

УДК 621.527:621.576

УПРАВЛЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

*Живица Ю.В., асп., Онищенко О.А., к.т.н., доц.**Одесская государственная академия холода**65082, г. Одесса, ул. Дворянская, 1/3**E-mail: olegoni@mail.ru*

Обговорені особливості технологічних режимів та переваги використання нечіткої логіки при керуванні процесом обробки рідкого аміаку в холодильній установці Одеського припортового заводу.

Ключові слова: нечітка логіка, керування, холодильна установка.

Possibilities of fuzzy logic to control liquid ammonia technological processing in powerful refrigeration unit at the Odessa port plant have been determined and discussed.

Key words: fuzzy logic, control, refrigeration plant.

Введение. Объектом исследований и реализации результатов работы является холодильная установка цеха перегрузки аммиака Одесского припортового завода (ОПЗ). На заводе, в составе комплекса по перегрузке аммиака, эксплуатируется крупная низкотемпературная аммиачная холодильная установка трехступенчатого сжатия. Она предназначена для обеспечения технологических режимов приема в емкости жидкого аммиака общим массовым расходом до 500 т/ч из аммиакопровода Тольятти-Горловка-Одесса и из железнодорожных цистерн. Принимаемый аммиак охлаждается от температуры окружающей среды (близкой к температуре грунта, в котором проложены трубопроводы) до температуры насыщения аммиака при давлении, практически равном атмосферному, что соответствует температурному уровню минус 33 °С, и далее направляется на хранение в четыре изотермических резервуара, работающих под небольшим избыточным давлением (около 450 мм водяного столба). Максимальная емкость загрузки всех четырех хранилищ жидкого аммиака составляет 120 тысяч тонн. Давление жидкого аммиака, составляющее в аммиакопроводе примерно 2 МПа, при его приемке на хранение понижается за счет трехступенчатого дросселирования с промежуточным отбором балластного пара до давления, которое, как отмечено, близко к атмосферному. В дальнейшем аммиак загружается в охлажденном жидком виде в специализированные суда-газовозы на химическом терминале порта Южный Одесской области для отправки за рубеж. Столь сложные технологические решения приняты с целью обеспечения безопасности при накоплении и хранении жидкого аммиака в больших количествах.

Анализ предыдущих исследований. В составе холодильной установки комплекса перегрузки находятся два центробежных компрессора трехступенчатого сжатия, каждый из которых приводится в движение газотурбинным двигателем (ГТД) номиналь-

ной мощностью 16 МВт, способных обеспечить прием до 400 т/ч жидкого аммиака. Два других центробежных компрессора трехступенчатого сжатия, также находящиеся в составе установки, имеют меньшую производительность, и каждый из них способен обеспечивать прием 125 т/ч жидкого аммиака. Они выполняют вспомогательную функцию и имеют привод от синхронных электродвигателей мощностью 4,47 МВт каждый. Система конденсации установки включает в себя 78 параллельно подключенных секций воздушных конденсаторов, суммарной площадью около 3000 м². Тепловая нагрузка на конденсаторы, в зависимости от количества принимаемого аммиака, в летний период достигает 60 МВт. К холодильной установке предъявляется основное требование - обеспечить заданное значение температуры безопасного хранения жидкого аммиака на уровне минус 33 °С при самых различных возмущающих воздействиях, таких как скачкообразное изменение нагрузки при сливе жидкого аммиака из железнодорожных цистерн, суточных и сезонных изменениях температуры окружающей среды, попадания в систему неконденсирующихся газов и других. Цикл холодильной установки показан на рис. 1.

Выполнение указанных требований связано с созданием условий для безопасной эксплуатации хранилищ жидкого аммиака, которые принципиально не рассчитаны на работу под вакуумом или при существенном избыточном давлении. Отсюда следует, что основными параметрами для системы управления холодильной установкой являются температура хранения (давление насыщения) и скорость ее изменения. В настоящее время в цехе используются две рабочих станции:

1. ССС - контролирует параметры двух газотурбинных двигателей и управляет ими, учитывая давление в хранилищах и показатели работы всех ступеней двух компрессоров высокой мощности, скорость опроса датчиков составляет 5 Гц.

2. Honeywell - контролює все остальне обладнання, швидкість опроса – 0,5 Гц, загальне число контролюваних параметрів становить більше 5700.

