

- чайных антенн // ИКТ. Т.10, №1, 2012. – С. 78-89.
3. Заседателева П.С., Маслов О.Н. Пространственно-частотные характеристики электромагнитного возбуждения комплекса случайных антенн // ИКТ. Т.10, №2, 2012. – С. 93-98.
 4. Бузов Г.А., Калинин С.В., Кондратьев А.В. Защита от утечки информации по техническим каналам. М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 416 с.
 5. Заседателева П.С., Маслов О.Н., Рябушкин А.В., Шашенков В.Ф. Принципы информационной защиты распределенных случайных антенн // ИКТ. Т.11, №2, 2013. – С. 69-78.
 6. Заседателева П.С., Маслов О.Н., Рябушкин А.В., Шашенков В.Ф. Анализ и моделирование сигналов в системе информационной защиты распределенной случайной антенны // ИКТ. Т.11, №2, 2013. – С. 78-87.
 7. Заседателева П.С., Маслов О.Н. Электромагнитная безопасность систем активной защиты информации // Биомедицинская радиоэлектроника. №6, 2013. – С. 22-38.
 8. Маслов О.Н. Безопасность корпорации: моделирование и прогнозирование внутренних угроз методом риска. Самара: Изд-во ПГУТИ-АЭРОПРИНТ, 2013. – 170 с.

THE PROCESS MODELING OF RESEARCH AND DEVELOPMENT OF ACTIVE INFORMATION PROTECTION SYSTEM

Zasedateleva P.S., Maslov O.N.

The article is concerned with process modeling of creating an active protection system (APS) of confidential information (CI). The logic diagram of development process APS of CI from leaking through random antenna (RA) is presented in the article.

Keywords: confidential information, outdoor environment leakage, random antennas active protection system.

Маслов Олег Николаевич, д.т.н, профессор, заведующий Кафедрой экономических и информационных систем (ЭИС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. 8-902-371-06-24. E-mail: maslov@psati.ru

Заседателева Полина Сергеевна, аспирант Кафедры ЭИС ПГУТИ. Тел. 8-927-717-11-71. E-mail: zasedateleva-ps@mail.ru

УДК 681.501:658.512

НЕЙРО-НЕЧЕТКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ ФЕРМЕНТАЦИОННОГО ПРОЦЕССА

Лубенцова Е.В., Володин А.А., Лубенцов В.Ф.

Разработан алгоритм управления на основе нейро-нечеткой (НН) технологии и исследована система управления выводом биореактора на заданный установившийся режим в условиях тепловыделения процесса ферментации. Приведены результаты моделирования НН-регулятора и оценка его эффективности по сравнению с традиционным пропорционально-интегрально-дифференциальным регулятором (ПИД-регулятором). Для разработки НН-регулятора температуры экзотермического процесса ферментации использована гибридная технология адаптивной НН системы заключений – ANFIS. Разработанный НН-регулятор обеспечивает требования к стабилизации температуры ферментационной системы при ограничении на управляющее воздействие. Результаты исследований показали, что внедрение предложенной системы позволит повысить точность поддержания заданной температуры относительно ПИД-регулятора на 2,1 % и снизить пиковый расход хладагента на 43%. При

этом обеспечивается робастность к возмущениям по температуре охлаждающей воды и компенсация тепловыделения процесса при ограничении на расход охлаждающей воды и при допустимых температурных рассогласованиях в системе при пиковом тепловыделении.

Ключевые слова: нейро-нечеткая система, стабилизация температуры, ферментационная система, биореактор.

Введение

Проблема автоматической стабилизации параметров технологических процессов является актуальной для сложных систем, в которых параметры не являются четко определенными и имеют место неконтролируемые возмущения. К таким системам относятся биотехнологические процессы ферментации. Основная трудность

управления процессом ферментации заключается в невозможности осуществить контроль и учесть непредвиденные изменения в широком диапазоне характеристик внешних и внутренних воздействий и свойств управляемого биосинтеза, а также в неполноте информации об этих характеристиках и свойствах в математической модели процесса. Ввиду сложности взаимодействия технологических показателей и выходных величин процесс ферментации недостаточно формализован. Управление таким процессом традиционными системами неэффективно, так как эти системы настраиваются только при разработке. Для эффективного управления процессом ферментации необходимо использовать интеллектуальную систему, которая позволяет адаптировать свои характеристики в соответствии с изменениями свойств объекта управления.

Одним из эффективных вариантов интеллектуальной системы являются НН системы управления. Такие системы отличаются от классических тем, что алгоритм их функционирования в начале работы не определен и полностью задается при их настройке путем обучения. По мнению экспертов, в ближайшие годы около 70% всех разработок по интеллектуальным системам будут основываться на нечеткой логике [1]. Современные НН системы обладают как адаптивностью методов нечеткой логики, учитывающих неопределенности моделирования и условия работы системы регулирования, так и возможностью обучения по заданному набору данных. Для системы стабилизации температуры экзотермического процесса ферментации выбрана гибридная технология адаптивной НН системы заключений (ANFIS) [2], обладающая по сравнению с другими методами высокой скоростью обучения, простотой алгоритма, возможностью реализации практически неограниченной базы знаний и полной проработанностью программного обеспечения [3].

