

Адаптивные системы на основе конкурентных критериев оптимума

В.А. Жмудь, Л.В. Димитров
ФГБОУ ВПО НГТУ, Новосибирск, Россия, Университет Софии, София, Болгария

Аннотация: В данной статье обсуждаются новые принципы организации адаптивных систем. Они основаны на использовании двух критериев, которые изменяются в противоположном направлении при изменении, по крайней мере, одного из настраиваемых параметров. А именно: увеличение этого параметра ведет к ухудшению одного из критериев и к улучшению другого критерия. Объединение механизмов адаптации по двум критериям должно приводить к установлению некоего равновесия или к малым девиациям около равновесного состояния настраиваемых параметров. Если второй критерий отсутствует или не может быть измерен, также можно вместо него использовать фактор времени. Например, если единственный критерий работает так, что подстраиваемый параметр уменьшается, то можно обеспечить постепенное ступенчатое или непрерывное увеличение этого параметра с ходом времени. В данной статье также даны практические примеры использования этого принципа.

Ключевые слова: управление, обратная связь, автоматика, регулирование, качество управления, адаптация

ВВЕДЕНИЕ

Большинство адаптивных систем организовано на основе заданной целевой (стоимостной) функции. Такие системы содержат устройство для вычисления стоимостной функции, а также средство для девиации коэффициентов, которые должны быть подстроены в результате процесса адаптации. Как вариант, может содержаться одно средство воздействия на параметр (регулятор), на которое подаются сигнал девиации (от генератора) и сигнал обратной связи (от синхронного детектора), как показано на *Рис. 1*. Результирующее направление изменения стоимостной функции при использовании девиации настраиваемого параметра может быть определено, например, с помощью синхронного детектора. В этом случае необходимо соединение генератора девиации с тактовым входом синхронного детектора. Выходной сигнал синхронного детектора должен подаваться на средство изменения регулируемого параметра (регулятор). Регулятор обеспечивает точное и устойчивое управление регулируемым параметром.

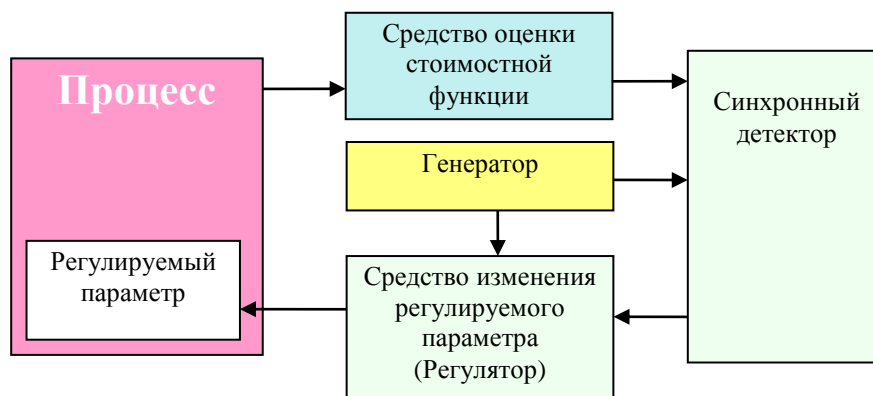


Рис. 1. Традиционная структура адаптивной системы (системы экстремального управления, то есть системы настройки на экстремум)

Этот принцип действия лежит в основе большинства известных адаптивных систем.

Можно предложить другую структуру и другой принцип действия, который основан на конкуренции двух критериев качества (или двух стоимостных функций). В этом случае принципиально различные показатели качества системы могут анализироваться различными путями и даже различными средствами оценки стоимостной функции. Конечно, оба эти критерия

зависят от переходного процесса в системе, и каждый из них характеризует качество этого процесса, но с различных точек зрения. Адаптация требует, чтобы оба критерия были удовлетворены в достаточной мере, но каждый из них улучшается различными изменениями параметров (при этом один из таких параметров улучшает каждый из таких критериев своими изменениями в противоположных направлениях). Именно такая ситуация позволяет использовать

структуру, основанную на конкурентных критериях качества.

