

МЕТОДОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ ПОЛОЖЕНИЙ ДИСКРЕТНОЙ РЕКУРСИВНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ САМОНАСТРАИВАЮЩИХСЯ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Показан подход, позволяющий строить самонастраивающуюся адаптивную систему управления. Интеллектуальный регулятор устанавливает оптимальные параметры системы в зависимости от режима работы, свойств объекта управления и дестабилизирующих факторов. Для применения системы в составе комплексной АСУ производством предложено использовать концепцию «туманных вычислений в туманной сети».

Ключевые слова: адаптивная самонастраивающаяся система, алгоритм оценки, интеллектуальный регулятор, неопределенное уравнение, туманные вычисления.

Введение. Появление высокопроизводительного оборудования в различных сферах производства существенно сокращает время, затрачиваемое на выпуск продукции, и доля времени, приходящаяся на не автоматизированную часть предприятия, становится излишне большой. Поэтому актуально использовать автоматизированные системы управления как ядро отдельного технологического процесса предприятия [1].

Традиционно основными функциями систем управления производством было освещение объектов и территорий, дистанционное управление режимами технологических процессов, контроль исправности оборудования, обеспечение прохождения сигналов управления через неразветвленные технологические цепи, и т. п. [2].

В настоящее время расширился набор функциональных возможностей этих систем — проводится как контроль состояния оборудования, так и его диагностика. Но на предприятиях окончательно не решена проблема неэффективного расхода производственных и вычислительных ресурсов, особенно при эксплуатации устаревшего оборудования.

Кроме этого, параметры оборудования и управляющих систем, используемых в производственных процессах, меняются во времени, и их необходимо корректировать на каждом такте управления, чтобы компенсировать возникающие изменения. Для этого нужно построить самонастраивающуюся систему управления, которая за счет собственной подсистемы оценки уходов параметров ее блоков определит значения своих новых параметров и уже

по ним откорректирует закон управления объектом. Такая система управления установит значения параметров канала обратной связи, чтобы полюса замкнутой системы обеспечили устойчивую работу.

Самонастраивающуюся адаптивную систему управления целесообразно представить схемой, согласно которой будет корректироваться собственный сигнал управления $P_{упр}(t)$. При этом должны отрабатываться как изменения параметров системы, так и случайные воздействия на нее.

В обобщенном виде структура технологического процесса может быть представлена как аналоговой, так и дискретной моделью. Для построения модели использован метод аналогий [3].

Последние исследования и публикации. Аналоговая модель системы управления технологическим процессом представлена в [4]. Эта модель отражает ядро отдельного технологического процесса промышленного предприятия и является прототипом, на основе которого можно представить АСУ для технологического процесса аналоговой моделью. Здесь также показан алгоритм для выполнения технологических решений.

По сути, в [4] функционирование технологического участка рассматривается как итерационный процесс. Сам технологический процесс представляется как замкнутая система автоматического управления (САУ), имитирующая умственную деятельность человека. В модели используется дискретное минимальное приращение, на которое изменяется состояние системы. После работы системы в переходном режиме достигается состояние равновесия,

при котором выходная технологическая модель $y(t)$ соответствует требованиям для объекта, описанным входной моделью $x(t)$, с погрешностью не более $g(t)$. Зафиксировав рассогласование не более заданного между технологической моделью и моделью объекта, система останавливает подстройку. Таким образом, сумма i -х операций O_i ведет к получению отдельного i -го технологического параметра $ТП_i$.

В [4] принято, что объект управления (ОбУ) является инерционным звеном первого порядка, выполняющим предписания управляющего блока с большим или меньшим запаздыванием. Дискретная модель системы управления технологическим процессом предложена в [5]. Для указанных выше этапов работы системы необходимы различные значения оптимальных параметров. Поэтому дискретная модель должна включать три составляющие и учитывать следующие факторы:

- изменение значения производительности $P(t)$;
- воздействие на объект управления сигнала управления $P_{упр}(t)$;
- требования к объекту управления по старению и износу оборудования, а также по восприятию внешних дестабилизирующих воздействий $P_{д}(t)$.

В [5] первая составляющая дискретной модели учитывает изменение во времени значения производительности $P(t)$. Вторая составляющая дискретной модели учитывает воздействие на ОбУ управляющего сигнала на каждом временном шаге Δt . Третья часть дискретной модели учитывает воздействие на ОбУ из-за факторов старения, износа и восприятия внешних дестабилизирующих воздействий.