Постановка задачи

Вопросы отвода тепла в ходе ферментационного процесса, протекающего со значительным тепловыделением в аппаратах большого объема (сотни и тысячи кубометров), являются очень важными в целом ряде биотехнологических производств. Технологические требования к скорости теплоотвода очень жесткие из-за узкого температурного оптимума роста микроорганизмов (2-3°C). Наиболее распространенный на практике способ теплоотвода – охлаждение водой через змеевики, рубашки, холодильники и др. устрой-

ства – осложняется небольшой разностью температур между содержимым биореактора (например, 32-39°C для дрожжей *Candida*, 25-27°C для антибиотиков, 32-30°C для лизина, 40-50°C для ферментов животного происхождения; для растительных ферментов 50-60°C) и охлаждающей водой (18-20°C), температура которой в жаркое время года еще выше. Повышение температуры до 80°C сопровождается полной потерей ферментами животного происхождения их каталитической активности.

В данной работе в качестве объекта управления рассмотрен биотехнологический процесс ферментации, протекающий в реакторе – ферментаторе непрерывного действия. Его кинетическая модель обоснована в публикациях [4-6]. Вопросы теплового эффекта при непрерывном размножении дрожжей и брожении исследованы рядом авторов с максимальной детализацией. В частности, в работе [7] исследован материальный баланс по многим факторам (выделение кислот, концентрации фосфора и прочее). В результате были получены теоретические зависимости теплового эффекта при брожении и размножении дрожжей самых разных видов. Как оказалось, удельный тепловой эффект при размножении дрожжей совершенно разных видов в пересчете на прирост биомассы оказался примерно одинаковым ($q_0 = 4,36$ кДж/г). С учетом этого для иллюстрации уровня тепловыделения в системе оценим, насколько разогреется за час 1 л раствора при полном отсутствии теплообмена в равновесных условиях. Количество теплоты, которое необходимо сообщить однородному телу, чтобы повысить его температуру на величину ΔT , равно [8]: $Q = c_p \cdot m \cdot \Delta T = c_p \cdot \rho \cdot V \cdot \Delta T$, где c_p – удельная теплоемкость, Дж/кг·град; m – масса тела, кг; ρ – плотность тела, кг/м³; V – объем тела, м³. Приняв при расчете плотность раствора и воды $\rho = 1$ кг/л, теплоемкость $c_p = 4200$ Дж/кг·град и удельную скорость роста микроорганизмов $\mu(\infty) = 4,35$ ч⁻¹, получим $q_0 \cdot \mu(\infty) = 4360 \cdot 4,35 = 4200 \cdot \Delta T$; $\Delta T = 4360 \cdot 4,35 / 4200 = 4,5^\circ\text{C}$. При пиковом размножении дрожжей разогрев будет более 10°C за час.

Скорость тепловыделения обычно связана с ростом микроорганизмов, а зависимость ее от температуры подобна зависимости удельной скорости роста от температуры [8]. В кинетических уравнениях для роста чаще всего полагают, что температура существенно влияет на максимальную удельную скорость роста микроорганизмов μ_m и в меньшей степени на константы уравнений [8]. На основе зависимости μ_m от температуры T вида [8]

$$\mu_m(T) = \mu_{m0} e^{-\frac{(T-T_0)^2}{d}}$$

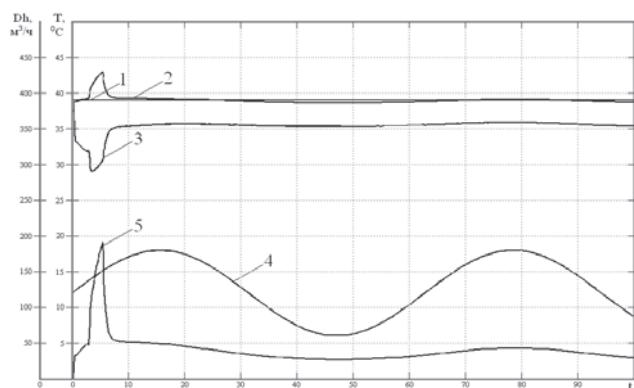
при $T_0 = 39^\circ\text{C}$, $\mu_{m0} = 0,34 \text{ ч}^{-1}$, $d = 500$ можно получить, что при отклонении температуры на 10°C от оптимальной имеем падение скорости роста микроорганизмов примерно на 20%. Реально зависимость роста микроорганизмов от температуры имеет экстремальный характер при достаточно узком температурном оптимуме. Поэтому поддержание оптимального температурного оптимума роста культуры требует построения качественной системы стабилизации температуры с учетом особенностей системы охлаждения биореактора.

