

**Структурная организация нечёткой системы контроля состояния
оборудования и управления газораспределительной станцией**

А.И. Магомедов¹, И.А. Магомедов¹, М.Ш. Усманов²

¹Дагестанский государственный технический университет,

¹367026, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70, Россия,

²ООО «Газпром трансгаз Грозный»,

²366011, Чеченская Республика, с. Знаменское, ул. А.Кадырова, д.21, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является создание интеллектуальной системы контроля состояния оборудования и управления режимами работы газораспределительной станции (ГРС) основой которой является логико-лингвистическая (нечёткая) модель принятия оценочных и управленческих решений. **Метод.** При описании системы контроля и управления ГРС использована теория нечётких множеств и алгоритмов Л.Заде, которая в отличие от классической теории управления, допускает использование качественных понятий и позволяет создавать на их основе логико-лингвистические модели управляемого процесса. **Результат.** Приведено обоснование применения интеллектуальной системы оценки состояний оборудования и управления газораспределительной станцией на основе логико-лингвистической (нечёткой) модели представления базы знаний принятия оценочных и управленческих решений. Данный подход даёт разработчикам систем управления сложными процессами и/или объектами понятный и эффективный способ описания их динамики. **Вывод.** Интеллектуальная система оценки состояний оборудования и управления режимами работы ГРС, в которой база знаний представлена в виде логико-лингвистической (нечёткой) модели, позволяет обеспечивать решения указанной задачи основываясь на знаниях опытного эксперта (диспетчера), что способствует повышению качества обслуживания и снижению эксплуатационных расходов ГРС.

Ключевые слова: газораспределительная станция, ГРС, состояния объекта, логико-лингвистическая модель, нечёткие алгоритмы, теория нечётких множеств, динамика управляемого объекта, неопределённая среда

Для цитирования: А.И. Магомедов, И.А. Магомедов, М.Ш. Усманов. Структурная организация нечёткой системы контроля состояния оборудования и управления газораспределительной станцией. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(3):93-102. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-3-93-102

**Structural organization of a fuzzy system for monitoring the condition of equipment and
control of a gas distribution station**

A.I. Magomedov¹, I.A. Magomedov¹, M.Sh. Usmanov¹

¹Daghestan State Technical University,

367026, Makhachkala, I. Shamil Ave., 70, Russia,

²Gazprom Transgaz Grozny,

²21 A.Kadyrov St., Chechen Republic, Znamenskoye village 366011, Russia

Abstract. Objective. The objective of the study is to create an intelligent system for monitoring the condition of equipment and managing the operating modes of a gas distribution station (GDS) based on a logical-linguistic (fuzzy) model for making assessment and management decisions. **Method.** The theory of fuzzy sets and algorithms of L. Zade was used, which allows the use of qualitative concepts and allows the creation of logical-linguistic models of the controlled process on their basis. **Result.** The article provides a rationale for using an intelligent

system for assessing the state of equipment and managing a gas distribution station (GDS) based on a logical-linguistic (fuzzy) model for representing the knowledge base for making assessment and management decisions. This approach provides developers of control systems for complex processes and/or objects with a clear and effective way to describe their dynamics. **Conclusion.** An intelligent system for assessing equipment conditions and managing the operating modes of the gas distribution station, in which the knowledge base is presented in the form of a logical-linguistic (fuzzy) model, allows for solutions to the specified problem based on the knowledge of an experienced expert (dispatcher), which will improve the quality of service and reduce the operating costs of the gas distribution station

Keywords: gas distribution station, GDS, object states, logical-linguistic model, fuzzy algorithms, theory of fuzzy sets, dynamics of a controlled object, uncertain environment

For citation: A.I. Magomedov, I.A. Magomedov, M.S. Usmanov. The structural organization of a fuzzy system for monitoring the condition of equipment and control of a gas distribution station. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(3):93-102. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-3-93-102

Введение. Управление таким сложным разноплановым объектом как газораспределительная станция (ГРС) с использованием классической методологии сталкивается с проблемами отсутствия адекватной математической модели, так как для точного математического описания динамических свойств режимов работы ГРС необходимо учитывать влияние большого количества разных контролируемых и неуправляемых факторов, начиная с самого объекта, заканчивая проблемной средой функционирования.

Решение задач управления сложными объектами или технологическими процессами многие исследователи [1-7] видят в применении чрезвычайно мощного инструмента теории нечётких множеств и алгоритмов (нечёткая логика), предложенной Л. Заде в 1965 г. в работе [1] и в использовании последних достижений в области информационных технологий и аппаратных средств построения АСУ. Эта теория, в отличие от традиционных количественных методов системного анализа, допускает использование качественных понятий, таких как *лингвистические переменные* (ЛП) и создавать на их основе логико-лингвистические модели управляемого процесса [2]. Модели, построенные на основе ЛП, легко читаются человеком, так как записываются на естественном языке.