Процесс приближения значения, даваемого оценочной дискретной моделью $P_{экр}(i)$, к значению $P(t) = P(i)$ сигнала от ОбУ, реализует блок сравнения. В [5] также представлены математические выражения, на основании которых работает функциональная схема узла, выполняющего формирование значения $P_{экр}(i)$. Показано, что дискретная модель системы управления совпадает с непрерывной моделью с погрешностью, допустимой для практического применения.

В адаптивной системе управления дискретная модель позволяет интеллектуальному регулятору установить оптимальные параметры в зависимости от режима работы. Но при этом необходимо обеспечить соответствие параметров системы управления непрерывно меняющимся свойствам объекта. В [5] исследована применимость САУ на основе ПИД-регуляторов с алгоритмом автоматизированной настройки, использующей периодически вводимое в систему воздействие. САУ реализует компенсационный метод с применением моделей, являющимися аналогами объекта управления. Управляющее воздействие подается на ОбУ и на его модель.

Постановка задачи. Система, описанная в [5], является адаптивной, но она также должна быть самонастраивающейся. При этом недостаток информации об объекте должен восполняться по результатам настройки параметров модели объекта. Самонастраивающаяся система управления, за счет собственной подсистемы оценки уходов параметров ее блоков, должна доопределять значения параметров этих блоков. Структура такой системы должна позволять корректировать собственный сигнал управления и учитывать в нем как изменение своих собственных параметров, так и случайные воздействия.

Таким образом, необходимо разработать алгоритм управления для блока (интеллектуального регулятора), состоящего из собственно регулятора и еще дополнительно работающего совместно с ним рекурсивного устройства оценки параметров системы. Рекурсия, как процесс повторения себя же подобным себе же, позволяет пользоваться рекуррентными формулами, вычисляя значения функции через свои же значения на предыдущем временном шаге. Это дает возможность заменять действительные параметры блоков системы на значения, полученные от устройства оценки. И далее по этим значениям строить закон управления в системе [6].

Размещение полюсов определит параметры цепи обратной связи. Также расположение полюсов должно обеспечить конкретный вид управления, реализуемый соответствующим алгоритмом [7, 8].

Материал исследования. В работе [5] показана структура, отражающая способ оценки параметров системы управления характеристиками объекта. Этот способ нужно увязать с процессом самонастройки системы: данные оценки косвенно будут определять процесс регулирования. Согласно упомянутой структуре, величина $P(t)$ с выхода объекта управления приводится к значению опорной величины $P_o(t)$. Величина $P(t)$ в процессе подстройки должна иметь оптимальное значение в переходном и установившемся режимах.

В [9] показано, что представляя объект управления как аperiodическое звено, его выходная величина должна определяться выражением (1):

$$P(t) = P_{вх}(t) \cdot W(p) = P_{вх}(t) \cdot \frac{K_0}{1 + p\tau_0}, \quad (1)$$

где $P_{вх}(t)$ — количество требований, выполняемых объектом управления в ходе работы в производственной среде, которое нужно реализовать, чтобы параметры объекта управления соответствовали значению $P(t)$; K_0 — заданное (начальное) значение интенсивности выполнения требований объектом управления (в установившемся режиме); τ_0 — заданное (начальное) значение постоянной времени системы (в установившемся режиме).

Для опорной модели самонастраивающейся адаптивной системы управления в установившемся режиме использовано выражение (2).

$$(1 + p\tau_0) \cdot P_o(t) = P_{вх}(t) \cdot K_0. \quad (2)$$

Для модели самонастраивающейся адаптивной системы управления, отражающей ее поведение в ходе подстройки и учитывающей изменение во времени таких параметров системы, как K (коэффициента передачи цепи управления), постоянной времени τ системы, а также чувствительность к помехе с амплитудой Z , использовано выражение (3):

$$[1 + p\tau(t)] \cdot P(t) = K(t) \cdot [P_{упр}(t) + Z(t) \cdot P_n(t)]. \quad (3)$$

Схема системы, выполняющая оценку своих параметров по дискретной модели, также приведена в [5].

