

В.С. Шерстнев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Российская Федерация, г. Томск, пр. Ленина, 30
e-mail: vss@tpu.ru

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ НЕЧЕТКОЙ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Аннотация: В данной статье приведено исследование свойств системы автоматического регулирования с нечетким регулятором, который включает в себя нечеткое псевдолинейное корректирующее устройство с фазовым опережением и ПИД-регулятор.

Одним из перспективных и эффективных подходов современной теории управления сложных технологических систем в условиях неопределенности, вызванной нечеткостью исходной информации, является подход, основанный на применении методов экспертных оценок и теории нечетких множеств [1, 2]. Технологические процессы, характеризующиеся многокритериальностью, функционируют в основном, в нечеткой среде. Поэтому, для оптимального управления режимами работы таких систем, необходимо учесть вектора критериев и нечеткость исходной информации. Одним из альтернативных методов построения систем управления и регулирования объектами, нечетко определенными с точки зрения классической теории является использование так называемых контроллеров нечеткой логики.

Поэтому разработка регуляторов нечеткого управления на базе существующих микроконтроллеров является весьма актуальной задачей, так как псевдолинейный нечеткий регулятор, построенный на основе нечетких множеств и нечеткого логического ввода-вывода, в условиях неопределенности возмущающего воздействия, способен обеспечить более высокие показатели качества переходного процесса, чем традиционный ПИД – регулятор.

В качестве псевдолинейных корректирующих устройств (ПКУ) используем: КУ с амплитудным подавлением, с фазовым опережением и с отдельными каналами для амплитуды и фазы, так как один из основных недостатков ПИД-регулятора является наличие фазового запаздывания и высокая чувствительность к помехам в измерительном канале.

Ключевые слова: Микроконтроллер, регулятор, псевдолинейное корректирующее устройство, контроллер нечеткой логики, качество переходного процесса.

Введение. Одним из перспективных и эффективных подходов современной теории управления сложных технологических систем в условиях неопределенности, вызванной нечеткостью исходной информации, является подход, основанный на применении методов экспертных оценок и теории нечетких множеств [1, 2]. Технологические процессы, характеризующиеся многокритериальностью, функционируют в основном, в нечеткой среде. Поэтому, для оптимального управления режимами работы таких систем, необходимо учесть вектора критериев и нечеткость исходной информации.

По сравнению с традиционными методами анализа и вероятностным подходом методы нечеткого управления позволяют быстро производить анализ задачи и получать результаты с высокой точностью. Основные преимущества применения нечеткой логики для

решения задач автоматизации по сравнению с традиционными подходами теории автоматического управления состоят в следующем:

- значительное повышение быстродействия процессов управления при использовании нечетких контроллеров;
- возможность создания систем управления для объектов, алгоритмы функционирования которых трудно формализуемы методами традиционной математики;
- возможность синтеза адаптивных регуляторов на базе классических ПИД регуляторов;
- повышение точности алгоритмов фильтрации случайных возмущений при обработке информации от датчиков;
- снижение вероятностей ошибочных решений при функционировании управляющих алгоритмов, что позволяет увеличить срок службы технологического оборудования.

Традиционные системы автоматизированного управления технологическими процессами строятся на основе линейных моделей объектов, построенных по некоторым критериям оптимальности. Полученные таким образом регуляторы являются оптимальными и устойчивыми по отношению к заложенным в их основу моделям реальных технологических процессов – объектов управления и регулирования. Однако часто методы упрощения и линеаризации, применяемые к нелинейным, динамическим, нечетко определенным объектам не дают ожидаемых результатов устойчивого управления и желаемого качества управления реальным технологическим процессом. С увеличением сложности структуры объекта и выполняемых им функций становится все сложнее использовать классические методы управления.

Основной раздел. Одним из альтернативных методов построения систем управления и регулирования объектами, нечетко определенными с точки зрения классической теории (для которых не получена аналитическая модель), является использование так называемых контроллеров нечеткой логики.

Поэтому разработка регуляторов нечеткого управления на базе существующих микроконтроллеров является весьма актуальной задачей, так как псевдолинейный нечеткий регулятор, построенный на основе нечетких множеств и нечеткого логического ввода-вывода, в условиях неопределенности возмущающего воздействия, способен обеспечить более высокие показатели качества переходного процесса, чем традиционный ПИД – регулятор.