К системе охлаждения биореактора при культивировании дрожжей *Candida* предъявляются следующие требования: во-первых, температура процесса биосинтеза в момент пикового размножения и тепловыделения не должна превышать 55°C ; во-вторых, рабочая температура в реакторе должна быть равна $(39 \pm 0,5)^\circ\text{C}$; в-третьих, расход охлаждающей воды через холодильник в момент пикового тепловыделения не должен превышать допустимый рабочий расход в номинальном режиме, равный $(100 \pm 15 \text{ м}^3/\text{ч})$; в-четвертых, наряду с компенсацией тепловыделения процесса микробиологического синтеза, система должна быть робастной к суточным и сезонным изменениям температуры охлаждающей воды.

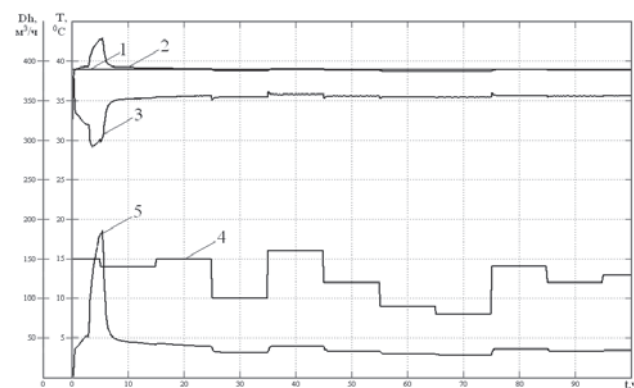
На рис. 1 приведены графики изменения температур и расхода хладагента при синусоидальном и ступенчатом возмущении по температуре охлаждающей воды на входе в холодильник в системе регулирования с ПИД-регулятором, имеющим передаточную функцию $W(p) = K_p + K_u \frac{1}{p} + T_d p$. Как видно из рис. 1, традиционный ПИД-регулятор в недостаточной степени компенсирует резкое повышение температуры в начальный момент тепловыделения экзотермического процесса ферментации даже при отсутствии ограничения на расход хладагента. Анализ переходных процессов показывает, что максимальный выбег по температуре составляет 43°C , а по расходу хладагента – $200 \text{ м}^3/\text{ч}$, что превышает допустимый в 2 раза. Последнее практически неосуществимо, поэтому задачей регулирования является уменьшение расхода до величины $100 \pm 15 \text{ м}^3/\text{ч}$ без существенного возрастания температуры в момент пикового тепловыделения. С другой стороны, отметим, что в данном случае не столь критична максимальная температура в ре-

акторе. Отметим также, что допустимо повышение температуры воды в холодильнике в момент пикового тепловыделения до 36°C .

Целью управления является вывод объекта управления на заданный температурный режим при значительном тепловыделении с последующей стабилизацией температуры среды в реакторе, наиболее благоприятной для роста и развития микроорганизмов. Наиболее ответственным с точки зрения кинетики процесса является момент запуска процесса ферментации, поскольку на данном этапе происходит массовый рост микроорганизмов, сопровождающийся тепловыделением, связанным с их жизнедеятельностью.



а)



б)

Рис. 1. Переходные процессы в системе регулирования температуры в биореакторе с помощью ПИД-регулятора ($K_p = 3,8$; $K_u = 0,2 \text{ мин}^{-1}$; $T_d = 8,9 \text{ мин}$) при синусоидальном (а) и ступенчатом изменении температуры охлаждающей воды (б): 1 – задание требуемой температуры, 2 – температура жидкости в реакторе, 3 – температура хладагента, 4 – температура хладагента на входе, 5 – расход хладагента (Dh)

Превышение оптимальной температуры ферментации негативно сказывается на качестве конечного продукта процесса ферментации. Таким образом, при выводе ферментатора на установив-

шийся температурный режим необходимо исключить резкие температурные выбросы, нежелательные для процесса биохимического синтеза, обусловленные неконтролируемым тепловыделением биосинтеза. С точки зрения объекта управления внутреннее тепловыделение формально является внешним возмущением. В случае достаточно большого тепловыделения биосинтеза использование традиционной системы автоматического управления с релейным или ПИД-регулятором неприемлемо, поскольку не удастся без перерегулирования достичь заданную температуру среды и не допустить перегрев среды в биореакторе.