Следует отметить, что указанный подход не является принципиально другим в сравнении с традиционными подходами. Действительно, если имеются только два критерия, имеется возможность составить на их основе единый составной критерий. Например, можно использовать взвешенную сумму, причем, весовые коэффициенты могут иметь противоположные знаки. Этот метод иллюстрируется структурой, показанной на Рис. 2.

Но также конкурентный подход позволяет

организовать адаптивную систему без вычисления взвешенной суммы различных стоимостных функций. Результат вычисления каждого такого критерия может воздействовать на регулируемый процесс через свой собственный регулятор и по своему собственному механизму воздействия.

В данной статье исследуется метод проектирования адаптивных систем, основанный на конкурентных критериях с использованием такого подхода. Результаты получены методом моделирования. Они позволяют дать рекомендации по применению этого подхода.

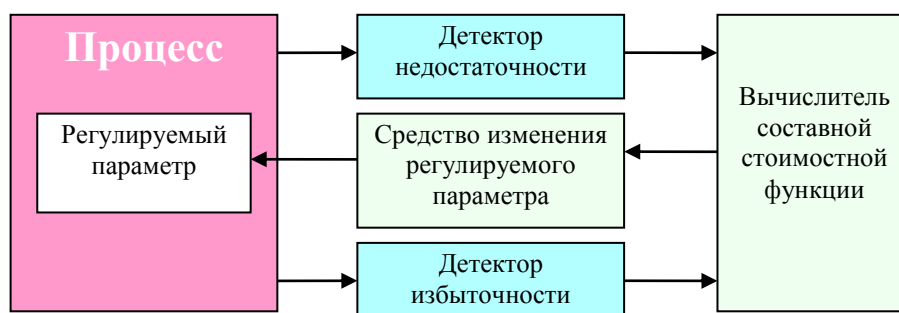


Рис. 2. Обобщенная структура адаптивной системы на основе составной стоимостной функции

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И МЕТОД РЕШЕНИЯ

Пусть имеется некоторая система, функционирование которой может быть оценено различными показателями качества. По крайней мере, два таких показателя должны изменяться в зависимости от одного параметра, который необходимо подстраивать. Пусть при этом

наиболее удобно выявлять изменения каждого из таких показателей по отдельности. Кроме того, при этом улучшение одного из показателей достигается за счет роста подстраиваемого коэффициента, а улучшение другого показателя достигается за счет уменьшения этого коэффициента.

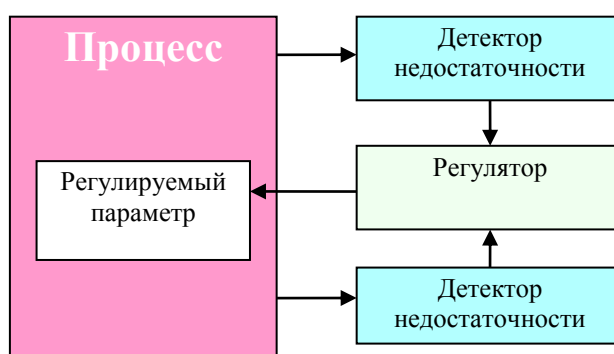


Рис. 3. Обобщенная структурная схема адаптивной системы на основе конкурентных критериев качества

Требуется некоторое компромиссное решение, которое бы обеспечило приблизительное соответствие некоторым нормам каждого из этих показателей.

Предлагается следующий метод решения.

В систему вводятся два независимых детектора, каждый из которых определяет значение или приращение каждого из

обсуждаемых параметров качества. Каждый из указанных детекторов подключается через общую схему управления или по индивидуальной схеме к устройству для изменения параметра, который следует изменять для адаптации системы.

При этом эффективность воздействия каждого из детекторов может различаться, что аналогично различным весовым коэффициентам в системе,

вычисляющей единый критерий на основе взвешенной суммы.

Таким образом, каждый из детекторов независимо друг от друга воздействует на подстраиваемый параметр: один детектор обеспечивает его рост, другой детектор обеспечивает его уменьшение. Совместное действие этих детекторов приводит к тому, что подстраиваемый параметр изменяется с незначительными колебаниями относительно некоторого равновесного состояния, которое

обеспечивает компромисс рассмотренных двух противоположных критериев качества.