Например, для нечёткой системы регулирования давления на ГРС, могут быть использованы правила вида: «Если *давление очень высокое* и *скорость изменения давления отрицательно низкая*, то *управление отрицательно среднее*», где «*давление*», «*скорость изменения давления*» и «*управление*» - входные и выходная лингвистические переменные для нечетких систем управления, а «*очень высокое*», «*отрицательно низкая*» и «*отрицательно среднее*» - значения этих переменных. Количество ЛП и пределы изменения их границ определяются в зависимости от решаемой задачи опытными экспертами в данной предметной области.

Таким образом, опираясь на теорию лингвистических переменных и нечётких алгоритмов [1,2], обычная задача управления оказывается погруженной в нечёткую среду, позволяющую формализовать и преобразовать выраженный в нечёткой словесной форме опыт экспертов в логико-лингвистические модели принятия управленческих решений. Данный подход даёт приближенные, но, в то же время, эффективные способы описания поведения систем, настолько сложных и/или плохо определённых, что они практически не поддаются точному математическому анализу.

Постановка задачи. Проведённый в работе анализ источников информации [8-13] показал, что в настоящее время отсутствуют интеллектуальные системы оценки качества состояния оборудования и управления режимами работы ГРС, которые могли бы автоматизировать в полном объёме все процессы, происходящие в ГРС при качественном и безопасном ее функционировании. Работы по созданию и совершенствованию систем контроля и управления режимами работы ГРС продолжаются и в настоящее время.

Например, в работе [8] рассматривается комплекс автоматического управления ГРС на базе ПТК «Каскад-САУ», состоящий из SCADA-пакета и аппаратных средств организации технической части комплекса. Такие системы были установлены на объектах ООО «Волготрансгаз» и ОАО «Верхневолжскнефтепровод» и функционируют до сегодняшнего дня. В статье [9] рассмотрены локальные системы автоматизации ГРС, которые имеют единый диспетчерский центр контроля и управления. В работе приведены основные технические характеристики и функциональные возможности системы, описаны аппаратные и программные средства построения системы. В [10] приведена система автоматического управления газораспределительной станцией ВЕГА-ГАЗ. Она предназначена для контроля ТП ГРС подачи газа потребителем в соответствии с договорными обязательствами.

Система автоматизированного управления ГРС приведена в работе [11]. Система предназначена для непрерывного управления оборудованием и контроля технологического процесса ГРС подачи потребителям товарного газа в заданном объёме с определённым давлением, необходимой степенью очистки и одоризации и представляет собой аппаратно-программный комплекс с возможностью дистанционного управления запорной арматурой и другими технологическими объектами по команде с панели оператора, а также сбор, обработка и отображения технологической информации о режимах работы ГРС, состоянии основного и вспомогательного оборудования и положении запорной арматуры.

В последние годы получила широкое распространение концепция SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) [12,13], которая предопределена новыми методами и средствами построения систем управления, а также достижениями и результатами научно-технического прогресса. Применение SCADA-технологий позволяет достичь высокого уровня автоматизации в решении задач разработки систем управления, сбора, обработки, передачи, хранения и отображения информации. SCADA являясь на сегодня наиболее широко используемой системой проектирования АСУ сложными ТП, но и она не учитывает последние достижения в области информационных и беспроводных технологий, которые могут быть использованы для построения АС меньшими затратами и с расширенными функциональными возможностями.

Все рассмотренные выше системы были разработаны по устаревшим технологиям проектирования, так как разрабатывались более 15-20 лет тому назад, хотя и сегодня они являются актуальными для решения определённого класса задач управления ГРС. Кроме того, в существующих системах не учитываются вопросы оценки состояния оборудования ГРС и не формируются прогнозные оценки их надёжности, что может привести к авариям на ГРС с тяжёлыми последствиями.

Современные информационные технологии и возросший уровень предлагаемых потребителю средств автоматизации позволяют создавать качественно новое оборудование, существенно превосходящее по всем параметрам ныне действующее.