В настоящее время для преодоления трудностей, которые значительно усложняют задачу синтеза систем управления процессами и нелинейными объектами, функционирующими в условиях неопределенности, применяется аппарат нечеткой (fuzzy) логики (НЛ) и нейронных сетей (НС) [9]. Комбинирование аппаратов НЛ и НС позволяет использовать преимущества каждой из методик. Нечеткие системы логического вывода позволяют дать понятную интерпретацию выполняемых действий, но не способны обучаться, то есть производить автоматическую настройку параметров функций принадлежности. В противоположность им НС могут настраивать свои параметры (весовые коэффициенты), но реализуемые ими функции не поддаются понятной интерпретации. Поэтому самым эффективным способом комбинирования НЛ и НС являются НН системы. Наиболее распространенной архитектурой НН систем являются адаптивные НН системы вывода – ANFIS. В данной работе на базе структуры ANFIS рассмотрим задачу построения системы управления нелинейным динамическим объектом – биореактором непрерывного действия, функционирующим в установившемся и неустановившемся режимах.

Решение задачи и результаты моделирования систем

Для реализации алгоритма нечеткого логического вывода, эффективно применяемого в нейро-нечетких системах управления динамическими объектами, функционирующих по принципу регулятора, необходимо оценить приближенно, то есть нечетко: какие потоки необходимы на выходе и какая температура воды должна быть в холодильнике. Для этого проведем эксперимент: разбалансируем ПИД-регулятор так, чтобы пиковый расход хладагента был равен примерно $100 \text{ м}^3/\text{ч}$.

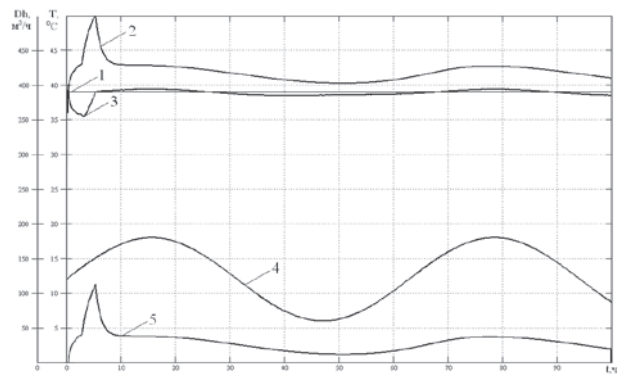


Рис. 2. Переходные процессы в системе регулирования температуры с использованием ПИД-регулятора ($K_p = 1,0$; $K_n = 0,2 \text{ мин}^{-1}$; $T_d = 8,9 \text{ мин}$): 1 – заданное значение температуры, 2 – температура в реакторе, 3 – температура хладагента, 4 – температура хладагента на входе, 5 – расход хладагента (Dh)

Далее уменьшив пропорциональную составляющую ПИД-закона регулирования в 3,8 раза и получим переходные процессы в системе, представленные на рис. 2.

Из рис. 2 следует, что пиковый расход хладагента уменьшился, температура в холодильнике повысилась до 36°C , температура в реакторе достигла 50°C , но не превысила предельно допустимую 55°C . Однако стабилизация температуры на заданном уровне 39°C после пикового потока не достигается. Имеют место колебания температуры с амплитудой $\Delta T = 1,25^\circ\text{C}$, продолжительность которых необходимо сокращать, так как при длительных переходных процессах возможно замедление роста клеток и снижение количества получаемой биомассы [10].

С использованием экспериментальных данных построим НН-регулятор, обеспечивающий вывод биореактора на установившийся режим с последующей стабилизацией температуры на заданном уровне с воздействием на расход воды в холодильнике. При реализации модели нейро-нечеткого регулятора возникает необходимость определения числа входных и выходных нечетких переменных, числа лингвистических правил и нечетких множеств, числа термов соответствующих нечетких и лингвистических переменных и т.п., обеспечивающих достаточную точность реализации модели процессов моделирования и управления [11].

В данной работе на базе редактора Simulink была разработана и построена математическая модель НН системы автоматического управления режимом охлаждения процесса ферментации в среде MatLab с помощью графических средств пакета Fuzzy Logic Toolbox [2; 9]. Для учета в

законе управления изменяющихся во времени переменных, влияющих на процесс управления, зададим в *fis*-редакторе (*fuzzy inference system*) систему Сугено с двумя входами: температура в реакторе – *T* (см. рис. 3а), температура хладагента на входе – *Th* (см. рис. 3б) и одним выходом – расход хладагента *Dh* (см. рис. 4).

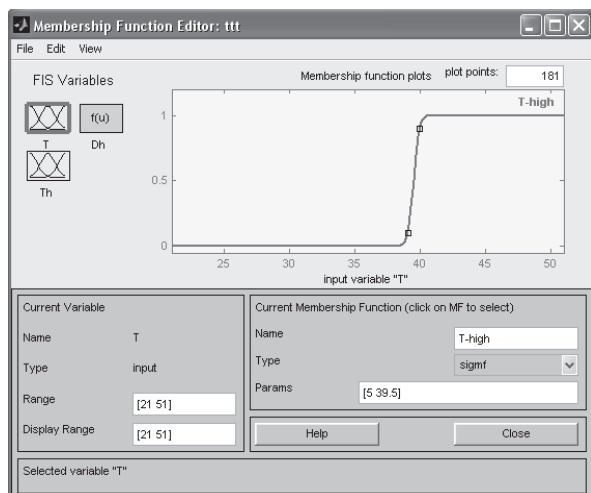
База знаний такой системы содержит три нечетких правила «если-то» типа Такаги-Сугено:

П1: Если $T = A_1$ и $Th = B_1$, то $Dh = p_1 T + q_1 Th + r_1$;

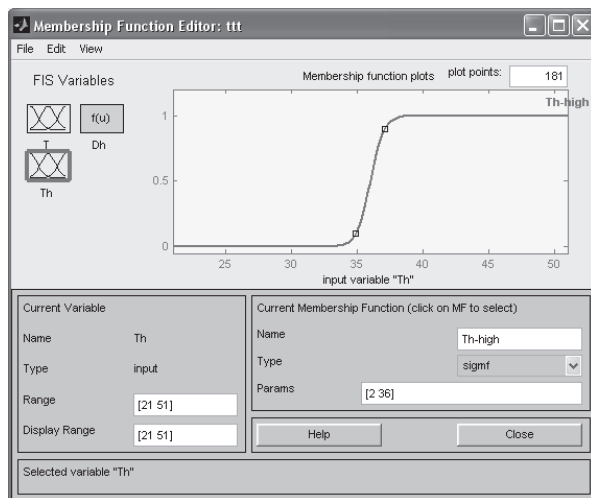
П2: Если $T = A_2$ и $Th = B_2$, то $Dh = p_2 T + q_2 Th + r_2$;

П3: Если $T = A_3$ и $Th = B_3$, то $Dh = p_3 T + q_3 Th + r_3$,

где *T*, *Th* – входные переменные; *Dh* – выход системы; $A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3$ – некоторые нечеткие множества с функциями принадлежности сигмоидного типа; p_i, q_i, r_i – константы с номерами $i = 1; 2; 3$.



а)



б)

Рис. 3. Задание функций fuzzy-регулятора: а) по входу *T*; б) и входу *Th*

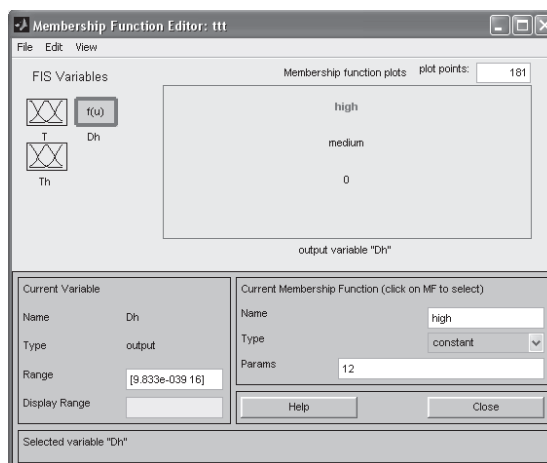


Рис. 4. Задание функций fuzzy-регулятора

Зададим функции принадлежности входов (см. таблицу 1). Приняв коэффициенты $p_i = q_i = 0$, зададим по выходу три функции-константы: $high = 12$, $medium = 8$ и $0 = 0$. При этом исходим из следующих соображений: высокая температура более $36^\circ C$ – это температура, полученная при разбалансировке ПИД-регулятора; более высокий коэффициент по входу *T* должен обеспечить регулирование в первую очередь температуры в реакторе; константа $high = 12$ – это максимально возможный расход хладагента.

Таблица 1. Параметры fuzzy-регулятора по Сугено

Вход	Функция принадлежности	Диапазон	Смысл: степень принадлежности к ...
<i>T</i>	$T-high = \text{sigmf}(T, [5 \ 39.5])$	[21 51]	тому, что в реакторе высокая температура
<i>h</i>	$Th-high = \text{sigmf}(x, [2 \ 36])$	[21 51]	тому, что в холодильнике высокая температура

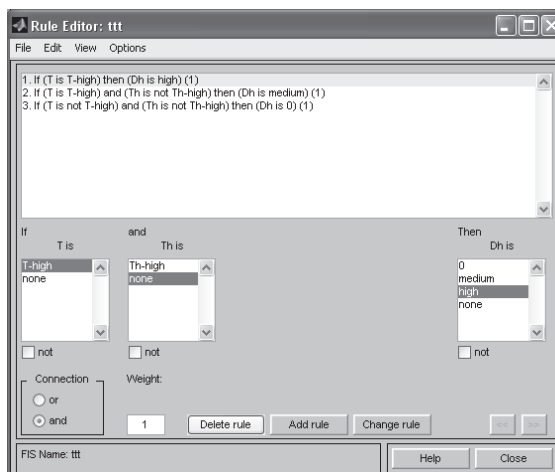


Рис. 5. Фрагмент списка правил нечеткого регулятора по выходу *Dh*

Зададим следующую базу правил:

1. Если температура в реакторе высокая (функция принадлежности T-high близка к 1), то поток Dh высокий (is high).
2. Если температура в реакторе высокая, а температура в холодильнике невысокая, то поток Dh средний (is medium).
3. Если температура в реакторе невысокая и температура в холодильнике невысокая, то поток Dh = 0.