Модификация этого подхода может состоять в том, что, например, один из критериев явным образом не измеряется, но имеется обоснованное устремление для изменения подстраиваемого параметра в соответствующем направлении, тогда как оставшийся критерий действует через детектор так, что это приводит к изменению подстраиваемого параметра в противоположном направлении.

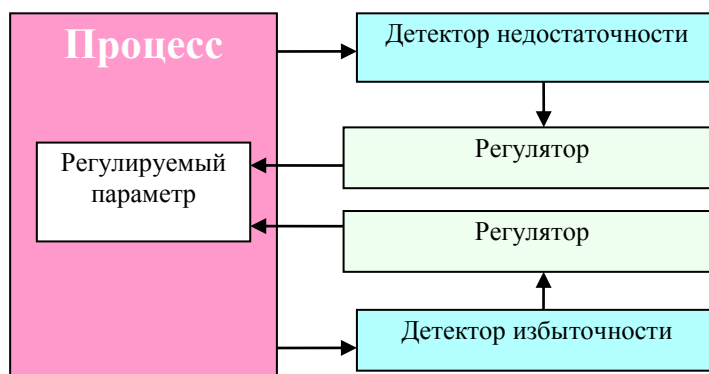


Рис. 4. Обобщенная структурная схема адаптивной системы на основе конкурентных критериев качества с разделением каналов влияния на параметр процесса

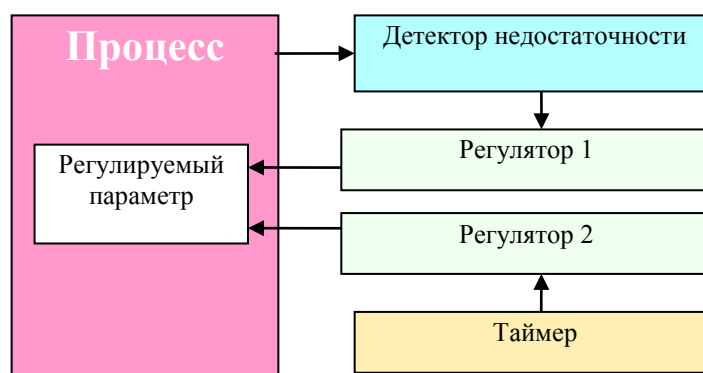


Рис. 5. Обобщенная структурная схема адаптивной системы на основе одного псевдоконкурентного критерия качества с использованием фактора времени, задаваемого таймером

2. ПРАКТИЧЕСКИЙ ПРИМЕР

Применение лавинного фотодиода (ЛФД) в оптических устройствах для детектирования слабых оптических сигналов требует тщательной настройки напряжения смещения для того, чтобы вывести ЛФД в предпробойный режим. Дело в том, что при недостаточном напряжении смещения чувствительность ЛФД слишком мала, отношение сигнал / шум недостаточно для работы оптического устройства. Если же напряжение смещения больше, чем следует, то ЛФД переходит в режим пробоя, и в результате на его выходе присутствуют крайне большие шумы, во много раз превосходящие сигнал.

Простая стабилизация напряжения смещения ЛФД не достаточно эффективна, поскольку напряжение пробоя зависит от температуры, а

также от других факторов, включая старение, которые не всегда можно полностью учесть.

Поэтому один из вариантов решения задачи повышения чувствительности (и отношения сигнал / шум) ЛФД состоит в создании адаптивной системы.

Принцип действия такой системы состоит в следующем.

По мере приближения напряжения смещения ЛФД могут возникать единичные пробои $p-n$ -перехода, которые не приводят к сбоям в работе оптической системы. Такие пробои проявляются в том, что на выходе фотоприемника возникают короткие однополярные шилообразные импульсы помехи. Эти импульсы могут быть легко удалены из сигнала путем применения полосового фильтра. Также эти импульсы можно детектировать и использовать для уменьшения

напряжения смещения. Таким образом, наличие единичных импульсов пробоя может служить критерием для уменьшения напряжения смещения.