В связи с этим, в настоящей научной работе разрабатываются:

- основные принципы построения интеллектуальной системы контроля состояния оборудования и управления режимами работы газораспределительной станции (ГРС) основанной на логико-лингвистической (нечёткой) модели принятия оценочных и управленческих решений;
- вопросы структурной организации интеллектуальной системы контроля состояния оборудования и управления ГРС на базе локальных систем управления (ЛСУ) с использованием ячеистых сетей ЛСУ на основе беспроводной технологии для обмена учётной и технологической информацией;
- структуры ЛСУ и контроля состояния оборудования ГРС, построенные по модульному принципу проектирования и открытой архитектурой, что позволит адаптировать и их к различным технологическим схемам ГРС и существенно сократить время проектирования и средства на их создание;

- логико-лингвистические модели (ЛЛМ) оценки состояния оборудования и управления режимами работы ГРС, что позволит одновременно решить и задачу оценки состояния оборудования, и задачу управления, а также использовать и сохранить знания и большой практический опыт работы оператора ГРС в виде ЛЛМ;
- ячеистые сети организации обмена данными между ЛСУ по радиоканалу и координатором сети. Использование ячеистой сети локальных систем управления обеспечит высокую надёжность канала связи между участниками сети, так как имеется возможность выбора альтернативного маршрута беспроводной передачи технологической и учётной информации в дом оператора, где должен быть установлен компьютер с соответствующим программным обеспечением координатора ячеистой сети.

Методы исследования. Анализ современных технологических схем ГРС и существующих СУ ГРС показывает, что СУ режимами работы ГРС должна быть построена по следующим принципам:

1. С применением элементов искусственного интеллекта, что позволит использовать большой накопленный опыт работы по управлению оператором ГРС и решить все задачи сбора, обработки, хранения, отображения технологической информации, контроля и регулирования параметров, а также управления технологическими установками ГРС;
2. По модульному принципу, что даёт возможность адаптировать систему управления к различным технологическим схемам ГРС и существенно сократит время разработки и внедрения системы;
3. С использованием локальных микроконтроллерных систем управления технологическими установками ГРС, что повысит живучесть и надёжность системы, а также снизить эксплуатационные расходы на обслуживание ГРС в целом;
4. На базе беспроводной технологии с использованием ячеистой сети локальных систем управления, что обеспечит высокую надёжность канала связи между участниками сети и возможность выбора альтернативного маршрута беспроводной передачи технологической и учётной информации в дом оператора, где должен быть установлен компьютер с соответствующим программным обеспечением координатора ячеистой сети.
5. На базе пожаро- и искрозащищённых модулей, разработанных с соблюдением соответствующих нормативных актов отрасли, стандартов и технических условий;
6. С учётом того, что все ГРС строятся на открытых площадках в целях безопасности, т.е. модули должны быть защищены от внешних воздействий на их работу;
7. ЛСУ должны иметь программное обеспечение самоорганизации и самонастройки с целью формирования канала обмена данными с координатором ячеистой сети и обхода, не работающего узла сети, что позволит повысить живучесть системы в целом за счет динамической и/или статической реконфигурации каналов связи;
8. ЛСУ должны иметь встроенные аппаратно-программные средства защиты учётной и технологической информации от несанкционированного доступа (НСД), а также программные средства оповещения координатора сети о наличии признака НСД в сетях. Наличие указанных средств позволит исключить человеческий фактор из процесса сбора, обработки и хранения данных в системе;
9. Ячеистые сети ЛСУ должны быть построены по открытой архитектуре с целью масштабирования как в сторону увеличения участников сети, так и в сторону их уменьшения, что расширит функциональные возможности системы и адаптировать СУ к различным технологическим схемам ГРС.

Современная АСУ ТП представляет собой многоуровневую человеко-машинную систему управления. Без соответствующего анализа объекта управления и/или технологического процесса управления, создание автоматизированной системы управления такими сложными объектами, как газораспределительная станция (ГРС), даже с учётом последних достижений в области информационных технологий и аппаратных средств построения

АСУ, практически невозможно. Постоянно совершенствующиеся технологические схемы самих ГРС, как объектов управления, требуют создания аппаратно-программных средств с элементами систем искусственного интеллекта, свойствами адаптации системы к изменяющимся структурам ГРС и требованиям безопасного управления режимами работы ГРС. Поэтому, в работе предлагается структура СУ режимами работы ГРС в виде полносвязанного графа, где на вершинах расположены ЛСУ, а дуги представляют собой связи между вершинами по радиоканалу (рис. 1). Отметим, что вершина помеченная КС (координатор сети) является координатором ячеистой сети, построенная на ЛСУ. Штрих-пунктирной линией отмечены некоторые возможные варианты связи координатора сети (КС) с вершиной ЛСУ1.