Фрагмент списка правил формулирования выходных данных (управляющего сигнала) представлен на рис. 5.

Результат работы нечеткого регулятора, представленного файлом ttt.fis, по генерированию выходного сигнала (управляющего воздействия) показан на рис. 6. Поверхность отклика системы представлена на рис. 7.

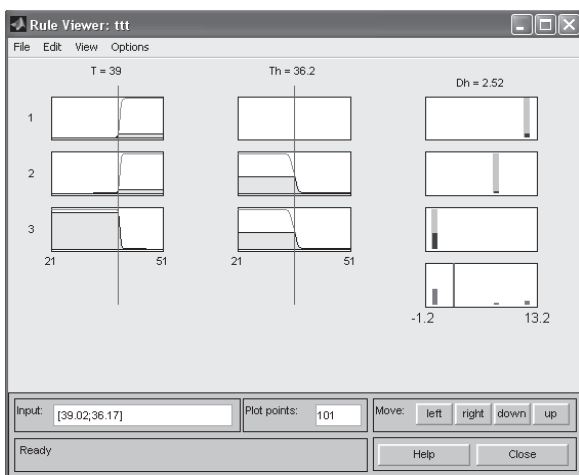


Рис. 6. Результат работы нечеткого регулятора системы от входов

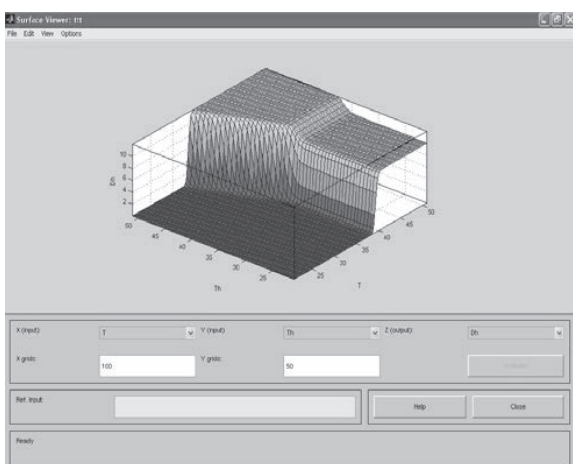
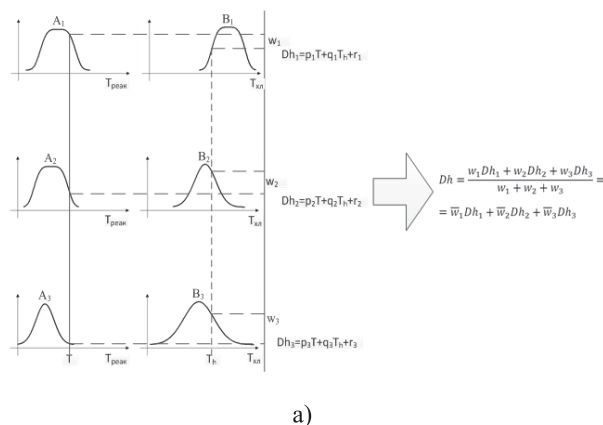


Рис. 7. Поверхность зависимости управляющего сигнала

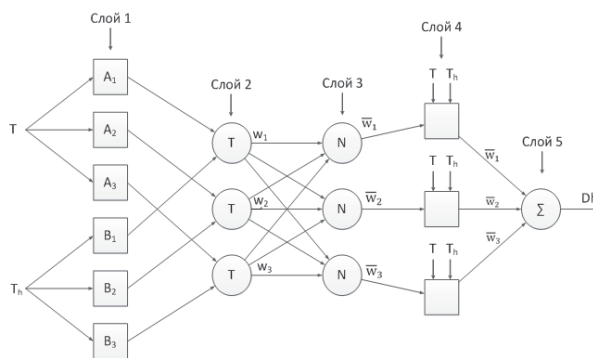
Для исследуемой нейро-нечеткой системы, имеющей два входа T, Th и один выход Dh, нечеткие рассуждения показаны на рис. 8а, а соответ-

ствующая эквивалентная ANFIS архитектура – на рис. 8б.

ANFIS реализует систему нечеткого вывода Сугено в виде пятислойной НС прямого распространения сигнала. Назначение слоев следующее: первый слой – термы входных переменных; второй слой – antecedentes (посылки) нечетких правил; третий слой – нормализация степеней выполнения правил; четвертый слой – заключения правил; пятый слой – агрегирование результата, полученного по различным правилам. Входы сети в отдельный слой не выделяются. Узел первого слоя представляет терм с колоколообразной функцией принадлежности. Каждый терм сети соединен с входом сети. Выходом узла являются степень принадлежности значения входной переменной соответствующему нечеткому терму.



