

Выводы.

Результаты проведенного численного эксперимента показывают, что предлагаемая методика является робастной к выбросам различной величины и их количества, а также к изменениям распределения сигнала в режиме реального времени (смена режима спекания) применительно к рассматриваемому случаю оценки профиля температур отходящих газов процесса агломерации железных руд.

Предлагаемая методика может быть использована при наличии связанных измерений, между которыми наблюдается значимая связь. К таким измерениям применительно к процессу агломерации можно отнести, например, поведение распределения температур вакуум-камер (рассмотрено в качестве примера), показатели разрежения в вакуум-камерах агломашины, соотношения компонентов шихты, показатели работы зажигательного горна, измерения, относящиеся к

процессу охлаждения агломерата (как прямые, так и косвенные измерения, например, температура пылеулавливающего фильтра) и др.

Литература

1. Бассвиль, М. Обнаружение изменения свойств сигналов и динамических систем / [М. Бассвиль и др.]. – М., 1989.
2. Ендияров, С. В. Диагностика процессов подготовки и производства агломерата / С. В. Ендияров, С. Ю. Петрушенко. – Saarbrücken (Germany), 2013.
3. Ендияров, С. В. Система мониторинга процесса усреднения шихтового сырья / [С. В. Ендияров и др.] // Автоматизация в промышленности. – 2014. – №6. – С. 56–59.
4. Литтл, Р. Дж. А. Статистический анализ данных с пропусками / Р. Дж. А. Литтл, Д. Б. Рубин. – М., 1990.
5. Buck, S. F. A method of estimation of missing values in multivariate data suitable for use with an electronic computer, J. Roy / S. F. Buck. – Statist-Soci. B22, 302-306, 1960.

УДК 681.05.015

А. В. Кожевников

Череповецкий государственный университет

ОПТИМИЗАЦИЯ АВТОНАСТРОЙКИ МОДАЛЬНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

В статье рассмотрены методы автоматической настройки модального регулятора электрического привода, показана эффективность использования метода прямого поиска по шаблону перед процессом автонастройки системы управления с помощью генетического алгоритма.

Электрический привод, система автоматизированного управления, модальное управление, генетический алгоритм, метод прямого поиска, автонастройка регуляторов, MATLAB.

The article considers the methods of automatic tuning control of modal controller of electric drive, shows the effectiveness of using the method of direct pattern matching to the auto-tuning process of control system using genetic algorithm.

Electric drive, automatic control system, modal control, genetic algorithm, the method of direct search, auto-tuning regulators, MATLAB.

Введение.

Работа электромеханических систем в условиях динамических режимов работы часто сопровождается нестационарностью технологического процесса и неопределенностью настроек регуляторов автоматизированных систем. Традиционные ПИ-, ПИД-регуляторы зачастую не справляются со своими задачами в условиях стохастических изменений параметров и робастного управления. Поэтому современная теория управления предлагает решать такие задачи применением модальных регуляторов, нечетких контроллеров, нейросетовых технологий и др. [1], [8].

К настоящему времени сложилось большое количество методов синтеза регуляторов, разнообразных по своим постановкам и результатам [8]. Традиционные методы синтеза регуляторов для объектов высокого порядка не всегда дают удовлетворительный результат. В этой связи особое значение приобрета-

ют методы синтеза регуляторов, позволяющие сформировать регулятор для объекта сколь угодно высокого порядка.

Основная часть.

С увеличением мощности вычислительной техники появляется множество различных методов расчета и алгоритмов, достаточно легко реализуемых программно, но в то же время позволяющих быстро и качественно решать задачи, заменяя собой сложные расчеты. Одними из наиболее перспективных являются методы, основанные на использовании методов генетических алгоритмов и прямого поиска по шаблону [3], [5], [9].

В работе предлагается применение этих методов для оптимизации автонастройки модальных регуляторов. В этом случае отпадает необходимость в расчетах, система сформирует требуемые параметры обратных связей автоматически в режиме реального

времени. Идентификация объекта осуществляется по переходной характеристике замкнутой системы управления. Отклонение полученной характеристики от эталонной обусловлено вариациями параметров объекта управления, что позволяет получать адекватные оценки этих параметров методом прямого поиска. Система может работать в режиме предварительной настройки (*off-line*) и режиме реального времени (*on-line*). Структурная схема системы автоматизированного управления с модальным регулятором приведена на рис. 1.