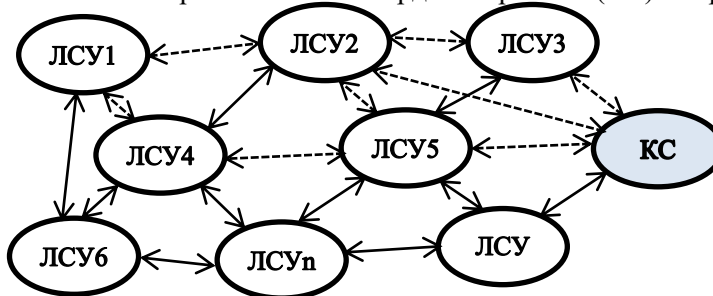


Рис. 1. Графовая структура системы управления ГРС
 Fig. 1. Graph structure of the GDS control system

Локальные системы управления режимами работы ГРС целесообразно строить в виде модулей на базе микроконтроллера со встроенным радиомодемом (рис. 2), т.е. по модульному принципу.

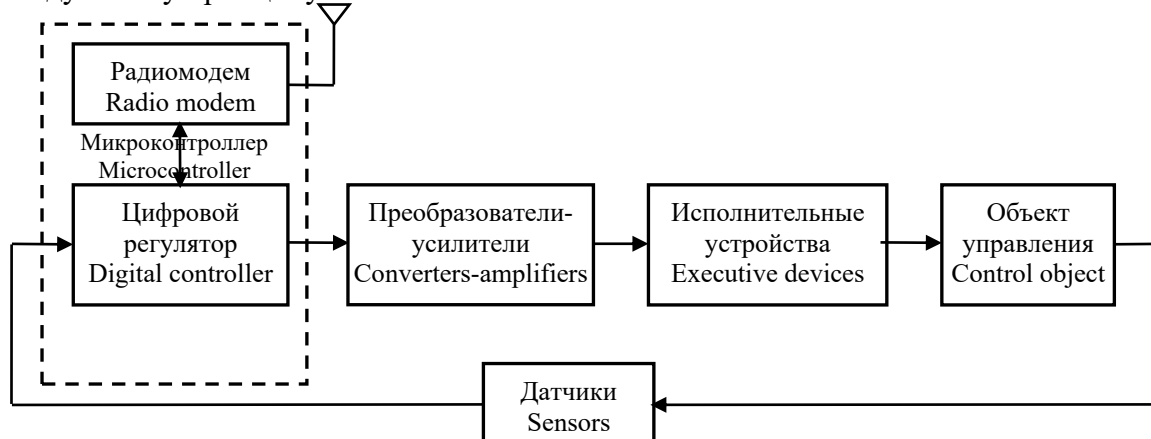


Рис. 2. Обобщенная структурная схема локальной системы управления (ЛСУ)
 Fig. 2. Generalized structural diagram of the local control system (LCS)

ЛСУ может иметь в своём составе, в зависимости от технологической схемы ГРС, следующие модули: измерительный модуль сбора учётной информации и значений, контролируемых и регулируемых технологических параметров; усилительно-преобразовательный модуль; модуль управления исполнительным устройством; модуль источника питания; модуль обработки данных и управления; модуль радиоканала. Кроме того, исходя из решаемых задач, модули могут быть использованы и для построения ЛСУ, и для систем контроля состояния оборудования, и для системы учёта расхода газа. Отметим, что во всех указанных вариантах основным модулем является микроконтроллерный модуль со встроенным радиомодемом, где в зависимости от области его применения меняется программное обеспечение, алгоритмы принятия управленческих решений и оценки качества состояния оборудования ГРС. Такой подход позволит адаптировать систему к различным технологическим схемам ГРС, сократить время проектирования и внедрения, существенно снизить расходы на проектирование и эксплуатацию, а также повысить живучесть системы за счёт способности ячеистой сети на самоорганизацию и настройки.

Большой интерес у специалистов по управлению к нечётким (логико-лингвистическим) моделям объясняется, в основном, следующими факторами: простота реализации; функциональная устойчивость как к внешним возмущениям, так и к изме-

нениям параметров управляемого процесса в достаточно широких (до $\pm 30\%$) пределах изменения; возможность использования богатого практического опыта специалистов, не имеющих специальных знаний, выраженного ими в качественной форме. Подход, приведённый в работе, представляет собой отход от традиционных классических методов системного синтеза и анализа. И вот почему: для построения систем оценки состояния оборудования и управления режимами работы ГРС не требуется математическая модель управляемого процесса, а используется, вместо или в дополнения количественным данным, понятие «лингвистическая» переменная; отношения между лингвистическими переменными описываются посредством нечётких выражений типа Если А, то В»; характеристика сложных отношений с помощью нечётких алгоритмов.