а)



б)

Рис. 8. Нечеткие рассуждения (а) и эквивалентная ANFIS-структура (б)

Проведем обучение сети. В ANFIS имеется возможность провести обучение сети гибридным (комбинированным) методом и при помощи алгоритма обратного распространения ошибки. Для обучения ANFIS-сети могут быть применены типовые процедуры обучения нейронных сетей, так как в ней используют только дифференцируемые функции. Обычно применяется комбинация градиентного спуска в виде алгоритма обратного распростране-

ния ошибки и метода наименьших квадратов. Вначале обучим сеть при помощи алгоритма обратного распространения ошибки. После 3000 эпох обучения получена ошибка обучения $\delta = 2,52 \cdot 10^{-3}$. Теперь проведем обучение сети гибридным методом обучения. По результатам обучения можно сделать вывод, что гибридный метод осуществляет обучение сети за число эпох $N = 130$, то есть в 23 раза меньшее, чем алгоритм обратного распространения ошибки. После 37 эпох ошибка обучения составила $\delta = 0,93 \cdot 10^{-4}$, то есть в 2,7 раза меньше, чем при обучении алгоритмом обратного распространения ошибки. Поэтому для обучения сети в работе был использован гибридный метод.

При построении НН сети важен выбор функции принадлежности (ФП). В ходе исследований установлено, что двухсторонняя гауссовская ФП (gauss2mf) обеспечивает наименьшую ошибку обучения сети δ , равную $3,28 \cdot 10^{-3}$, при числе эпох $N = 140$ по сравнению с симметричной гауссовской ФП (gaussmf), дающей ошибку $\delta = 6,08 \cdot 10^{-3}$ при числе эпох $N = 125$, и по сравнению с трапециевидной ФП (trampf), дающей наибольшую ошибку обучения сети $\delta = 0,1375$ при числе эпох $N = 4$. Поэтому в работе использована двухсторонняя гауссовская ФП gauss2mf.

Анализ переходных процессов в нейро-нечеткой системе управления (см. рис. 9) показывает, что максимальный расход хладагента не превышает допустимый $115 \text{ м}^3/\text{ч}$, а качество стабилизации температуры в рабочем интервале не ухудшилось. При этом пиковая температура в реакторе возросла совсем незначительно с 43 до 47°C , что практически вполне допустимо. Причем на участке с тепловыделением имеет место близкое к прямоугольному импульсу управляющее воздействие, что положительно будет сказываться и на других участках рабочего интервала регулирования температуры при компенсации возникающих резких температурных рассогласований.

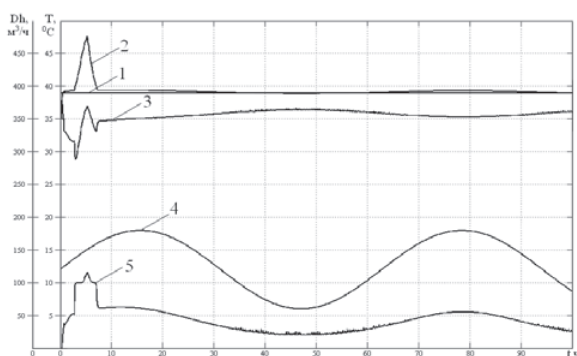


Рис. 9. Переходные процессы в системе регулирования температуры с НН регулятором: 1 – задание требуемой температуры, 2 – температура жидкости в реакторе, 3 – температура хладагента, 4 – температура хладагента на входе, 5 – расход хладагента (Dh)

Заключение

Разработанная НН система обеспечивает требования к управлению и стабилизации температуры в биореакторе с учетом ограничения на управляющее воздействие. Сравнительный анализ динамики САУ с ПИД-регулятором и НН-регулятором показал, что внедрение разработанной системы позволит повысить точность поддержания заданной температуры относительно ПИД-регулятора на 2,1%; снизить пиковый расход хладагента на 43% и уменьшить время вывода объекта управления на установившийся режим на 11,2%. При этом обеспечивается робастность к возмущениям по температуре охлаждающей воды и компенсация тепловыделения процесса при ограничении на расход охлаждающей воды и при наличии допустимых температурных рассогласований в системе. Особенностью алгоритма управления на основе системы ANFIS является возможность корректировки базы знаний нечеткого регулятора в случае необходимости учета схемно-режимных условий системы охлаждения реакторов-ферментаторов разных типов (с рубашкой для охлаждения, со змеевиками и пр.).