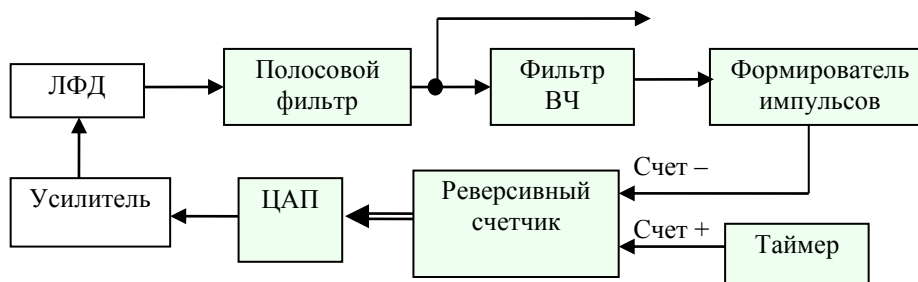


Рис. 6. Обобщенная структурная схема адаптивной системы на основе одного псевдоконкурентного критерия качества с использованием фактора времени, задаваемого таймером: ЛФД – лавинный фотодиод

Критерием для увеличения напряжения смещения могла бы служить чувствительность ЛФД, однако, ее затруднительно измерить при детектировании слабых световых сигналов, амплитуда которых не известна и не постоянна. Поэтому для увеличения напряжения смещения ЛФД можно использовать фактор времени, а именно: если за определенное наперед заданное время не появилось ни одного импульса пробоя ЛФД, но напряжение смещения ЛФД можно на небольшую величину поднять. Можно заранее установить желаемое значение количества импульсов пробоя в единицу времени, например, один пробой за одну минуту. В этом случае достаточно будет сделать так, чтобы уже первый пробойный импульс приводил к уменьшению напряжения смещения в такой мере, что

вероятность следующего пробойного импульса крайне мала. Либо, например, если система не может настолько быстро уменьшить напряжение смещения, и, предположим, при приближении к режиму пробоя проскакивает N импульсов, тогда следует сделать такую скорость нарастания этого напряжения (по фактору времени), чтобы следующее приближение к этому напряжению произошло не ранее, чем через N минут.

3. АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Другим примером применения этого принципа может служить адаптивная система с отрицательной обратной связью, схема которой показана на Рис. 6.

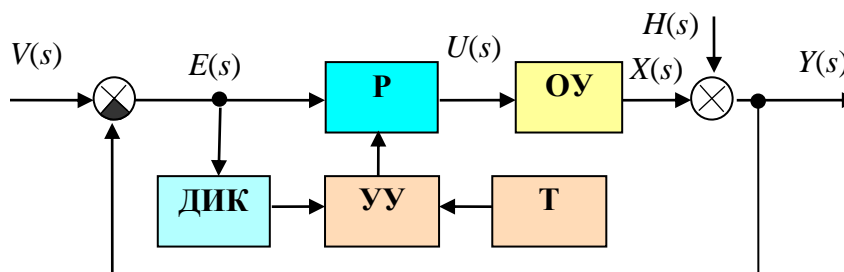


Рис. 7. Структурная схема адаптивной системы с обратной связью на основе одного псевдоконкурентного критерия качества с использованием фактора времени, задаваемого таймером: P – регулятор, ОУ – объект управления, ДИК – детектор изменения качества, УУ – таймер, $V(s)$, $E(s)$, $U(s)$, $X(s)$, $H(s)$, $Y(s)$ – традиционные переменные в операторной форме в системе с обратной связью задание, ошибка, управляющий сигнал, состояние, возмущение, выходная величина.

Детектор изменения качества в общем виде может детектировать как улучшение, так и ухудшение качества, однако, в системах автоматического регулирования выявить улучшение качества затруднительно, тогда как выявить ухудшения качества управления, как правило, не представляет проблемы.

