

УДК 004.896

Н.В. Замятин, Е.О. Иванов

Нечеткая советующая система контроля артезианских скважин

Представлена нечеткая система по отслеживанию критических ситуаций и выдаче рекомендаций по возможности использования оборудования артезианских скважин. Проведено моделирование в системе MATLAB.

Ключевые слова: множественные объекты, нечеткая логика, функции принадлежности, артезианская скважина.

В последнее время вырос интерес к задачам анализа и синтеза энергосберегающего управления множественными объектами. Такими объектами являются артезианские скважины водозаборов, которых может быть от нескольких штук до сотен. Причем эти объекты обладают различными параметрами, такими как уровень воды в скважинах, дебет добычи, потребляемая мощность, различные времена работы и простоя. При этом особое внимание уделяется вопросам робастности, отказоустойчивости и функционирования систем в условиях неопределенности. Основным моментом при управлении множественными объектами в виде артезианских скважин является выдача рекомендаций для обеспечения эффективного по минимуму затрат энергии функционирования такой системы.

Существует противоречие между потенциальными возможностями современных информационных технологий и характеристиками современных систем управления и контроля. Наглядными проявлениями этих противоречий являются водозаборные системы, в которых применяются АСКУЭ, но эффективного управления множественными системами в виде скважин не производится. Поэтому целесообразно в этом случае применить интеллектуальный подход в виде нечеткой логики для формирования рекомендаций. Основная идея применения систем с нечеткой логикой, заключается во введении опыта эксперта в систему, управляющую некоторым динамическим процессом.

Нечеткая логика имеет ряд преимуществ:

- поддерживает разработку быстрого прототипа технического устройства с последующим усложнением его функциональности;
- нечеткая логическая модель легче понимается, чем аналогичная математическая модель на основе дифференциальных или разностных уравнений;
- нечеткие модели проще для аппаратной реализации по сравнению с классическими алгоритмами управления техническими системами и имеют возможность для распараллеливания процедур вычисления.

Постановка задачи. Имеется множество артезианских скважин с установленными насосными агрегатами, при этом каждый объект имеет разные параметры и к нему предъявляются различные требования по эксплуатации. Наиболее важные требования – нахождение характеристик внутри рабочих интервалов, т.е. соблюдение режима работы оборудования. При несоблюдении режимов работы оборудования возможно наступление аварийной ситуации [1].

Кроме критических режимов работы оборудования, при которых необходимо его отключение, существуют также различные другие режимы, характеризующиеся степенью приемлемости отклонений характеристик, а также значимости самих характеристик при определении режима.

График суточного водопотребления колеблется в широких пределах в течение суток, что приводит к целесообразности исключения постоянной эксплуатации всего имеющегося вододобывающего оборудования, так как оно находится в избыточном количестве. Таким образом, возникает задача определения списка оборудования, наиболее эффективного к эксплуатации в текущей ситуации. Артезианские скважины предполагается ранжировать (упорядочивать) по некоторому результирующему признаку степени пригодности к эксплуатации (включению), а затем последовательно выбирать наиболее пригодные к работе, до тех пор, пока их суммарная производительность не достигнет необходимой на данный момент. Естественно, из этого списка необходимо исключить оборудование,

не пригодное для эксплуатации на данный момент (находящееся за пределами нормального режима работы), а также при возможности исключить нежелательное к эксплуатации, например из-за низкого дебета скважины.

Из вышесказанного следует следующая общая задача – осуществление контроля критических режимов работы оборудования (в первую очередь насосов артезианских скважин), а также определение оптимального набора работающего оборудования.

Если определение критической ситуации является довольно формализованной задачей (превышение параметров, указанных в паспорте оборудования), то задача определения приемлемости работы оборудования носит явно нечеткий характер [2, 3]. Поэтому для решения второй задачи предполагается построение нечеткой системы, которая будет эмулировать решения эксперта-диспетчера.

Лингвистические переменные. Введены следующие лингвистические переменные, определяющие основные параметры работы скважины: подача, отклонение уровня тока от нормы, динамическое понижение уровня воды в скважине, температура двигателя насоса. Также целесообразно ввести синтетическую лингвистическую переменную – выключение насоса, которая будет характеризовать степень необходимости указанного действия.

Снижение подачи воды свидетельствует об износе насоса и различного оборудования. Интенсивная эксплуатация скважины может привести к чрезмерному понижению ее уровня воды относительно статического уровня (до начала эксплуатации). Рассогласование уровня воды скважины (м) и высоты подъема насоса приводит к энергетической неэффективности, сильное же понижение уровня воды может являться критическим как для вододобывающего оборудования, так и для состояния источника водоснабжения. Высокие значения силы тока свидетельствуют об износе или повреждении насоса или о запесочивании скважины, заниженные – о подаче или напоре воды [4].