Такая схема позволяет получать дискретные оценки параметров системы K , τ и Z во времени. Для построения математической модели системы, работающей в условиях неопределенности и использующей дискретные оценки параметров K , τ

и Z во времени, в уравнения (2) и (3) введены обозначения: $1 + p\tau(t) = A$; $1 + p\tau_0 = A_0$ и $K(t) = B$; $K_0 = B_0$.

Чтобы система работала как адаптивная самонастраивающаяся система управления, необходимо, чтобы она приходила в состояние устойчивого равновесия быстрее, чем при управлении объектом с минимально возможной инерционностью [10]. Для этого введем постоянную времени идеальной системы $\tau_{идеал}(t)$, которая позволит системе обработать рассогласование с максимально необходимым быстродействием.

В ходе подстройки система должна увеличить значение $\tau(t)$, обеспечив устойчивость режима слежения. Для этого в системе нужно иметь функцию наблюдения $A_{ФН}$ [11], обладающей указанными свойствами — то есть передаточную функцию апериодического звена первого порядка в виде (4):

$$A_{ФН} = \frac{1}{[1 + p\tau_{идеал}(t)]}. \quad (4)$$

Произведение сигнала на входе ОБУ $P(t)$ на множитель $K_0/[1 + p\tau_{идеал}(t)]$ отражает устойчивое состояние системы управления при максимальном быстродействии в режиме слежения (5):

$$P_o(t) = P_{вх}(t) \cdot A_{ФН} \cdot K_0. \quad (5)$$

Для этого режим слежения по уравнению (3) запишется в виде:

$$\frac{1}{A_{ФН}} P(t) = K(t) \cdot [P_{упр}(t) + Z(t)P_{п}(t)]. \quad (6)$$

Обозначив в (5) как $A_{ФН}K_0 = F$, можно считать, что $P(t)$ — это неизвестная величина x , которая дискретно во времени должна измеряться измерителем $P(t)$ [5]. Произведение $K(t)P_{упр}(t)$ является добавкой к управляющему воздействию, которая в ходе подстройки проявляется за счет коэффициента $A = [1 + p\tau(t)]$. В режиме слежения эта добавка отражается коэффициентом $A_0 = [1 + p\tau_0]$.

Вхождение в режим слежения и управление в стационарном режиме должно удовлетворять условию: $AA_0 = 1$, или $AA_0 = P_{упр} = 1$. Парадигма систем управления заключается в том, что изменение параметра на объекте управления должно соответствовать добавке по цепи управления, включающей в себя влияние сигнала помехи $Z(t)P_{п}(t)$ и сигнала $P_{упр}(t)$. Алгебраическая сумма всех слагаемых должна быть равна нулю. Это учитывает изменение параметра объекта, сигнала помехи и сигнала от регулятора. Поэтому можно переписать выражение (3) в виде (7):

$$A \cdot x - B[Z(t)P_{п}(t)] - B \cdot P_{упр}(t) = 0. \quad (7)$$

Обозначая в формуле (7) $Z(t)P_{п}(t) = y$, придем к неопределенному уравнению $ax + by = c$ в виде (8):

$$Ax - By = B \cdot P_{упр}(t) = B \cdot A \cdot A_0. \quad (8)$$

Значения неизвестных величин x и y из (8) находятся в момент времени, когда подсистема оценки интерпретирует значения величин A , B , $A_{ФН}$ и A_0 .

Обычно посторонние воздействия на систему носят случайный характер. Их влияние на систему нужно учитывать наблюдателем состояния с кон-

кретной функцией наблюдения [12]. В зависимости от помехи принудительно изменяются коэффициент передачи по каналу воздействия помехи $Z(t)$ и коэффициент $K(t)$, определяющий интенсивность выполнения требований оборудованием: $A_{ФН} = Z(t) \cdot K(t)$. А медленные изменения параметров объекта управления отрабатываются воздействием управляющего сигнала $P_{упр}(t)$.