Поэтому для рассмотрения работы систему целесообразно положить, что ДИК выявляет именно ухудшение качества работы системы с обратной связью. Сигналы такого ухудшения заставляют управляющее устройство УУ

уменьшать коэффициент, вызывающий такое ухудшение. Сигналы с выхода таймера заставляют управляющее устройство постепенно увеличивать этот коэффициент.

Поскольку большинство управляющих устройств реализованы на основе цифровой электронной техники, где непременно имеется таймер, необходимый для ее нормальной работы, внешний таймер не обязателен, поэтому элемент, указанный на схеме Рис. 5, обозначенный как «Таймер» может отсутствовать, то есть входить в состав управляющего устройства.

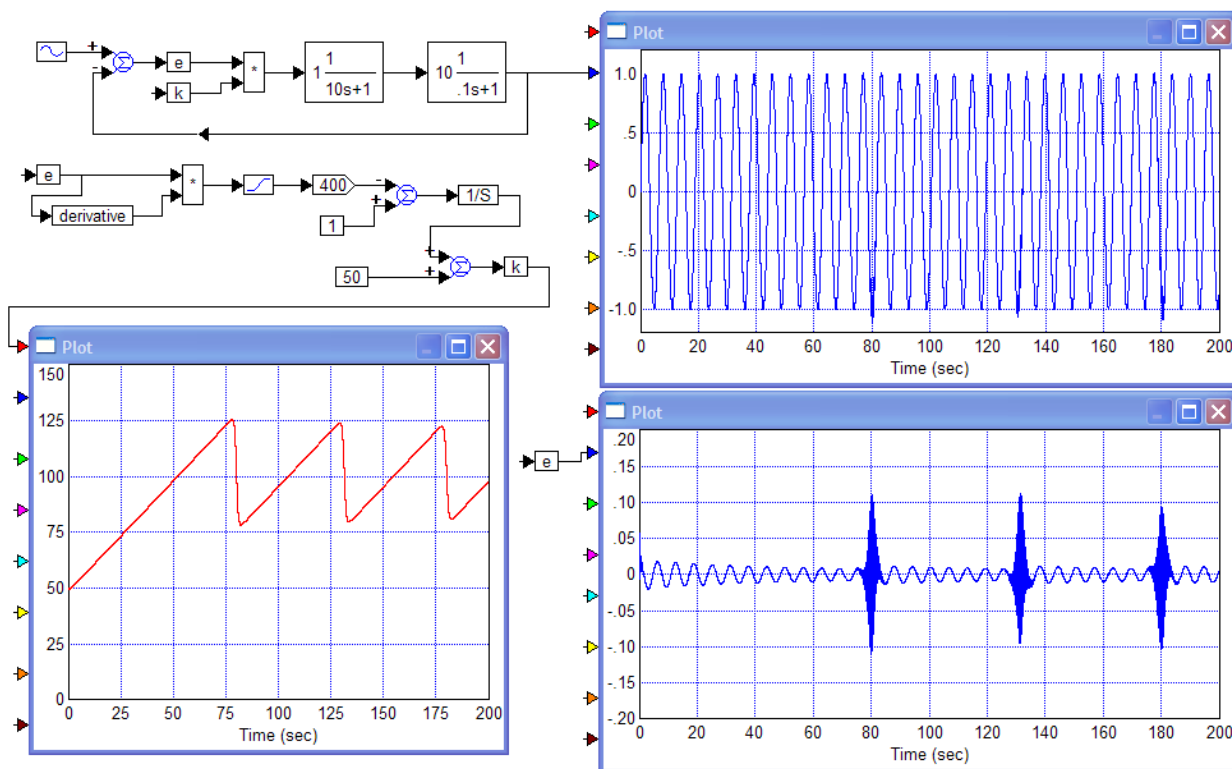


Рис. 8. Модель адаптивной системы, реализующей принцип, показанный на Рис. 5, а также сигналы, иллюстрирующие ее работу при численном моделировании в программе VisSim 6.0