В автоматизированных системах используется автонастройка модального регулятора электропривода путем формирования матрицы коэффициентов обратных связей K_{oc} при сравнении показателей режимов эталонной модели $X_{эт}$ и объекта управления $Y-X$ и доведении их рассогласования до заданной величины ошибки регулирования D . Блок настройки выполняет расчет оптимальных параметров K_{oc} согласно заданной структуре объекта в соответствии с принципами модального управления. Блок управления формирует типовой тестовый сигнал U_3 .

В методе генетических алгоритмов используются положения теории эволюции и опыта селекции живых организмов. Нахождение оптимального решения в данном методе основано на гипотезе селекции: чем выше приспособленность особи, тем выше вероятность того, что у потомков, полученных с ее участи-

ем, признаки, определяющие приспособленность, будут выражены еще сильнее.

Особенностью метода применения генетического алгоритма является то, что ни один из генетических операторов (кроссовер, мутация, инверсия) в процессе воспроизводства потомков не использует поверхность отклика целевой функции. Формирование потомков генетическими операторами происходит случайным образом и поэтому нет гарантии, что найденные решения будут лучше родительских. Следовательно, в процессе эволюции встречается достаточно большое число «неудачных» потомков, которые увеличивают число обращений к функции цели и увеличивают, тем самым, время поиска глобального экстремума.

На рис. 2 показана схема автоматизированного управления электрическим приводом с применением модального регулирования и генетического алгоритма. На схеме: ТП – тиристорный преобразователь, ЯЦ – якорная цепь двигателя, МЧ – механическая часть привода; ГА – блок генетического алгоритма; $k_1...k_3$ – коэффициенты модального регулятора, $U_{вх}$ – входное напряжение, w_0 – заданная скорость привода, w – фактическая скорость привода; M – момент нагрузки.

В рамках применения данного метода коэффициенты модального регулятора подбираются не путем сложных расчетов, а автоматических – с помощью применения генетического алгоритма.

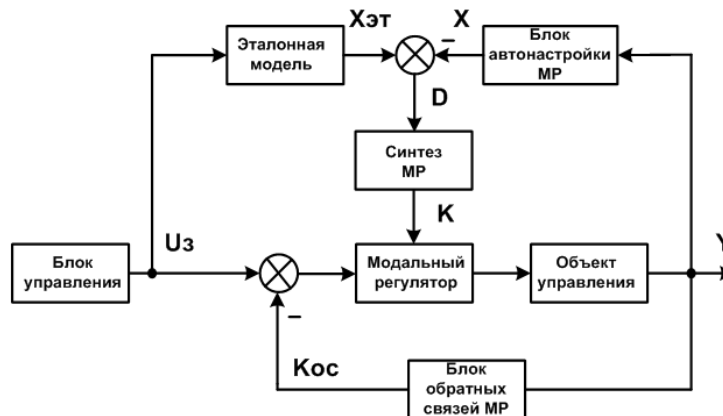


Рис. 1. Структурная схема системы автонастройки модального регулятора

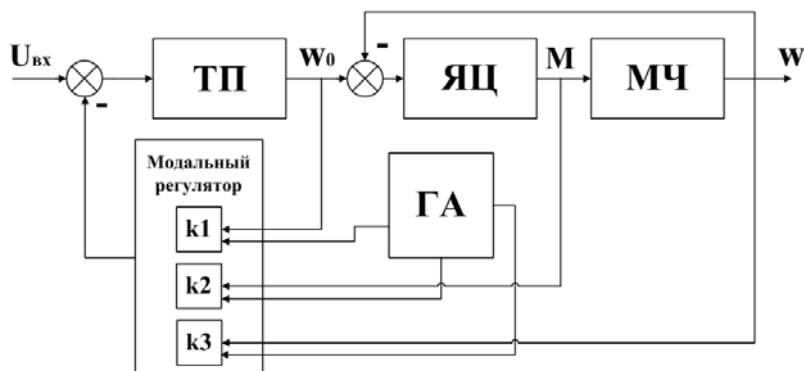


Рис. 2. Схема модального управления электропривода с применением генетического алгоритма

Метод прямого поиска представляет собой реализацию двух соответствующих алгоритмов прямого поиска, называемых обобщенным алгоритмом непосредственного поиска (*GPS*) и как алгоритмом сеточного адаптивного поиска (*MADS*). На каждом шаге расчета производится поиск некоего набора точек, называемого ячейкой вокруг текущей точки – точки, которая представляет собой результат расчета в зависимости от предыдущего шага выбранного алгоритма. Если данный алгоритм выходит на некую точку в ячейке, в которой отмечается улучшение целевой функции по сравнению с текущей точкой, то новая точка принимает статус текущей точки для последующего шага выбранного алгоритма.