В режиме слежения система регулирования изменяет значение параметра ОБУ так, чтобы он соответствовал опорному значению. Поэтому произведение сигнала с выхода регулятора $P_{эупр}(t)$ на сигнал с выхода ОБУ $P(t) = x$, равное $x \cdot P_{эупр}(t)$, с учетом изменения параметра ОБУ из-за дестабилизирующего фактора $P(t) \cdot [Z(t) \cdot P_{п}(t)] = y + P(t)$, регулирует значение параметра объекта (в данной работе представленного как апериодическое звено). Эта сумма должна быть равна значению опорного сигнала при конкретных параметрах системы. Поэтому: $A_{ФН}K_0 = F$. Для сигнала управления можно записать формулу (9):

$$P_{эупр}(t) = \frac{FP_o(t) - yP(t)}{x}. \quad (9)$$

Из выражения (9) видно, что величина $P_{эупр}(t)$ зависит от параметров системы $K(t)$, $Z(t)$ и $\tau(t)$. При этом, в значении величины x заключена информация о $P(t)$, в значении величины y заключена информация о $P_{п}(t)$, а в значении величины $P_{эупр}(t)$ содержится информация о воздействии на ОБУ, зависящем от значений K , τ и Z .

Показанный подход позволяет построить самонастраивающуюся адаптивную систему управления, если она определяет значения величин $K(t)$, $Z(t)$ и $\tau(t)$. Для этого в системе можно применить рекурсивный метод, используя способ наименьших квадратов [5]. Вводя значения $K(t)$, $Z(t)$ и $\tau(t)$ в уравнение (9), опосредованно через формулы (4) и (6) определяются значения для x и y очередного шага подстройки. Такое регулирование производится до тех пор, пока значение параметра ОБУ перестанет превышать допустимое отклонение от опорного значения. Структурная схема самонастраивающейся адаптивной системы управления, базирующаяся на выражениях (3) и (10), показана на рис. 1:

$$x \cdot P_{эупр}(t) = F \cdot P_o(t) - y \cdot (t). \quad (10)$$

Для данной структуры с помощью моделирования сделана оценка вхождения системы в режим слежения и работы в режиме слежения. В сравнении с системой, использующей ПИ-регулятор, предложенная система регулирования обладает лучшими динамическими характеристиками: уменьшается время нестационарного процесса, а также меньше время вхождения в синхронизм при случайных помехах. Оценка параметров сигнала с выхода ОБУ проводилась при различных значениях коэффициентов передачи x , y и Z . Опорный сигнал изменялся случайным образом относительно нулевого среднего при различных величинах $P(t)$, $P_{п}(t)$ и $P_{эупр}(t)$. Так как выходной сигнал оценочной модели $P_{эупр}(t)$ повторяет изменения сигнала $P(t)$ и разностный сигнал приближается к нулю, то при моделировании значения коэффициентов функции наблюдения $A_{ФН}$ соответствовали параметрам системы.

Изменение во времени разностного сигнала между оценкой $P_{эупр}(t)$ и реальным значени-