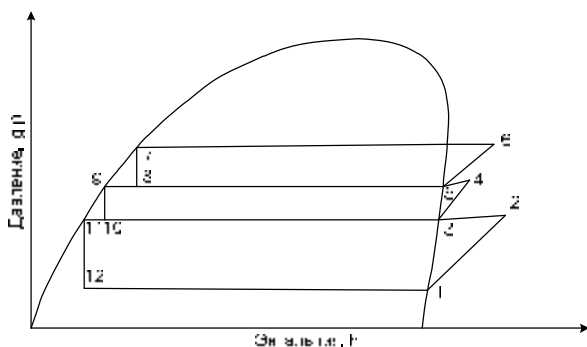


Рисунок 1 – Цикл холодильної установки цеха перегрузки амміака ОПЗ: трьохступенчате стиснення 1-2, 3-4, 5-6; процес в конденсаторі 6-7; трьохступенчате дроселювання 7-8, 9-10, 11-12; процес в хранилищі 12-1

Процес виявлення можливого порушення і видачі повідомлення про нього (включаючи можливу причину і рекомендації по його усунуванню) здійснюється за часом, недостатнім для розвитку аварії, і оператор холодильної установки має можливість оцінити ступінь важливості симптому порушення і прийняти рішення - слідувати чи отриманим від системи управління рекомендаціям по його усунуванню або проігнорувати їх, прийнявши самостійне рішення. Досвід експлуатації показує, що при різких скачках навантаження, при суточних і сезонних змінах температури навколишнього середовища в системі регулювання температури виникають слабозатухаючі коливання, описувані полігармонічною функцією з великим періодом. При цьому зростає тиск конденсації і відбувається суттєвий перерасход енергії. Колебательний процес усувається операторами шляхом перемикання системи управління в ручний режим. Зростаючі вимоги до екологічної безпеки і енергетичної ефективності вимагають створення систем, що забезпечують суттєве покращення якості процесів управління технологічними режимами холодильної установки.

Ціль роботи – удосконалення процесів стабілізації режимів холодильної установки ОПЗ з використанням алгоритмів нечіткої логіки.

Матеріал і результати дослідження. Для удосконалення процесів стабілізації режимів холодильної установки ОПЗ розглянемо можливості управління, засновані на принципах нечіткої логіки. Такий підхід добре узгоджений з логічною системою обробки інформації "нечітка логіка" (fuzzy logic), застосовуваною в нечітких логічних регуляторах (НЛР) і має переваги порівняно з використанням PID-регуляторів при управлінні дуже складними процесами, які мають місце в розглянутій установці ОПЗ, не-

лінейними системами високих порядків, обробці експертних (лінгвістически сформульованих) даних. Відомо, що нечітке управління має певні властивості грубості [1, 2], причому невелике число правил НЛР надає покращені властивості узагальнення. Слід зауважити, що з метою забезпечення сумісності обладнання, а також перспектив його модернізації, технічна реалізація НЛР повинна відповідати стандарту МЭК ІЕС 61131-7 (Part 7. Fuzzy logic standartization), пред'являемому, в тому числі і к програмуваним контролерам. Цей стандарт вводить типові, дуже обмежені, закони опису елементів нечіткого управління на мові програмування контролерів, зафіксованих ІЕС 61131-3. Для аналогових об'єктів управління, це, в основному, мова Function Block Diagram (FBD). Стандартом визначаються модель і функціональні елементи НЛР: розмиття (fuzzification), зворотне ущільнення (defuzzification), виробляючі правила по алгоритму послідовних операцій об'єднання (aggregation), активації (activation), накоплення (accumulation), визначаються команди родового мови Fuzzy Control Language (FCL) для розробки нечітких систем управління.

Виконання вимог стандарту ІЕС 61131-7 різко обмежує дуже різноманітні, теоретично можливі, рішення по створенню НЛР, тим самим помітно спрощає задачу технічної реалізації і сумісності конкретного НЛР.

Як відомо, нечітка логіка оперує не цифровими, а лінгвістическими поняттями. Системи управління з НЛР функціонують по наступному принципу: дані вимірних пристроїв фазифікуються (переводяться в нечіткий формат), обробляються, дефазифікуються і потім в формі звичайних аналогових або цифрових сигналів подаються на виконавчі пристрої. Таким чином, ключовими при нечіткому управлінні є фазифікація – перетворення множини значень аргумента (x) в певну функцію належності M(x), т.е. перетворення значень (x) в нечіткий формат і дефазифікація – процес зворотної фазифікації.