В рамках проведения поисковых исследовательских работ [4], [6], [7] выполнен синтез модального регулятора и оптимизация его автонастройки для двухмассового электропривода роллганга широкополосного стана. Оптимизация реализована для биномиальной эталонной модели с минимизацией интеграла модуля ошибки при обеспечении максимального быстродействия системы управления.

Параметры режима оптимизации методом генетического алгоритма приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры оптимальной настройки генетического алгоритма

Параметр	Алгоритм	Режим настройки	Значение
Тип популяции	<i>Double vector</i>	<i>Объем популяции</i>	20
Исходная функция	<i>Uniform</i>		
Начальная популяция	<i>Initial population</i>		[0; 1]
Ранжирование	<i>Scaling function</i>	<i>Rank</i>	
Селекция	<i>Selection</i>	<i>Stochastic uniform</i>	
Воспроизведение	<i>Elite count</i> <i>Crossover fraction</i>		2 0,8
Мутация	<i>Mutation</i>	<i>Gaussian</i>	0,2
Пересечение	<i>Crossover</i>	<i>Intermediate</i>	1,0
Миграция	<i>Forward Interval</i>		0,2 20

Процесс оптимизации при использовании указанного метода сходится за 50 итераций при времени вычислений 92,3 с. и величине интеграла модуля ошибки 17,4.

Параметры режима оптимизации методом прямого поиска приведены в табл. 2. Процесс оптимизации при прямом поиске сходится за 25 итераций при времени вычислений 8,6 с. и величине интеграла модуля ошибки 4,31.

В программном пакете *MATLAB* проведено моделирование процесса пуска системы при заданном

времени регулирования 0,25 с¹. Графики изменения переходной характеристики для эталонной модели и системы управления с оптимизацией автонастройки модального регулятора приведены на рис. 3.

Таблица 2

Параметры оптимальной настройки алгоритма прямого поиска

Параметр	Алгоритм	Режим настройки	Значение
Метод поиска	<i>GPS Positive Basis 2N</i>	<i>Complete poll</i>	<i>on</i>
Порядок поиска	<i>Random</i>		
Путь поиска	<i>MADS</i>		<i>on</i>
Параметры сетки	<i>Accelerator</i>		<i>on</i>
Использование констант	<i>Initial penalty</i>	25	20
Использование памяти	<i>Cache</i>	<i>on</i>	<i>on</i>

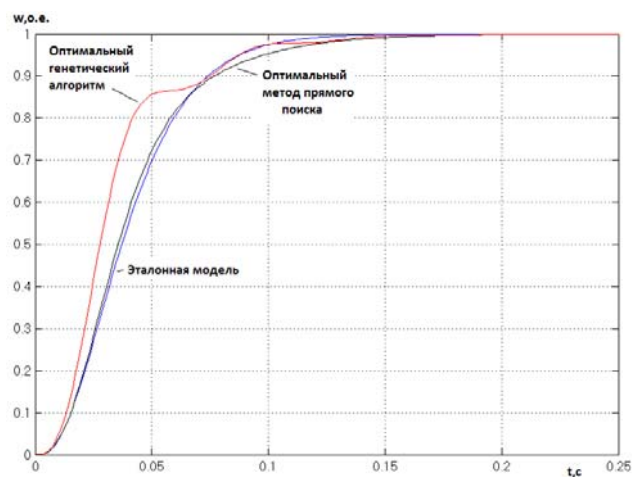


Рис. 3. Графики изменения относительной скорости электропривода

Выводы.

По работе можно сделать следующие выводы:

1. Оптимизированные методы автонастройки модальных регуляторов электроприводов позволяют достичь заданного эталонной моделью быстродействия систем автоматизированного управления.
2. Величина интеграла модуля ошибки и время оптимизированной автонастройки модального регулятора методом прямого поиска существенно ниже, чем методом генетического алгоритма.
3. Система автоматизированного управления электроприводом с автонастройкой модального регулятора методом прямого поиска позволяет достичь высоких показателей качества переходных процессов с результатами на уровне эталонных моделей.