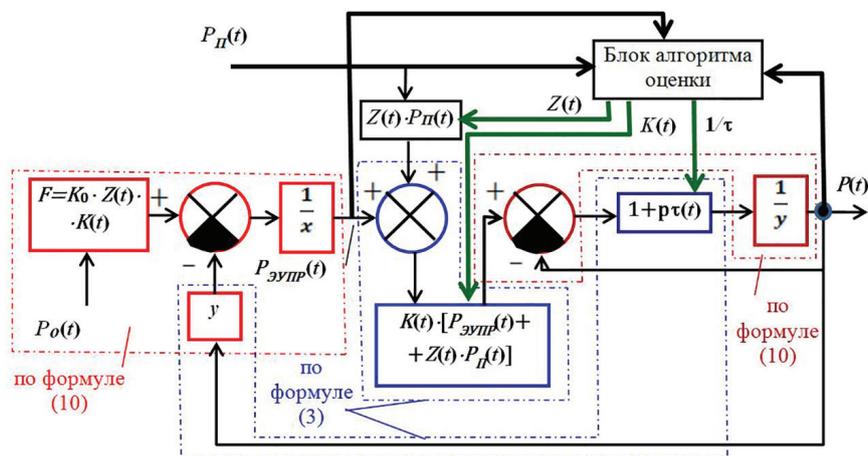


Рис. 1. Структура самонастраивающейся адаптивной системы управления

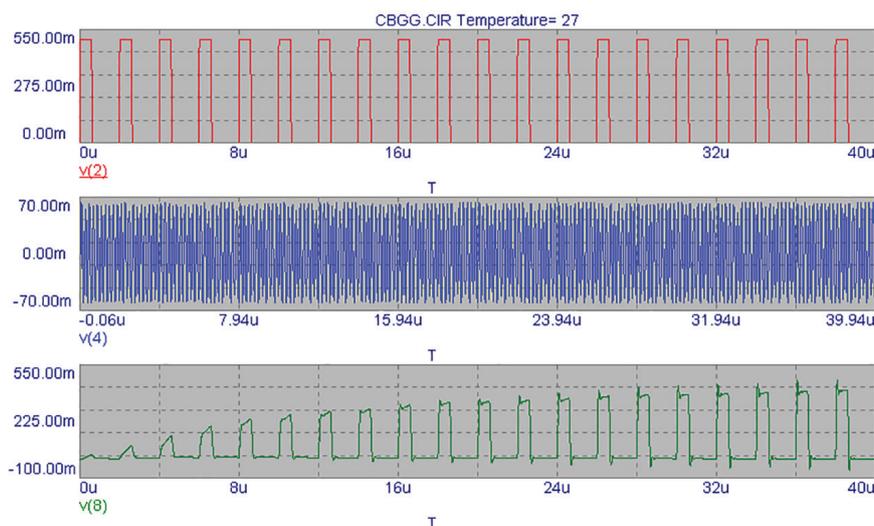


Рис. 2. Переходные характеристики оценочной модели

ем сигнала $P_n(t)$ зависит от коэффициентов передачи по цепям прямой и обратной связи, а также по цепи дестабилизирующего фактора. Выбор значений этих коэффициентов обеспечивает быстрые и устойчивые переходные характеристики оценочной модели (рис. 2). На этом рисунке $V(2)$ — входной сигнал, $V(4)$ — сигнал помехи, и $V(8)$ — это эмулируемый сигнал.

Разностный сигнал имеет характер переходного процесса и занимает некоторое время на приближение к нулю. Поэтому регулятор должен иметь меньшее быстродействие, чем процесс оценки. Тогда значения определяемых параметров аппаратной части системы управления, воздействующие на адаптивный регулятор, будут близки к реальным параметрам до момента воздействия на них со стороны регулятора.

На рис. 3 показано поведение самонастраивающейся адаптивной системы с ПИД-регулятором при воздействии на нее помехи (сигнал $V(5)$) и скачках опорного сигнала $V(1)$). Сигнал с выхода ОБУ $V(10)$ подстраивается управляющим сигналом $V(6)$.

Структура адаптивной системы управления, предложенная в [5] и использующая дискретную модель для оценки параметров своих блоков, работает с данными о текущих значениях $P_{упр}(t)$, $P_n(t)$ и $P(t)$. Их источниками являются цифровые из-

мерители, поставляющие цифровой код. В этой структуре имеются «Блок определения коэффициентов и управления» и «Блок сравнения», также работающие с входными цифровыми данными как результатами предыдущей итерации, выполняющие и арифметические операции, и цифровую подстройку эквивалентных значений параметров $K_{ЭКВ}(t)$, $Z_{ЭКВ}(t)$ и $\tau_{ЭКВ}(t)$. Это позволяет выполнить процесс приближения значения $P_{ЭКВ}(i)$, даваемого оценочной дискретной моделью, к значению $P(t_i) = P(i)$ сигнала от ОБУ.

Такой интеллектуальный регулятор устанавливает оптимальные параметры в зависимости от режима работы и обеспечивает соответствие параметров системы управления непрерывно меняющимся свойствам объекта [13]. При централизованной архитектуре интеллектуального регулятора для достижения максимального быстродействия и отработки скоростных помех, микроЭВМ, работающая в режиме реального времени, должна иметь высокую тактовую частоту (более 50 МГц), скоростную передачу данных в параллельном коде без использования типовых микроконтроллерных сетей, подобных SPI, I2C и CAN. Их скорости передачи, лежащие в диапазоне ориентировочно от 100 Кбит/с до 3 Мбит/с, позволяют управлять относительно низкочастотными устройствами. Про-