Розглянемо особливості управління холодопродуктивністю установки з використанням НЛР. Потрібна холодопродуктивність установки визначається різницею між реальною температурою рідкого амміака і температурою, яку необхідно отримати (температура уставки). Ця змінна лінгвістически сформульована як "різниця температур" і приймає значення "мала", "середня" і "велика". Естетично, чим більше різниця температур в даний момент часу, тим більше повинна бути холодопродуктивність. Другу лінгвістическу змінну визначимо, як "швидкість зміни температури в хранилищі", якій також надамо лінгвістическі значення "мала", "середня" і "велика". По мірі наближення температури рідкого амміака к

температуре уставки скорость изменения температуры в хранилище и холодопроизводительность установки будут снижаться. Холодопроизводительность - выходная переменная, которой присваиваются лингвистические переменные: “очень малая”, “малая”, “средняя”, “большая” и “очень большая”.

Установленная связь между входами и выходом занесена в табл. 1.

Таблица 1 – Нечеткие правила

“Скорость изменения температуры”	“Разность температур”		
	Малая	Средняя	Большая
Малая	Очень малая	Малая	Средняя
Средняя	Малая	Средняя	Большая
Большая	Средняя	Большая	Очень большая

Каждая ячейка таблицы соответствует своему нечеткому правилу, например, если разность температур средняя, а скорость изменения температуры большая, то холодопроизводительность должна быть большая.

Построим две треугольные функции принадлежности. В одном случае аргументом является разность температур (Δt) (рис. 2), которая задается техническим регламентом и не должна превышать 6°C , а во втором – скорость изменения температуры насыщения жидкого аммиака (V_1) (рис. 3), которая при любом переходном процессе, с точки зрения обеспечения техники безопасности хранения для заданного диапазона температур, не должна превышать $0,05^\circ\text{C}/\text{мин}$, что по давлению насыщения соответствует его скорости изменения до $4\text{ кПа}/\text{мин}$.

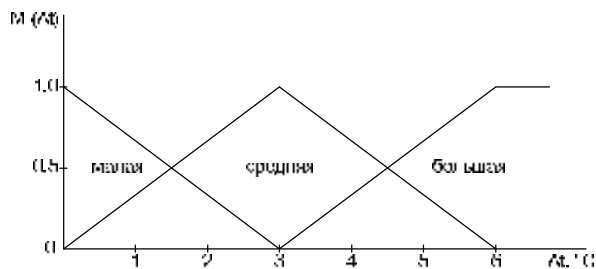


Рисунок 2 – Функция принадлежности для лингвистического аргумента “разность температур”

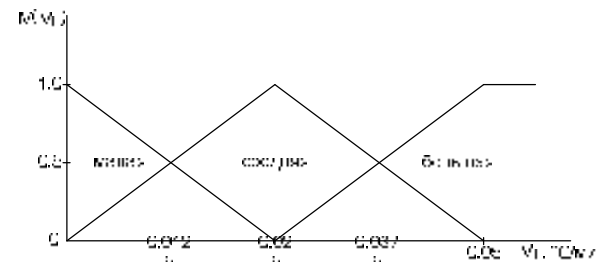


Рисунок 3 – Функция принадлежности для лингвистического аргумента “скорость изменения температуры”

Результат совместного влияния этих двух функ-

ций принадлежности $M_{\Sigma} = f[M(\Delta t), M(V_1)]$ на значение выходного параметра “холодопроизводительность” определяется соответствующей программой НЛР. Понятно, что холодопроизводительность установки прямо пропорциональна положению регулятора производительности компрессора, плавно меняющего ее от 10 % до 100 % номинальной величины с соответствующим изменением потребляемой мощности. Теперь можно построить зависимость результирующей функции принадлежности M_{Σ} от производительности компрессора в процентах, придав лингвистическим термам “производительность компрессора” - (Q_{KM}) с рангом 1,0 следующие значения (рис. 4): очень малая – 10 %; малая – 33 %; средняя – 55 %; большая – 78 %; очень большая – 100 %. Таким образом, найдя лингвистическим методом суммарную функцию принадлежности, после дефаззификации можно перейти к четкому значению выходного параметра – производительности компрессора в процентах или холодопроизводительности всей установки (рис. 4).