Так, как в настоящее время большинство САП строится на базе свободно программируемых промышленных контроллеров, поэтому имеется возможность создать систему с применением нечеткого регулятора.

Рассмотрим синтез нечеткого ПИД регулятора на базе микроконтроллера SIMATIC S7-1200 при помощи пакета прикладных программ MatLab.

Структура нечеткого регулятора совпадает со структурой нечеткой модели с одним выходом и зависит от объекта управления и процесса управления, а также от требований к его качеству. Поскольку сфера применения нечеткого управления очень широка, возможны различные структуры регулятора, отличающиеся числом входов, нечеткими множествами, функциями принадлежности, формой управляющих правил, типами механизмов вывода и методами дефазификации.

На вход регулятора поступает необходимое для решения конкретной задачи число входных сигналов. В нечетком регуляторе происходит процедура фазификации, т.е. исходя из текущего значения четкого сигнала, на основании известных функций принадлежности каждому сигналу четкого вектора присваивается определенное входное значение. Программа нечеткого логического вывода (FIS-структура) на основании нечеткой базы знаний ставит в соответствие каждому входному вектору значений выходной нечеткий вектор, являющийся результатом нечеткого логического вывода. Значениям лингвистических переменных, составляющих выходной вектор, на основании функций принадлежности ставятся в соответствие определенные четкие значения, образующие выходной четкий вектор, т. е. происходит процедура дефазификации.

В нечетком регуляторе на основе сформулированных правил типа ЕСЛИ-ТО осуществляется формирование логического решения – получение нечеткого множества в форме результирующей функции принадлежности. Перевод текущих значений входных переменных нечеткого регулятора в лингвистические величины называют процедурой фазификации.

Структурная схема с нечетким псевдолинейным регулятором приведена на рисунке 1.

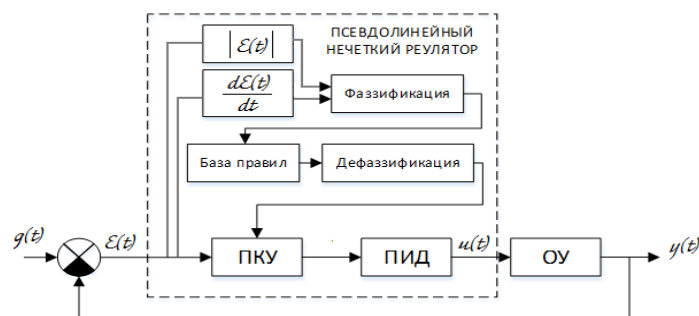
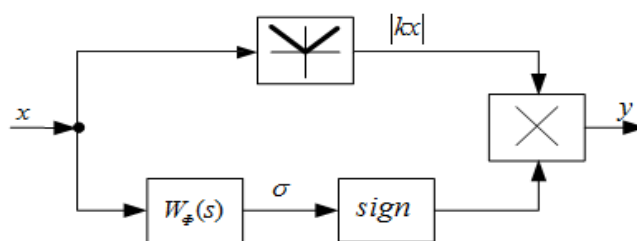


Рисунок 1 – Структурная схема с нечетким псевдолинейным регулятором

Псевдолинейный нечеткий регулятор включает в свой состав нечеткое псевдокорректирующее устройство (рис. 2) последовательно соединенное с классическим ПИД-регулятором. Подстройка параметров ПКУ осуществляется по модулю ошибки и скорости изменения ошибки



1 – блок определения модуля; 2 – интегро-дифференцирующее звено;
3 – знаковый оператор Sign, 4 – устройство перемножения

Рисунок 2 – Схема псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением

Используем ПКУ с фазовым опережением, так как основным недостатком ПИД-регулятора является наличие фазового запаздывания и высокая чувствительность к помехам в измерительном канале, поэтому он не всегда может дать хорошее качество регулирования [3].

Проверка работоспособности нечеткого регулятора проводилась в пакете Simulink среды MatLab на примере САР одноконтурной системы с ПИД и нечетким регулятором при изменении значения параметра объекта управления (рис. 4).