Указанные величины могут быть измерены соответствующими приборами: водомерами, уровнемерами, амперметрами, термометрами [4]. Для простоты вычислений и применения методики к различному оборудованию будем считать, что все параметры нормированы, т.е. их область значений лежит в $[0; 1]$, где 0 соответствует начальному (минимальное, нормальное) значению работы, а 1 – критическому. Параметр «выключение насоса» будет иметь такую же область значений, как и остальные лингвистические переменные, значение 0 соответствует нулевой необходимости выключения, 1 – крайней (аварийной) степени.

Зададим следующие лингвистические терм-множества переменных:

- снижение подачи = {нулевое, низкое, среднее, высокое, критическое},
- отклонение тока = {нулевое, низкое, среднее, высокое, критическое},
- понижение уровня = {нулевое, низкое, среднее, высокое, критическое},
- температура двигателя = {нулевая, низкая, средняя, высокая, критическая},
- необходимость выключения = {нулевая, низкая, средняя, высокая, критическая}.

Для синтеза системы нечеткого вывода по управлению режимом работы скважин воспользуемся пакетом Fuzzy Logic Toolbox среды MATLAB. Введем следующее наименование переменных в MATLAB: снижение подачи – RateLowering, отклонение тока – AmperageDeviation, понижение уровня – LevelLowering, температура двигателя – EngineTemp, необходимость выключения насоса – TurnOffPump. Соответствующие терм-множества переменных обозначим как {zero, low, medium, high, critical}.

В качестве функций принадлежности множеств переменных выбран ее простейший вид – треугольные функции для различных терм-множеств нечеткой переменной «снижение подачи». Аналогичный вид будут иметь функции принадлежности нечетких переменных отклонение тока, понижение уровня, температура двигателя. Указанные функции выполняют условия разбиения единицы, которое заключается в равенстве 1 сумме степеней принадлежности для каждого из элементов области определения. При выполнении этого условия модель имеет обычно более гладкую поверхность отклика [5].

В качестве входов модели зададим снижение подачи, отклонение тока, понижение уровня, температуру двигателя, выходным значением будет необходимость выключения насоса скважины.

Нечеткая модель должна на основе значений различных рабочих параметров скважины определить необходимость включения и выключения насосов (управление). Например, при нахождении всех параметров (подача, температура, понижение, ток) в низких или нулевых зонах – необходимость выключения насоса должна быть также низкой или нулевой. При средних значениях соответствующих параметров – необходимость средняя, при высоких и критических – высокая и критиче-

ская соответственно. Следует принять во внимание один немаловажный факт – при нахождении хотя бы одного из параметров в области высоких и критических значений, даже при нулевых значениях всех остальных параметров, итоговое значение степени выключения насоса должно находиться в высоких и критических областях соответственно. Назовем это требованием критического режима работы.

База правил. В табл. 1 представлена соответствующая база правил.

Таблица 1

База правил нечеткой системы (с весами)

Правило	Вес
Если снижение подачи= нулевое или температура= нулевая или понижение уровня= нулевое или ток= нулевой , то отключение= нулевое	0,1
Если снижение подачи= низкое или температура= низкая или понижение уровня = низкое или ток= низкий , то отключение= низкое	0,1
Если снижение подачи= среднее или температура= средняя или понижение уровня = среднее или ток= средний , то отключение= среднее	0,1
Если снижение подачи= высокое или температура= высокая или понижение уровня = высокое или ток= высокий , то отключение= высокое	0,2
Если снижение подачи= критическое или температура= критическая или понижение уровня= критическое или ток= критический , то отключение= критическое	1

База правил состоит всего из 5 правил, что упрощает ее понимание и повышает скорость работы модели, при этом модель, построенная на основе такой базы правил, будет являться полной, так как каждому входному состоянию сопоставлено некоторое выходное [5].

Для выполнения требования критического режима работы правила базы имеют различные веса. Так, правила нулевых-средних значений имеют вес 0,1. Для того чтобы отметить вклад критических значений в выполнение критического условия выключения, соответствующему правилу присвоен наивысший вес 1.

Нечеткая модель. В качестве оператора произведения нечетких множеств выбран оператор произведения (PROD), позволяющий получить более гладкую поверхность модели и снизить ее нечувствительность [5].