Укажем на некоторые из причин, обусловивших необходимость перехода от классических моделей теории управления к логико-лингвистическим моделям на примере узла подогрева ГРС, предназначенного для подогрева газа в соответствии с технологией подготовки до определённой температуры, достаточной для поддержания температуры газа на выходе ГРС и исключения гидратообразования при редуцировании газа, а также для систем отопления помещений или других возможных теплопотребителей.

Структура нечёткой локальной системы управления приведена на рис. 3, в которой нечёткие алгоритмы принятия управленческих решений регулирования температуры в узле подогрева реализованы программно на микроконтроллере, что допустимо для медленных процессов управления.

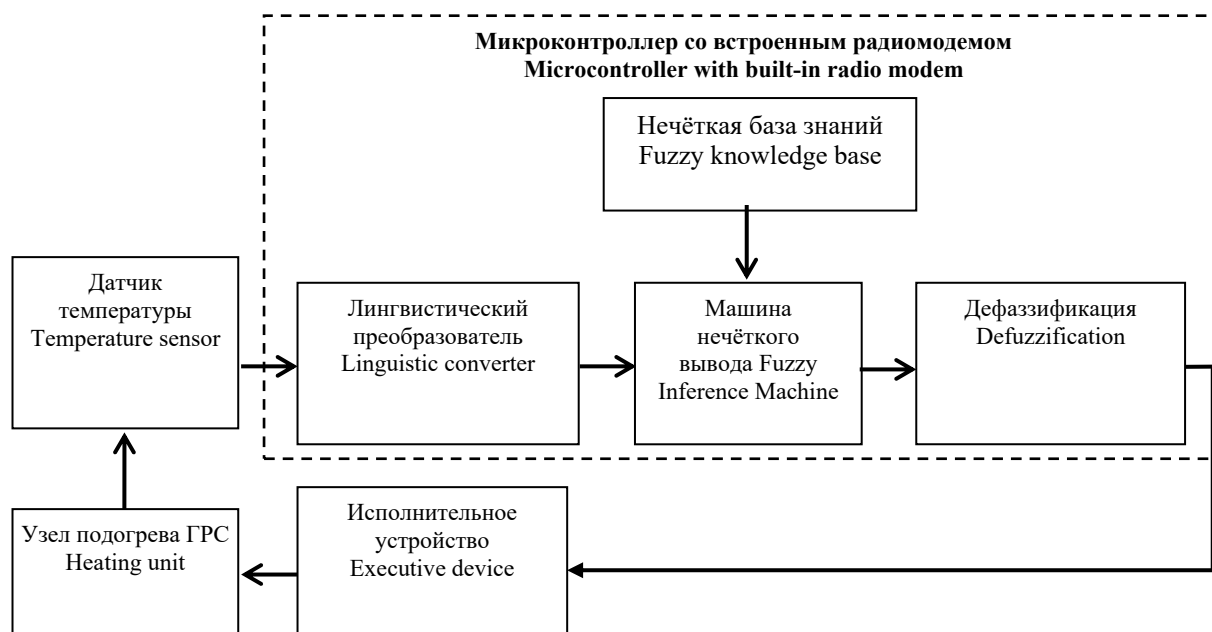


Рис. 3. Структурная схема модуля нечёткой локальной системы управления регулирования температуры в узле подогрева ГРС

Примечание: Дефаззификация- процесс получения числового значения выходной переменной; используется метод центра тяжести [3,4]

Fig. 3. Structural diagram of the module of the fuzzy local control system for regulating the temperature in the heating unit of the gas distribution station

Note: Defuzzification is the process of obtaining the numerical value of the output variable; the center of gravity method is used [3,4]

Сложность узла подогрева (узла предотвращения гидратообразования) ГРС, как объекта управления заключается в следующем:

1. Между рядом параметров, оказывающих влияние на процесс регулирования температуры, не удаётся установить точных количественных зависимостей.
2. Процесс регулирования является многоступенчатым, и содержание каждого шага не может быть заранее однозначно определено.

3. Существующие способы описания объектов и протекающих в них процессов, традиционными методами теории управления приводят к столь громоздким конструкциям, что их практическое использование встречает значительные вычислительные трудности, либо малоэффективными, либо просто непригодными.
4. Объект эволюционирует во времени, меняется его структура и функции, что приводит к эволюции самого процесса управления.
5. Не все цели оценки качества и управления объектом могут быть выражены в виде количественных соотношений.

Дополнительным обоснованием использования принципов нечёткого управления для решения задач оценки состояния оборудования и управления режимами работы ГРС можно считать возможность:

- создания нечётких локальных систем управления на базе предлагаемых потребителю дешёвых микроконтроллерных средств автоматизации, которые позволяют проектировать качественно новое оборудование, существенно превосходящее по всем параметрам ныне действующее;
- возможность создания нечётких адаптивных систем регулирования технологических параметров ГРС при постоянно изменяющихся условиях потребления газа и наличии неконтролируемых внешних воздействий;
- невысокие расходы на адаптацию и внедрение нечёткой системы управления для решения при проектировании и создании нового технологического оборудования.