Моделируем САР в ППП MatLab Simulink (рис. 3)

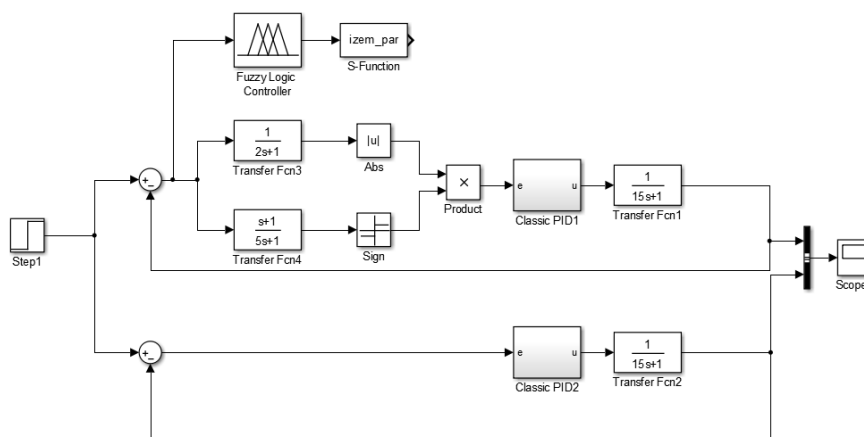
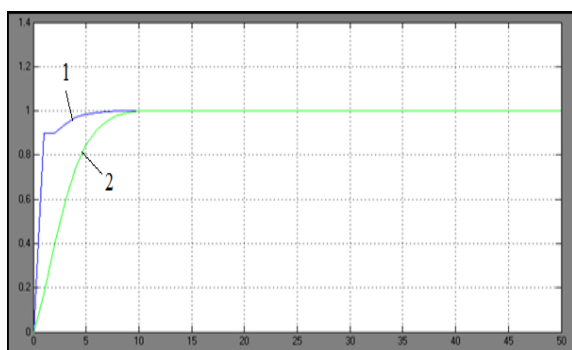


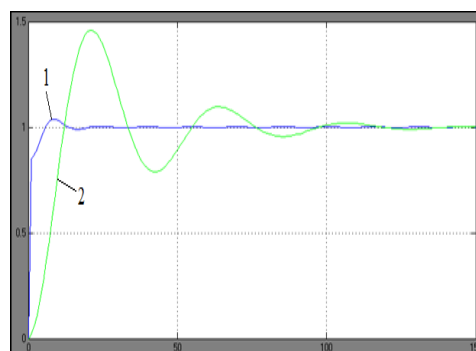
Рисунок 3 – Моделирование САР в ППП MatLab Simulink

Получаем графики переходных процессов для объекта управления с исходным и изменившимся значением постоянной времени. При этом значения параметров

регуляторов обеих систем являются неизменными. На рисунках кривая 1 соответствует системам с псевдолинейным нечетким ПИД – регулятором, а кривая 2 соответствует системам с ПИД – регулятором. Из рисунков видно, что качество регулирования системы с псевдолинейным нечетким ПИД – регулятором значительно лучше, чем системы с ПИД – регулятором при изменившихся параметрах объекта управления.



$T_1=1$ сек



$T_1=10$ сек

Рисунок 4 – Кривые переходного процесса

Вывод. Из графиков видно, что качество регулирования системы с псевдолинейным нечетким ПИД – регулятором значительно лучше, чем системы с ПИД – регулятором при изменившихся параметрах объекта управления. Входящее в состав псевдолинейное корректирующее устройство позволяет обеспечить хорошее качество регулирования при изменении параметров объекта управления, что достигается путем определения его параметров на основе аппарата нечеткой логики.

Список литературы

1. Джарратино Д. Экспертные системы: принципы разработки и программирование / Д. Джарратино – 4-е изд. – М: ООО «И.Д. Вильямс», 2007. – 1152 с.
2. Gronostajski Z. The expert system supporting the assessment of the durability of forging tools / Z. Gronostajski // International journal of advanced manufacturing technology. – 2016. – V. 82. – № 9. – P. 1973-1991.
3. Скороспешкин М.В. Псевдолинейный регулятор / М.В. Скороспешкин // Автоматика и программная инженерия. – 2013. – № 3(5). – С. 27-29.
4. Лурье Б.А. Классические методы автоматического управления / Б.А. Лурье – Спб.: БХВ. Петербург, С. 204-640.
5. Гостев В.И. Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления / В.И. Гостев — СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 416 с.
6. Гостев В.И. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления / В.И. Гостев –К.: Радиомотор, 2008. – 972 с.
7. Кущева Е.С. Разработка, исследование и программная реализации адаптивного нечеткого псевдолинейного регулятора [Электронный ресурс]. / Е.С. Кущева – Режим доступа: <https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/38627/1/TPU361680.pdf>
8. Ван Л., Дун Б. Нечеткий адаптивный ПИД-регулятор [Электронный ресурс] / Л. Ван, Б. Дун; науч. рук. В. М. Скороспешкин // II Международная научно-практическая конференция «Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов», г. Томск, 26-28 апреля 2022г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ).
9. Топчеев Ю.И. Нелинейные системы автоматического управления / Ю.И. Топчеев – М.: Машиностроение, 1971. – 470 с.
10. Куленко М.С. Исследование применения нечетких регуляторов в системах управления технологическими процессами / М.С. Куленко // Вестник ИГЭУ. – 2010. – № 2.
11. Скороспешкин М.В. Адаптивные псевдолинейные корректоры динамических характеристик систем автоматического регулирования / М.В. Скороспешкин // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309. – № 7. – С. 172-176.

