-регуляторы являются хорошим средством управления для задач, в которых подходящая стратегия управления уже имеется в форме словесного описания алгоритма. В этом случае Fuzzy-концепция облегчает преобразование стратегии в формальный алгоритм, который может быть реализован аппаратно или программно.

Для приложений нечетких регуляторов к автоматизации процессов при недостатке знаний об управлении ими, напротив, не существует систематической процедуры проектирования, сравнимой с используемыми в классической теории управления. Привлекательным и поэтому широко используемым подходом в таких случаях является «фазификация» классической стратегии управления и приспособление возникающих при этом дополнительных степеней свободы вручную или с помощью процедуры численной оптимизации таким образом, чтобы добиться требуемого качества процесса регулирования.

Fuzzy-ПИД-регуляторы играют в области нечеткого управления такую же доминирующую роль, как ПИД-регуляторы в классической теории управления. Они применяются почти во всех случаях, когда не может быть предложен какой-либо осмысленный подход на базе эмпирических знаний о процессе.

При использовании методов, основанных на нечетком определении процесса управления, появляется возможность простого учета всех возможных возмущений и формирование оптимального набора команд управления по критерию наименьших энергозатрат при обеспечении необходимого расхода воды для потребителей. Использование нечеткой логики позволяет обеспечить достаточное качество процесса управления, при том что осуществлять непосредственный контроль за критерием качества невозможно и его оценка производится по косвенному показателю – давлению [4].

Основным критерием эффективного управления насосом является его нахождение в допустимом диапазоне работы, т.е. с соответствующими характеристиками $Q - H$.

Это, прежде всего, означает, что насосы имеют определенный диапазон эффективного регулирования и с увеличением числа параллельно работающих агрегатов этот диапазон будет уменьшаться.

Таким образом, для реализации оптимального регулирования необходимо в каждый момент времени контролировать значение диапазона регулирования и обеспечивать нахождение всех работающих насосов в общем диапазоне работы.

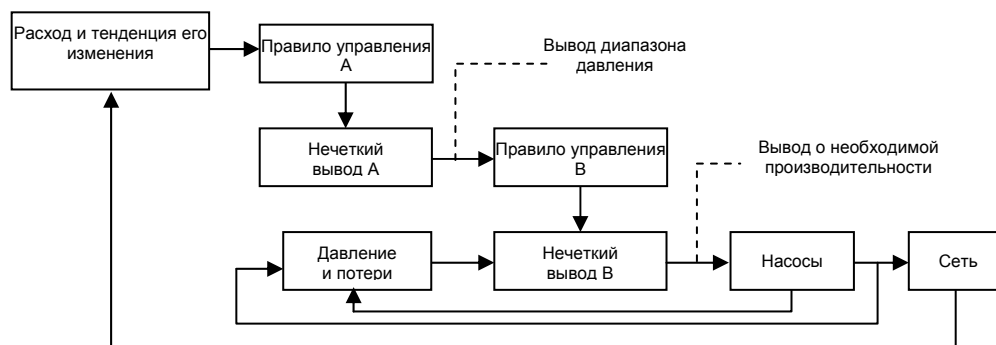


Рис. 2. Структурная схема нечеткой адаптивной системы управления насосным отделением

В зависимости от состояния объекта система управления (рис. 2) будет выдавать управляющие сигналы.

Классификация состояний объектов:

1. По изменению расхода воды потребителями:

- расход воды быстро увеличивается;
- расход воды увеличивается;
- расход воды не изменяется;
- расход воды уменьшается;
- расход воды быстро уменьшается.

2. По величине расхода:

- расход воды большой;
- расход воды средний;
- расход воды небольшой;
- расхода нет.

3. По нахождению регулируемого насоса в общем диапазоне регулирования:

- насос на верхней границе;
- насос в центре;
- насос на нижней границе.

4. По состоянию (вкл/выкл) дополнительных насосов:

- включен 2-й дополнительный насос;
- включен 1-й дополнительный насос;
- дополнительные насосы не включены;
- выключен 1-й дополнительный насос;
- выключен 2-й дополнительный насос.

Действия нечеткой системы управления работой насосов осуществляются в следующих направлениях:

1. Регулирование производительности одного насоса изменением его скорости:

- изменение максимальной рабочей скорости;
- изменение параметров регулятора.

2. Регулирование общей производительности:

- включением/Выключением насосов;
- включить дополнительный насос;
- не производить включений / выключений;
- выключить дополнительный насос.

3. Изменение уставки давления, заданного для поддержания:

- увеличить уставку;
- не изменять уставку;
- уменьшить уставку.

Пример правил нечеткой системы управления насосным отделением:

ЕСЛИ

- потребление воды быстро уменьшается;
- расход воды небольшой;
- насос – на верхней границе диапазона регулирования;

- дополнительные насосы не включены, ТО
 - уменьшить максимальную рабочую скорость;
 - уменьшить уставку заданного давления. ЕСЛИ
 - потребление воды увеличивается;
 - расход воды небольшой;
 - насос в диапазоне регулирования;
 - дополнительные насосы не включены, ТО
 - увеличить максимальную рабочую скорость;
 - увеличить уставку заданного давления.
- На основе вышеуказанных принципов управления и приведенной схемы можно создать модель насосной станции с нечеткой системой управления. На этой модели можно будет отрабатывать принци-

пы управления, выявлять ее недостатки и вносить корректировки. Это позволит без лишних затрат настроить систему на оптимальный (экономичный) режим работы.

Список литературы

1. **Таланов В.Д., Кротов В.Г., Пушков В.М.** Программно-технический комплекс SCADA – систем насосных перекачивающих станций: Мат-лы IV Рос. науч.-практич. конф. «Повышение эффективности теплоэнергетического оборудования». – Иваново, 2005. – С. 156–161.
2. **Современная** прикладная теория управления: Новые классы регуляторов технических систем. Ч. III / Под ред. А.А. Колесникова. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000.
3. **Рогозин О.В.** Контроллер нечеткой логики для решения задач в области систем автоматического управления // Приборы. – 2007. – № 3 (81).
4. **Дементьев А.** Оптимизация управления насосным отделением водопроводной станции // <http://10.3.2.1/articles/pumps/pumps.html>.

Архангельская Екатерина Леонидовна,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
ассистент кафедры автоматизации технологических процессов,
Телефон (4932) 26-99-09.