Решение задачи построения системы автоматического управления режимами работы ГРС может быть найдено в области систем искусственного, где ядром системы является база знаний, представленной в виде нечёткой (логико-лингвистической) модели принятия управленческих решений.

В основу такой модели положены знания и опыт работы диспетчера ГРС, выраженный им в словесной форме как правила принятия решений вида [5, 14]:

П₁: если x есть A_1 и y есть B_1 , то z есть C_1 ,

П₂: если x есть A_2 и y есть B_2 , то z есть C_2 ,

...

П_n: если x есть A_n и y есть B_n , то z есть C_n .

где x – отклонение от заданного регулируемого значения, $x \in X$;

y – скорость изменения отклонения, $y \in Y$;

z – выходная переменная, $z \in Z$.

A_i , B_i и C_i – нечёткие множества, определённые на X , Y и Z с помощью функций принадлежности $\mu_{A_i}(x)$, $\mu_{B_i}(y)$ и $\mu_{C_i}(z)$ при заданных пределах изменения.

Для построения указанных функций в MATLAB для нашего примера задавались следующие области изменения переменных: - ± 15 град.; *Скорость изменения отклонения* - ± 2 град/мин. и *Угол поворота задвижки* - ± 90 град. соответственно (рис. 4-6).

Качественное описание самого процесса регулирования температуры в узле подогрева определено, как набор нечётких правил принятия управленческих решений вида: Если *Отклонение положительно среднее (ПС)* и *Скорость изменения отклонения отрицательно средняя (ОС)*, то *Угол поворота задвижки Положительно маленький (ПМ)*, иначе.....

В табл.1 приведены нечёткие правила принятия управленческих решений (всего 25 правил), высказанные на естественном языке опытным диспетчером ГРС с использованием приведённых выше значений лингвистических переменных.

Набор таких правил можно назвать нечёткой базой знаний и определяет взаимосвязи между входными /выходными переменными объекта управления и в ЛСУ будут реализованы программно на микроконтроллере (рис. 3).

Таблица 1. Нечёткие правила регулирования температуры в узле подогрева
Table 1. Fuzzy rules for temperature control in the heating unit

	Отклонение от заданной температуры Deviation from the set temperature				
Скорость изменения отклонения Rate of change of deviation	ОС отрицательно среднее negative average	ОМ отрицательно малое negative small	Н нулевое zero	ПМ положительно малое positively small	ПС положительно среднее positive average
ОС	ПС	ПС	ПМ	Н	Н
ОМ	ПС	ПМ	ПМ	Н	ПМ
Н	ПМ	Н	Н	Н	ОМ
ПМ	ПМ	Н	Н	Н	Н
ПС	ОМ	ОМ	ОС	ОС	ОС

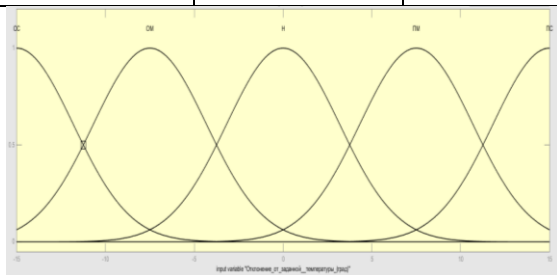


Рис. 4. График функции принадлежности лингвистической переменной «Отклонение»

Fig. 4. Graph of the membership function of the linguistic variable "Deviation"

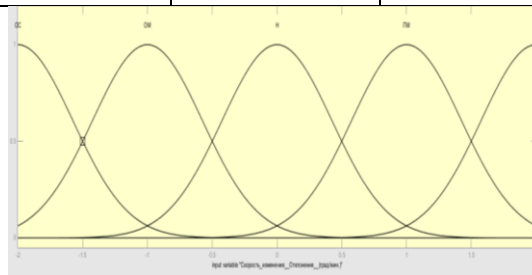


Рис. 5. График функции принадлежности лингвистической переменной «Скорость изменения отклонения»

Fig. 5. Graph of the membership function of the linguistic variable "Rate of change of deviation"