References

1. Dzharratino D. Ehkspertnye sistemy: printsipy razrabotki i programmirovaniye / D. Dzharratino – 4-e izd. – M.: OOO «I.D. Vil'yamS», 2007. – 1152 s. (In Russian).
2. Gronostajski Z. The expert system supporting the assessment of the durability of forging tools / Z. Gronostajski // International journal of advanced manufacturing technology. – 2016. – V. 82. – № 9. – P. 1973-1991. (In English).
3. Skorospeshkin M.V. Psevdolineinyi regulyator / M.V. Skorospeshkin // Avtomatika i programnaya inzheneriya. – 2013. – № 3(5). – S.27-29. (In Russian).
4. Lur'e B.A. Klassicheskie metody avtomaticheskogo upravleniya / B.A. Lur'e – Spb.: BKHV. Peterburg, S. 204-640. (In Russian).
5. Gostev V.I. Proektirovaniye nechetkikh regulyatorov dlya sistem avtomaticheskogo upravleniya / V.I. Gostev – SPb.: BKHV-Peterburg, 2011. – 416 s. (In Russian).
6. Gostev V.I. Nchetkie regulatory v sistemakh avtomaticheskogo upravleniya / V.I. Gostev – K.: Radiomator, 2008. – 972 s. (In Russian).
7. Kushcheva E.S. Razrabotka, issledovanie i programnaya realizatsii adaptivnogo nechetkogo psevdolineinogo regulyatora [Ehlektronnyi resurs] / E.S. Kushcheva – Rezhim dostupa: <https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/38627/1/TPU361680.pdf>. (In Russian).
8. Van L., Dun B. Nchetkii adaptivnyi PID-regulyator [Ehlektronnyi resurs] / L. Van, B. Dun; nauch. ruk. V. M. Skorospeshkin // II Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Nauchnaya initsiativa inostrannykh studentov i aspirantov», g. Tomsk, 26-28 aprelya 2022g. / Natsional'nyi issledovatel'skii Tomskii politekhnicheskii universitet (TPU). (In Russian).
9. Topcheev YU.I. Nelineinye sistemy avtomaticheskogo upravleniya / YU.I. Topcheev – M.: Mashinostroenie, 1971. – 470 s. (In Russian).
10. Kulenko M.S. Issledovanie primeneniya nechetkikh regulyatorov v sistemakh upravleniya tekhnologicheskimi protsessami / M.S. Kulenko // Vestnik IGEHU. – 2010. – № 2. (In Russian).
11. Skorospeshkin M.V. Adaptivnye psevdolineinye korrektoory dinamicheskikh kharakteristik sistem avtomaticheskogo regulirovaniya / M.V. Skorospeshkin // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. – 2006. – T. 309. – № 7. – S. 172-176. (In Russian).

В.С. Шерстнев

Томск политехникалық ұлттық зерттеу университеті,
Ресей Федерациясы, Томск қаласы, Ленин даңғылы, 30
e-mail: vss@tpu.ru

БАСТАПҚЫ АҚПАРАТ БҰЛЫҢҒЫР БОЛҒАН КЕЗДЕ БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІН РЕТТЕУ САПАСЫН АРТТЫРУ

Бұл мақалада фазалық озық жалған сызықты түзету құрылғысы мен PID реттегішін қамтитын анық емес реттегіші бар автоматты реттеу жүйесінің қасиеттерін зерттеу берілген.