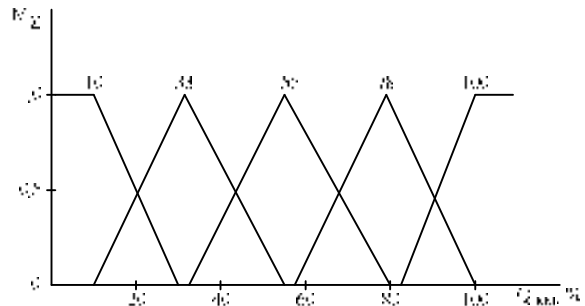


Рисунок 4 – Зависимость параметра “производительность компрессора” - (Q_{KM}) от значения суммарной функции принадлежности

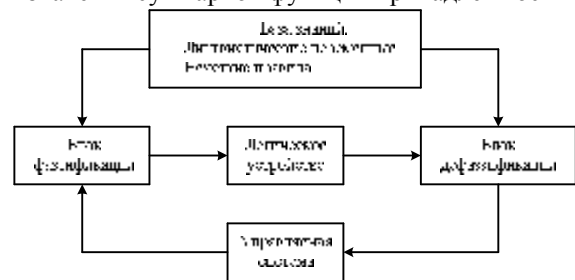


Рисунок 5 – Блок-схема контроллера, реализующего нечеткую логику управления производительностью установки ОПЗ

Контроллер, реализующий нечеткое логическое управление, содержит в своем составе классические составные части (рис. 5), описываемые стандартом ИЕС61131-7. Блок фаззификации преобразует четкие величины, измеренные на выходе объекта управления, в нечеткие величины, описываемые лингвистическими переменными. Логическое устройство использует нечеткие условные правила, определяемые базой данных, для преобразования нечетких входных данных в управляющие воздействия, которые также носят нечеткий характер. Блок дефаззификации преобразует нечеткие данные с выхода блока

решений в четкую величину, которая используется для управления холодопроизводительностью. В системе управления "fuzzy logic" температура уставки задана и является величиной постоянной, текущие значения температуры жидкого аммиака в хранилище и другие параметры отслеживаются существующей подсистемой компьютерного мониторинга всего комплекса.

Существующая программно-аппаратная часть системы управления производительностью установки позволяет реализовывать практически любые алгоритмы управления, в том числе и нечеткие.

Отметим, что реализация НЛР в локальных системах управления может быть как аппаратной, так и программной, причем контроллеры с поддержкой многих стандартизованных МЭК команд нечеткой логики выпускают Siemens, Fuji Electric, Motorola, Intel, Yokogawa, Klockner-Moeller, Rockwell Automation, Allen-Bradley и другие известные фирмы. Несмотря на то, что НЛР может быть успешно реализован и на базе универсальных, имеющих достаточный набор функций, контроллеров, очень перспективна реализация НЛР на базе специализированных нечетких (Fuzzy Chips) интегральных микросхем и нечетких (Fuzzy Processors) процессоров: Adaptive Logic, OMRON FP-3000, 68HCxx, MCS-96, TOGAI-Infra Logic F110, FUZZY-166. Такие микросхемы легко интегрируются в существующие системы управления и, имея сравнительно невысокую цену, обладают высокой надежностью.

С целью проверки работоспособности описанного подхода в среде Matlab R2008a [3, 4] было проведено сравнительное моделирование системы управления установкой с PID-регулятором и НЛР в условиях, когда возмущающие параметры (температура конденсации и тепловая нагрузка) отклонялись от номинальных, примерно, на 20 %. При сравнении с аналогичными условиями функционирования системы с PID-регулятором установлено, что колебания температуры в системе с НЛР затухают быстрее на 15...20 % с перерегулированием, не превышающем 10 %. Поскольку при работе системы с НЛР поддерживаемая температура в хранилище находится

на допустимом безопасном уровне, нет необходимости переходить в ручной режим управления. Благодаря повышению качества процессов стабилизации снижен риск разрушения резервуаров хранилища, а энергопотребление быстрее приводится в соответствие с нормативными значениями.

Выводы. 1. Управление холодопроизводительностью мощной холодильной установки ОПЗ с применением НЛР обеспечивает:

– целенаправленное регулирование температуры, стабилизирующее ее в соответствии с техническим регламентом при отсутствии резких перепадов температур в хранилище и поддержание допустимой скорости изменения температуры;

– обоснованное значение необходимой холодопроизводительности установки и выбор режима работы холодильного компрессора, исходя из текущего значения температуры, и, при необходимости, других параметров хранилища;

– выбор оптимального перераспределения нагрузки между параллельно работающими компрессорами;

– минимизацию времени выхода на заданный режим при уменьшении расхода электроэнергии, примерно, на 2...4%.

2. Применение НЛР для управления холодильной установкой ОПЗ требует дополнительной экспериментальной проверки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976.

2. Круглов В.В., Дли М.И. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода. – М.: Физматлит, 2002.

3. Леоленков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: ВHV, 2005.

4. Полинский М., Рутковский Л., Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. – М.: Горячая линия-Телеком, 2006.