Литература

1. Мелихова О.А. Нечеткие интеллектуальные системы // <http://pitis.tsure.ru/files5/09.htm>
2. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
3. Jang J.S.R. ANFIS: Adaptive network based fuzzy inference systems // IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics. 23 (03), May 1993. – P. 665-685.
4. Kumar G.P., Subrahmanya J.V.K., Chidambaram M. Periodic operation of a bioreactor with input multiplicities // Can. J. Chem. Eng. №71, 1993. – P. 766-770.
5. Гордеева Ю.Л. Моделирование оптимальных условий биосинтеза // Программные продукты и системы. №3, 2011. // <http://www.swsys.ru/index.php?page=article&id=2840>.
6. Володин А.А., Лубенцова Е.В. Выбор критерия эффективности и оптимальных условий управления и моделирования процесса биосинтеза // Фундаментальные исследования. №11, Ч.1, 2012. – С. 109-115.
7. Яровенко В.Л., Ровинский Л.А. Моделирование и оптимизация микробиологических процессов спиртового производства М.: Пищевая промышленность, 1978. – 237 с.
8. Бирюков В.В. Основы промышленной биотехнологии. М.: КолосС, 2004. – 296 с.

9. MATLAB Fuzzy Logic Toolbox User's Guide. The MathWorks, Inc., 2008. – 333 p. //http://www.nauka-shop.com/mod/shop/product ID/30497/
10. Харитонов Л.Ю. Закономерности процесса культивирования аэробных микроорганизмов в одно- и двухсекционном биореакторе
11. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. М.: Бином, 2009. – 798 с.

NEURO-FUZZY CONTROL SYSTEM FOR TEMPERATURE CONTROL FERMENTATION

Lubentsova E.V., Volodin A.A., Lubentsov V.F.

The algorithm of management on the basis of indistinct logic is worked out developed and the system of automatic stabilization of temperature of process of a fermentation in the bio-reactor of continuous action is investigated. Results of modeling of the fuzzy controller and assessment of its efficiency in comparison with the traditional proportional and integrated and differential regulator (PID-regulator) are given. For development of the regulator of stabilization of temperature of exothermic process of a fermentation the hybrid technology of adaptive neuro and indistinct system of the conclusions – ANFIS is used. The developed indistinct regulator provides requirements to stabilization of temperature of fermentative system at restriction on operating influence. Results of researches showed that introduction of the offered system will allow to increase the accuracy of maintenance of the set temperature concerning the PID-regulator for 2,1% and to cut a peak expense of a coolant on 43%. The robustness to indignations on temperature of cooling water and compensation of a thermal emission of process at restriction on a consumption of cooling water is thus provided and at admissible temperature mismatches in system at a peak thermal emission.

Keywords: neuro-fuzzy system, temperature stabilization, fermentative system, bioreactor.

Лубенцова Елена Валерьевна, к.т.н., доцент Кафедры информационных систем, электропривода и автоматики (ИСЭА) Северо-Кавказского федерального университета (СКФУ) – филиал Невинномысский технологический институт (НТИ). Тел. (8-865) 546-94-44. E-mail: lubenchov@nti.ncstu.ru

Володин Александр Андреевич, аспирант Кафедры ИСЭА СКФУ (филиал НТИ) Тел. (8-865) 546-94-44. E-mail: lubenchov@nti.ncstu.ru

Лубенцов Валерий Федорович, д.т.н., профессор Кафедры ИСЭА СКФУ (филиал НТИ) Тел. (8-865) 546-94-44; 547-17-32. E-mail: lubenchov@nti.ncstu.ru

ТЕХНОЛОГИИ РАДИОСВЯЗИ, РАДИОВЕЩАНИЯ И ТЕЛЕВИДЕНИЯ

УДК 621.376.9

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ С ИЗМЕНЯЮЩИМИСЯ ЧАСТОТНЫМИ СВОЙСТВАМИ НА БАЗЕ ПЛАТФОРМЫ NI PXIE-1065

Жильков Е.Г., Белов С.П., Пашинцев В.П., Старовойт И.А., Ушаков Д.И.

В статье рассматривается аппаратная реализация метода формирования канальных сигналов с изменяющимися частотными свойствами. Данный метод реализован на платформе PXIe-1065 компании National Instruments. Реализация этого метода позволяет генерировать радиосигналы, в которых отсутствует энергия в заданных частотных интервалах, что позволяет увеличить помехоустойчивость передачи данных в условиях воздействия сосредоточенных по спектру помех.

Ключевые слова: частотные представления, субполосная матрица, частотный ресурс, корреляционная функция, широкополосный сигнал, узкополосные помехи.

Постановка задачи

Современные системы связи значительно упростили, ускорили и увеличили дальность информационного обмена между людьми. Особую роль в этом сыграли сети и системы беспроводного радиодоступа, основной особенностью которых является обеспечение информационного обмена между абонентами при помощи различного вида электромагнитных сигналов. Абонентские устройства, используемые для передачи информации в данных системах радиосвязи, могут свободно перемещаться в зоне радиопокрытия радиопередающей станции, что существенно повышает мобильность абонентов [1].