В качестве операторов объединения нечетких множеств, импликации, агрегации использовались операторы MAX, MIN (оператор импликации Мамдани), MAX соответственно. В качестве метода дефаззификации использовался метод центра тяжести. Данные операторы выбраны по следующим причинам: простота, популярность [5], а также использованию их по умолчанию в MATLAB. Запуск модели показал удовлетворяющие изначальным требованиям результаты, что показало отсутствие необходимости в модификации вида функций принадлежности и операторов.

В табл. 2 представлены различные состояния входов нечеткой модели и соответствующие им выходы, взятые из реальных данных функционирования системы скважин. Как видно из таблицы, модель удовлетворяет предъявляемым к ней требованиям.

Таблица 2

Запуск модели с различными параметрами (с комментариями)

Вход				Выход	Комментарий
Снижение подачи	Отклонение тока	Понижение уровня	Температура двигателя		
1	2	3	4	5	6
0,25	0	0	0	0,241	Низкая необходимость отключения – один из параметров в низкой зоне
0,5	0	0	0	0,37	Средняя необходимость отключения – один из параметров в средней зоне
0,75	0	0	0	0,553	Не отключаем – в высокой зоне лишь один из параметров, критической зоны нет
0,85	0	0	0	0,703	Отключение (выход > 0,7) – один из параметров в критической зоне
1	0	0	0	0,794	Отключение (выход > 0,7) – один из параметров в критической зоне

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6
0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	Низкая необходимость выключения – все параметры в низкой зоне
0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	Средняя – все в средней
0,75	0,5	0,5	0,5	0,62	Средняя, но желательно выключение (выход > 0,6) – все в средней, один в высокой
0,5	0,75	0,5	0,5	0,62	Средняя, но желательно выключение (выход > 0,6) – все в средней, один в высокой
0,75	0,75	0,75	0,75	0,7	Отключение (выход > 0,7) – все в высокой зоне
0,75	0,5	0,9	0,33	0,713	Отключение (выход > 0,7) – один вход в критической зоне, остальные в разных
0,33	0,25	0,25	0,9	0,7	Отключение (выход > 0,7) – один вход в критической зоне, остальные в разных

После апробации в MATLAB, модель реализована на языке программирования C++ с использованием библиотеки Fuzzylite [6] в качестве советующей системы с графическим пользовательским интерфейсом, поддерживающим редактирование функций принадлежности и области значений нечетких переменных (положение движков).



Рис. 1. Нечеткая графическая советующая система

Заключение. Созданная нечеткая система позволяет определить степень пригодности к эксплуатации артезианских скважин, выраженных как численно, так и лингвистически, что позволяет ранжировать пригодное к эксплуатации оборудование для дальнейшего отбора с точки зрения критериев оптимальности, а также определять явно непригодное оборудование и исключать его из рассмотрения. Результат, формируемый нечеткой моделью, предназначен для энергоэффективного комплекса управления водозабором первого подъема водоканалов.

Литература

- ГОСТ 10428-89. Агрегаты электронасосные центробежные скважинные для воды. Основные параметры и размеры. – Введ. 1989–15–06. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 66 с.
- Лотарев В.В. Синтез системы нечеткого адаптивного управления насосными агрегатами [Электронный ресурс] / В.В. Лотарев, С.П. Щеглов, А.Н. Лабутин // Современные техника и технологии: сб. трудов XVIII Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 9–13 апреля 2012 г.: в 3 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – 2012. – Т. 2. – С. 345–346. – Схема доступа: http://www.lib.tpu.ru/fulltext/v/Conferences/2012/C2/V2/v2_169.pdf
- Карамбиров С.Н. Нечеткое управление забором подземных вод / С.Н. Карамбиров., П.М. Уманский // Природообустройство. – 2010. – № 4. – С. 67–72.
- Суреньяц С.Я. Эксплуатация водозаборов подземных вод / С.Я. Суреньяц, А.П. Иванов. – М.: Стройиздат, 1989. – 80 с.
- Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. – 2-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 798 с.

6. Fuzzylite: библиотека для управления с помощью нечеткой логики [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.fuzzylite.com/> (дата обращения: 23.02.2015).

Замятин Николай Владимирович

Д-р техн. наук, профессор каф. автоматизации обработки информации ТУСУРа

Тел.: 50-64-81; 70-15-93

Эл. почта: zam@fet.tusur.ru

Иванов Егор Олегович

Аспирант каф. автоматизации обработки информации ТУСУРа

Тел.: +7-923-411-57-37

Эл. почта: egor.o.ivanov@yandex.ru

Zamyatin N.V., Ivanov E.O.

Water well mode fuzzy control system.

The set up of the well water mode control problem is given. A fuzzy system of critical emergency tracking and providing of recommendations on the possibility of using equipment is proposed. MATLAB modeling is done.

Keywords: fuzzy logic, well water.