¹ Исследования проведены совместно с инженером Т. Н. Кочневой

Литература

1. Безрядин М. М. Синтез модального регулятора с компенсацией внешнего возмущения для объекта с параметрической неопределенностью по критерию максимальной робастности / М. М. Безрядин, Г. И. Лозгачев // Труды СПИИРАН. – 2012. – Вып. 2(21). – С. 41–55.
2. Григорьев, В. В. Синтез систем автоматического управления методом модального управления / [В. В. Григорьев и др.]. – СПб., 2007.
3. Клепиков, В. Б. Применение методов нейронных сетей и генетических алгоритмов в решении задач управления электроприводами / [В. Б. Клепиков и др.] // Электротехника. – 1999. – №5. – С. 2–6.
4. Кожевников, А. В. Применение метода модального управления для повышения стабильности работы электро-механических систем прокатного производства / А. В. Кожевников // Производство проката. – 2013. – №11. – С. 35–39.
5. Кожевников, А. В. Разработка функции самонастройки системы управления электроприводом на базе

генетического алгоритма / А. В. Кожевников, В. Н. Волков // Автоматизация и современные технологии. – №2. – 2015. – С. 41–45.

6. Кочнева, Т. Н. Модальное управление электромеханическими системами в металлургии / Т. Н. Кочнева, А. В. Кожевников, Н. В. Кочнев // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2013. – №1(45). – Т. 1. – С. 14–19.

7. Кочнева, Т. Н. Синтез модального регулятора и оценка эффективности модального управления для двух-массовых электромеханических систем / Т. Н. Кочнева, А. В. Кожевников, Н. В. Кочнев // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2013. – №4 (52). – Т. 4. – С. 15–22.

8. Тарарыкин, С. В. Робастное модальное управление динамическими системами / С. В. Тарарыкин, В. В. Тютиков // Автоматика и телемеханика. – 2002. – №5. – С. 41–55.

9. Genetic Algorithm and Direct SearchToolboxUser's Guide. – URL: www.mathworks.com.

УДК 66.048

С. В. Лукин, Н. Н. Синицын
Череповецкий государственный университет,
А. Н. Сурикова
Вологодский государственный университет

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ УСТАНОВКИ ПО ВЫПАРИВАНИЮ ВЛАГИ ИЗ НЕФТЕШЛАМА

В статье представлена методика теплового расчета утилизационных ступеней в установке по выпариванию влаги из нефтешлама, позволяющих увеличить производительность установки и снизить расход топлива в греющем котле на единицу выпариваемой влаги.

Блок разделения нефтешламов, выпарная установка, утилизация теплоты, нефтешлам.

The paper presents the method of heat calculation of utilizing stages of the unit for evaporating moisture from oil slime allowing to increase an output of the unit and reduce the specific consumption of fuel by water heating boiler.

Separation oil slime unit, evaporation plant, heat utilization, oil slime.

Введение.

В работе [2] описана принципиальная тепловая схема и представлена методика теплового расчета установки по выпариванию влаги из нефтепродуктов (блока разделения нефтешламов, далее – БРНШ). В результате поверочного теплового расчета существующей установки БРНШ-3 (цифра «3» означает объем нефтешлама, м³, загружаемого в установку) установлено, что данная установка имеет следующие недостатки. Во-первых, в режиме выпаривания тепловая мощность, передаваемая от греющей воды к нефтешламу, значительно (в несколько раз) меньше номинальной тепловой мощности водогрейного котла, что связано с недостаточной поверхностью нагревателя и что обуславливает низкую производи-

тельность установки. Во-вторых, теплота пара, образующегося при выпаривании влаги из нефтешлама, никак не используется и теряется в окружающей среде (отводится через калориферы). Это связано с низкой тепловой экономичностью установки и свидетельствует об уменьшении ее возможной производительности.

Основная часть.

В данной работе рассмотрен способ утилизации теплоты пара, выходящего из блока разделения нефтешлама. На рис. 1 представлена принципиальная тепловая схема установки по выпариванию влаги из нефтепродуктов с утилизационными теплообменниками.