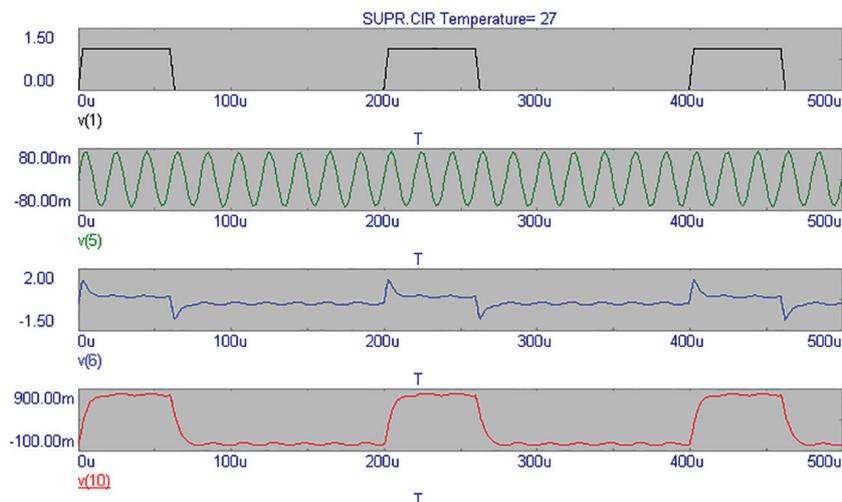


Рис. 3. Результаты моделирования самонастраивающейся адаптивной системы управления с ПИД-регулятором

токол CAN, имеющий свойство малой восприимчивости к синфазным помехам, для высокоточных систем управления не обладаем достаточным коэффициентом ослабления синфазной помехи. Кроме этого, интеллектуальный регулятор также требует высокого быстродействия для отработки высокочастотных помех и сигналов ОБУ и малых задержек при передаче данных по линии связи.

Это особо значимо для территориально распределенных промышленных систем, у которых длина линии связи может быть от нескольких метров до десятка километров. Там, где требуется быстродействующее управление, узел с элементами искусственного интеллекта необходимо размещать вблизи ОБУ.

Указанное подводит архитектуру интеллектуального регулятора к распределенному построению [14]. Наличие в соответствующих измерителях системы микроконтроллеров или микроЭВМ говорит о возможности использования во времени их не занятых вычислительных ресурсов, производя в них отдельные вычисления, необходимые для интеллектуального управления, при понижении требований быстродействия к вычислительным средствам и быстродействия линий связи. Это свойственно современному подходу децентрализации в обработке данных, трактуемому как «туманные вычисления». Такая система регулирования образует РAN-сеть с динамической маршрутизацией, узлами которой являются схожие по вычислительной мощности микроЭВМ. Всю систему должна охватывать программная среда, объединяющая ресурсы всех внутренних измерителей и позволяющая параллельно выполнять программы для кросс-платформенной среды.

Для аппаратной базы вычислительных средств предложенной системы регулирования не нужно будет предъявлять требование большой вычислительной мощности, но это только в том случае, если она не участвует в производственной системе управления, объединяющей вычислительные ресурсы очень большого числа рабочих участков. Программная среда должна содержать ядро в виде супервизора, объединяющего вычислительную мощность отдельных устройств в многопроцессорную систему. При необходимости измерители системы или устройства отдельных рабочих участков могут обмениваться данными без общей сети, ис-

пользуя горизонтальную радиосвязь по протоколам интернета вещей (IoT).

В целом, такие решения являются мотивом для разработки «систем на кристалле», реализующих указанную концепцию и имеющих крайне низкое энергопотребление при высокой тактовой частоте, и при этом обеспечивающих интерфейс с широко распространенными архитектурами микроЭВМ и микроконтроллеров.

Заключение. Предложенный вариант построения системы управления характерен рядом преимуществ относительно систем с ПИ-регулятором. Уменьшено осциллирование при вхождении в режим синхронизма, что уменьшает время установления процесса регулирования, а также снижена чувствительность к постороннему воздействию и повышается точность регулирования параметров ОБУ.

Так как описанная самонастраивающаяся система дополнительно имеет блок алгоритма оценки, то она будет проигрывать во времени установления переходного процесса системе без самонастройки. А условия устойчивости системы с самонастройкой легко обеспечиваются выбором нужных коэффициентов передачи в каналах автоподстройки самой системы. Подстройкой значений этих коэффициентов можно выставить вид переходного процесса, необходимый для системы.

Такая самонастраивающаяся адаптивная система имеет лучшие характеристики по времени нестационарного процесса, когда изменение параметра ОБУ происходит случайным образом или при хаотичном воздействии помехи. Данное решение системы управления работоспособно при неопределенности ее собственных параметров.