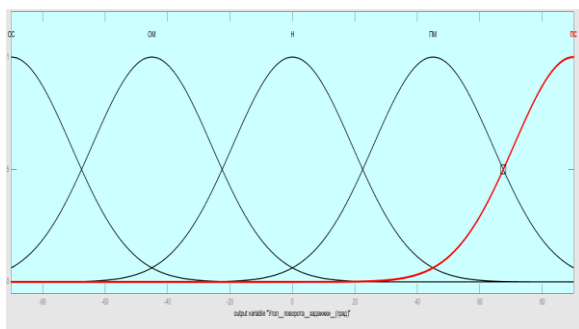


Рис. 6. График функции принадлежности лингвистической переменной «Угол поворота задвижки»

Fig. 6. Graph of the membership function of the linguistic variable "Rotation angle of the valve"

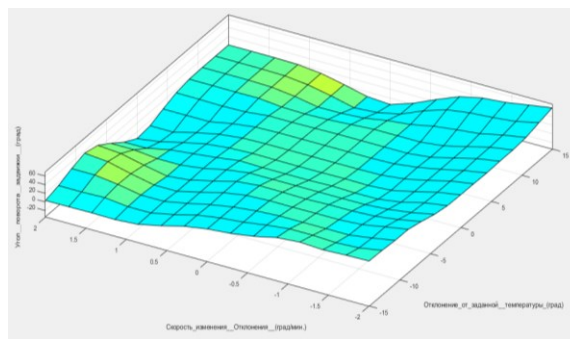


Рис. 7. Трёхмерный график зависимости выходного значения нечёткой системы от входных воздействий

Fig. 7. Three-dimensional graph of the dependence of the output

Приведённый на рис. 7 трёхмерный график говорит о том, что нечёткие алгоритмы принятия управленческих решений (табл.1) регулирования температуры в узле подогрева ГРС позволяют сделать вывод о хорошем качестве описания нечёткими правилами моделируемой нелинейной системы.

Отметим, что качество описания можно существенно улучшить при добавлении значений (терм-множеств) лингвистических переменных как для входных, так и для выходной переменных, например, термами «отрицательно большое», «положительно большое» и т.д.

Преимущество использования нечётких правил в том, что можно описывать алгоритмы управления на близком к естественному языку, что упрощает восприятие правил человеком, их разработку и изменение. Недостаток такого подхода - при каждом принятии решения необходимо рассчитывать степень истинности каждого из правил, что может оказаться нетривиальной задачей при большом количестве правил.

Дело в том, что с увеличением количества правил, необходимо увеличить и вычислительные мощности системы, так как большинство систем управления на основе нечётких множеств работают в реальном времени. Особенно это касается при управлении быстрыми процессами. В таких случаях нужно либо пересмотреть базу правил и уменьшить количество правил, либо пользоваться различными методами оптимизации.

Применение специализированного сопроцессора [14], реализующего алгоритм нечёткого управления совместно с микроконтроллером, позволит адаптировать систему к изменяющим нагрузкам и организовать процедуру обучения выбора оптимальных параметров функций принадлежности, используя при этом, в качестве предварительной информации, только исходные правила и значения параметров, полученных, например, с помощью несложных расчётов.

Вывод. Исследование в работе построено на анализе современных систем контроля состояния оборудования и управления режимами работы газораспределительной станции, а также на базе функциональных и коммуникационных возможностей, предлагаемых потребителю недорогих микроконтроллеров со встроенными средствами организации беспроводной связи, которые позволяют создавать качественно новые структуры нечётких систем управления сложными технологическими процессами с элементами искусственного интеллекта, существенно превосходящие по всем параметрам ныне существующие.

В работе сформированы основные принципы построения интеллектуальных систем контроля состояния оборудования и управления режимами работы газораспределительной станции. На основе разработанных принципов предложен модульный вариант организации системы, в качестве модулей используются нечёткие локальные системы управления (ЛСУ), а связь между ними и оператором ГРС организована посредством ячеистой сети ЛСУ, построенных на МК со встроенными радиоканалом.

Показано, что ячеистые сети могут быть построены не только на приборах учёта, но и на базе цифровых локальных систем управления различными узлами ГРС реализованных на микроконтроллере.

Библиографический список:

1. Zadeh L.A. Fuzzy sets. Inform. Control, 1963, v. 8, p. 338-353.
2. Заде Л.А. Понятие лингвистического переменного и его применение к принятию приближенных решений. - М.: Мир, 1976. - 168 с.
3. Mamdani E.H., Assilian S. A fuzzy logic controller for a dynamic plant. Int. J. Man-Machine Stud., 1975, v. 7, p. 1-13.
4. <https://neuronus.com/theory/fl/308-nechetkie-vyvody.html>
5. Асаи К., Ватада Д., Иваи С. и др. Прикладные нечёткие системы : пер. с яп. – М. : Мир, 1993.
6. Магомедов, И. А. Математическая и аппаратная поддержка логики-лингвистических моделей управления сложными динамическими объектами / И. А. Магомедов, Г. Х. Ирзаев. – Махачкала : Типография ФОРМАТ, 2022. – 159 с. – ISBN 978-5-907484-61-0. – EDN SCTFFI.
7. Асаи К., Ватада Д., Иваи С. и др. Прикладные нечёткие системы : пер. с яп. – М. : Мир, 1993.
8. Р. Мочалов, А. Худов, А. Язев. Автоматизация сети газораспределительных станций на базе программно-технического комплекса «КаскадСАУ». СТА 2/2008-С. 36-45
9. <https://www.cta.ru/articles/cta/otrasli/neftegazovaya-promyshlennost/125021/>
10. <https://vega-gaz.ru/Products/saugrsriusgrs>
11. https://newgaztech.ru/upload/files/catalog_file/7b24e7e1589942d24b94aa33cf8f029b.pdf
12. <https://makhachkala.lcbt.ru/blog/chto-takoe-scada-sistema/>
13. Максимова, Е. А. Использование SCADA-технологий в современных автоматизированных системах управления / Е. А. Максимова, С. Н. Грицок. -Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2015. — № 22.5 (102.5). — С. 45-48. - URL: <https://moluch.ru/archive/102/23624/> (дата обращения: 03.04.2024).
14. Магомедов А.И. Интеллектуальная система управления траекторным движением морского подвижного объекта и классификации объектов. Морские интеллектуальные технологии 2024., № 2 часть 1. С. 208-218.

References:

1. Zadeh L.A. Fuzzy sets. Inform. Control, 1963; 8: 338-353.
2. Zadeh L.A. The concept of a linguistic variable and its application to making approximate decisions. - M.: Mir, 1976;168. (In Russ)
3. Mamdani E.H., Assilian S. A fuzzy logic controller for a dynamic plant. Int. J. Man-Machine Stud., 1975; 7:1-13.
4. <https://neuronus.com/theory/fl/308-nechetkie-vyvody.html>
5. Asai K., Watada D., Iwai S., etc. Applied fuzzy systems : trans. from jap. M. : Mir, 1993. (In Russ)
6. Magomedov I. A. Mathematical and hardware support for logical and linguistic control models of complex dynamic objects / I. A. Magomedov, G. H. Irzaev. – Makhachkala : Typography FORMAT, 2022; 159. ISBN 978-5-907484-61-0. – EDN SCTFFI. (In Russ)
7. Asai K., Watada D., Iwai S., etc. Applied fuzzy systems : trans. from jap. M. : Mir, 1993. (In Russ)
8. R. Mochalov, A. Khudov, A. Yazev. Automation of the network of gas distribution stations based on the software and hardware complex "KaskadSAU". STA 2/2008: 36-45(In Russ)
9. <https://www.cta.ru/articles/cta/otrasli/neftegazovaya-promyshlennost/125021/>
10. <https://vega-gaz.ru/Products/saugrsriusgrs>
11. https://newgaztech.ru/upload/files/catalog_file/7b24e7e1589942d24b94aa33cf8f029b.pdf
12. <https://makhachkala.lcbit.ru/blog/chto-takoe-scada-sistema/>
13. Maksimova, E. A. The use of SCADA technologies in modern automated control systems / E. A. Maksimova, S. N. Gritsyuk. -Text : direct. *Young scientist*. 2015;22.5(102.5):45-48. - URL: <https://moluch.ru/archive/102/23624/> (date of access: 04/03/2024). (In Russ)
14. Magomedov A.I. Intelligent trajectory control system for a marine mobile object and object classification. *Marine Intelligent Technologies* 2024; 2(1): 208-218 (In Russ)

Сведения об авторах:

Магомедов Алигаджи Исаевич, аспирант кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем; AG_Magomedov94@mail.ru

Магомедов Иса Алигаджиевич, кандидат технических наук, доцент кафедры управления и информатики в технических системах и вычислительной техники; misa1949@mail.ru

Усманов Майрбек Ширванович, начальник производственного отдела метрологического обеспечения; adm@grozny-tr.gazprom.ru

Information about authors:

Aligadzhi I. Magomedov, Post-graduate Student, Department of Software Engineering and Automated Systems; AG_Magomedov94@mail.ru

Isa A. Magomedov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof.; Department of Control and Informatics in Technical Systems and Computer Engineering; misa1949@mail.ru

Mayrbek Sh. Usmanov, Head of the Production Department of Metrological Support; adm@grozny-tr.gazprom.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 19.04.2024.

Одобрена после рецензирования/ Reviced 20.05.2024.

Принята в печать/Accepted for publication 20.05.2024.