Бастапқы ақпараттың бұлыңғырлығынан туындаған белгісіздік жағдайында күрделі технологиялық жүйелерді басқарудың қазіргі заманғы теориясының перспективалы және тиімді тәсілдерінің бірі-негізделген тәсіл. сараптамалық бағалау әдістері мен бұлыңғыр жиынтық теориясын қолдану [1, 2]. Көп критерийлікпен сипатталатын технологиялық процестер негізінен бұлыңғыр ортада жұмыс істейді. Сондықтан, мұндай жүйелердің жұмыс режимдерін оңтайлы басқару үшін критерийлер векторын және бастапқы ақпараттың бұлыңғырлығын ескеру қажет. Классикалық теория тұрғысынан анық анықталмаған объектілерді басқару және реттеу жүйелерін құрудың балама әдістерінің бірі-бұлыңғыр логикалық контроллерлерді қолдану.

Сондықтан қолданыстағы микроконтроллерлер негізінде бұлыңғыр басқару реттегіштерін жасау өте өзекті міндет болып табылады, өйткені бұлыңғыр жиындар мен анық емес логикалық енгізу-шығару негізінде құрылған жалған сызықты бұлыңғыр реттегіш, бұзушылық әсердің белгісіздігі жағдайында, дәстүрлі PID реттегішіне қарағанда өтпелі сапаның жоғары көрсеткіштерін қамтамасыз ете алады.

Жалған сызықты түзету құрылғылары (PKU) ретінде біз мыналарды қолданамыз: амплитудалық тежелуі бар КУ, фазалық озық және амплитудасы мен фазасы үшін бөлек

арналары бар, өйткені PID реттегішінің негізгі кемшіліктерінің бірі фазалық кідірістің болуы және өлшеу арнасындағы кедергілерге жоғары сезімталдық

Түйін сөздер: Микроконтроллер, реттегіш, жалған сызықты түзету құрылғысы, бұлыңғыр логикалық контроллер, өтпелі сапа.

V.S. Sherstnev

National Research Tomsk Polytechnic University,
30 Lenin Ave., Tomsk, Russian Federation
e-mail: vss@tpu.ru

IMPROVING THE QUALITY OF REGULATION OF CONTROL SYSTEMS WITH UNCLEAR INITIAL INFORMATION

This article presents a study of the properties of an automatic control system with a fuzzy controller, which includes a fuzzy pseudo-linear correction device with phase advance and a PID controller.

One of the promising and effective approaches of the modern theory of control of complex technological systems in conditions of uncertainty caused by the fuzziness of initial information is an approach based on the use of expert assessment methods and the theory of fuzzy sets [1,2]. Technological processes characterized by multi-criteria function mainly in a fuzzy environment. Therefore, for optimal control of the operating modes of such systems, it is necessary to take into account the vectors of criteria and the fuzziness of the initial information. One of the alternative methods of building control and regulation systems for objects that are indistinctly defined from the point of view of classical theory is the use of so-called fuzzy logic controllers.

Therefore, the development of fuzzy control controllers based on existing microcontrollers is a very urgent task, since a pseudo-linear fuzzy controller built on the basis of fuzzy sets and fuzzy logical I/O, under the condition of uncertainty of the disturbing effect, is able to provide higher quality indicators of the transient process than a traditional PID controller.

As pseudolinear correction devices (PKU) we use: Amplitude-suppressed, phase-ahead, and with separate channels for amplitude and phase, since one of the main disadvantages of the PID controller is the presence of a phase delay and high sensitivity to interference in the measuring channel

Key words: microcontroller, regulator, pseudolinear correction device, fuzzy logic controller, transient quality.

Сведения об авторах

Владислав Станиславович Шерстнев – кандидат технических наук, доцент, руководитель Отделения информационных технологий Инженерной школы информационных технологий и робототехники; Томский политехнический университет; Российская Федерация.

Авторлар туралы мәліметтер

Владислав Станиславович Шерстнев – техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Ақпараттық технологиялар және робототехника инженерлік мектебінің Ақпараттық технологиялар бөлімінің басшысы; Томск политехникалық университеті; Ресей Федерациясы.

Information about the authors

Vladislav Stanislavovich Sherstnev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Information Technology Department of the Engineering School of Information Technology and Robotics; Tomsk Polytechnic University; Russian Federation.

Поступила в редакцию 22.01.2024

Принята к публикации 06.02.2024