В рамках одного или нескольких производственных участков целесообразно использовать обработку данных в непосредственной близости от источников их получения в измерителях интеллектуального регулятора. При этом в комплексной системе управления производством, при передаче данных от рабочего места до ЭВМ первого уровня, достаточно просто решаются вопросы аутентификации, авторизации и разделения ресурсов отдельного измерителя, предоставляющего возможность задействовать его вычислительную мощность несколькими рабочими участками по концепции «туманных вычислений в туманной сети».

Библиографический список

1. Волкова. Г. Д., Новоселова О. В., Григорьев О. Г. Исследование методологий и методов проектирования автоматизированных систем различного назначения // Электронные информационные системы. 2014. № 2 (2). С. 57–69.
2. Павлов Н. Система управления наружным освещением автомобильных дорог Имеретинской низменности // Современные технологии автоматизации (СТА). 2014. № 3. С. 66–69.
3. Малыгин Е. Н., Егоров С. Я., Шаронин К. А. Алгоритм автоматизированного построения математической модели при компоновке промышленных объектов // Научно-техническая информация. Сер. 2. Информационные процессы и системы. 2015. № 2. С. 7–15.
4. Милых А. В., Никонов А. В. Модель автоматизированного управления производственным процессом (освещением) на предприятии // Омский научный вестник. 2015. № 3 (143). С. 268–274.
5. Никонов А. В., Милых А. В. Реализация системы управления производственным процессом по дискретной модели // Динамика систем, механизмов и машин. 2016. Т. 1, № 1. С. 114–117.
6. Landau I. D., Airimioaie T.-B., Castellanos-Silva A. [et al.]. Adaptive and robust active vibration control, advances in industrial control // Springer International Publishing Switzerland. 2017. ISBN 978-3-319-41450-8. DOI 10.1007/978-3-319-41450-8_5.
7. Distefano J. III and Allen R. Stubberud. Schaum's outline of feedback and control systems. 2nd Ed. McGraw-Hill Education. 2014. 512 p. ISBN 9780071829489.
8. Phillips C. L., Nagle T., Chakraborty A. Digital control system analysis & design. 4th Ed. London: Pearson, 2014. 528 p.
9. Никонов А. В., Милых А. В. Применение дискретной рекурсивной модели системы управления производственным процессом // Россия молодая: передовые технологии – в промышленность. 2017. № 1. С. 138–141.
10. Sami F. M., Visioli A. Digital control engineering: analysis and design. 2nd Ed. Elsevier. 2013. 582 p.
11. Yordanova. S. T. Design of fuzzy supervisor-based adaptive process control systems / Ed. Nakamatsu K., Kountchev R. // New Approaches in Intelligent Control. Intelligent Systems Reference Library. Springer, Cham. 2016. Vol. 107. P. 1–42. DOI: 10.1007/978-3-319-32168-4_1.
12. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления / пер. с англ. В. Г. Дунаева, Е. И. Копылова,

А. Н. Косилова; под ред. П. И. Попова. М.: Машиностроение, 1986. 448 с.

13. Demirela B., Briatb C., Johansson M. Deterministic and stochastic approaches to supervisory control design for networked systems with time-varying communication delays. Cornell University. arXiv:1303.6837. 2013. 19 p.

14. Лубягина А. О. О подходе к функциональной интеграции систем на основе технологии MDE // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 6 (155). С. 159–164.

НИКОНОВ Александр Васильевич, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой «Автоматизированные системы обработки информации и управления».

SPIN-код: 9722-8373

ORCID: 0000-0002-9079-7038

AuthorID (SCOPUS): 7101714232

ResearcherID: B-3078-2016

Адрес для переписки: nalva@mail.ru

НИКОНОВ Василий Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления».

AuthorID (РИНЦ): 603631

Адрес для переписки: bazil83@mail.ru

БОГАТОВ Роман Николаевич, старший преподаватель кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления».

AuthorID (РИНЦ): 610618

Адрес для переписки: bogatovrn@yandex.ru

Для цитирования

Никонов А. В., Никонов В. А., Богатов Р. Н. Методология применения и реализации положений дискретной рекурсивной модели для самонастраивающихся адаптивных систем управления производственного назначения // Омский научный вестник. 2018. № 5 (161). С. 124–129. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-161-124-129.

Статья поступила в редакцию 02.07.2018 г.

© А. В. Никонов, В. А. Никонов, Р. Н. Богатов