На Рис. 8 показан пример такой системы при управлении объектом второго порядка с помощью пропорционального регулятора. При этом задающий сигнал, предписывающий значение выходной величины объекта, изменяется по гармоническому закону. Стартовое значение коэффициента усиления регулятора задано равным 50. Имеющийся в системе интегратор интегрирует сумму двух сигналов, а именно: сигнала, равного единице, что задает скорость положительного роста коэффициента регулятора, и сигнал с выхода детектора избыточности. В данном случае таким детектором является устройство, вычисляющее произведение ошибки, то есть сигнала $e(t)$, на ее производную по времени. На выходе умножителя этих сигналов установлен ограничитель, отсекающий отрицательную часть этого произведения, полученная положительная часть подается с коэффициентом усиления 400 на второй вход суммирующего устройства со знаком «минус», что определяет направление и скорость уменьшения сигнала, который задает значение коэффициента усиления в системе. Динамика изменения этого коэффициента показана на графике в правом нижнем углу на Рис. 6. Результат работы системы в виде выходного сигнала показан на графике в верхнем правом углу на этом же рисунке, а в нижнем правом углу показана ошибка управления.

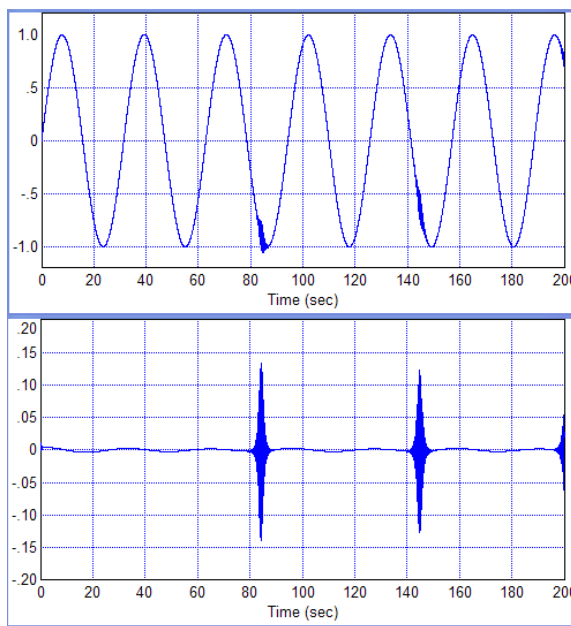


Рис. 9. Сигналы в той же системе уменьшения частоты сигнала задания в 5 раз

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе исследован метод расчета двухканального регулятора одной выходной величины, основанный на численной оптимизации. Выявлены причины недостаточно эффективной работы быстрого канала, заключающиеся в недостаточном учете ограничения, что приводит к тому, что

дифференцирование вместо полезного свойства становится вредным, поэтому соответствующий коэффициент становится отрицательным. Предложены рекомендации для преодоления этой проблемы.

Работа выполнена по заданию Минобрнауки России, проект №2014/138, тема проекта «Новые структуры, модели и алгоритмы для прорывных методов управления техническими системами на основе наукоемких результатов интеллектуальной деятельности».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] A phase-locked loop system for the difference frequency of two lasers. Barmasov S.V., Zhmud' V.A. Instruments and Experimental Techniques. 2000. Т. 43. № 3. P. 381-383.
- [2] Электронная система стабилизации частоты He-Ne лазера по линиям поглощения метана. Жмудь В.А., Бармасов С.В., Гительсон В.Д. Приборы и техника эксперимента. 1999. № 4. С. 127 (An electronic system for stabilizing of the frequency of the He-Ne laser to the methane absorption lines. Zhmud V.A., Barmasov S.V., Gitel'son V.D. Instruments and Experimental Techniques. 1999. Т. 42. № 4. P. 551-557).
- [3] V. A. Zhmud. The Use of the Feedback Control Systems in Laser Physics Researching Experiments. // Proceedings of RFBR and DST Sponsored "The 2-nd Russian-Indian Joint Workshop on Computational Intelligence and Modern Heuristics in Automation and Robotics", 10 – 13 September, 2011, Additional volume, pp.40–43.
- [4] Жмудь В. А. Моделирование, исследование и оптимизация замкнутых систем автоматического управления. Монография. Новосибирск, Изд-во НГТУ, 2012. – 335 с.
- [5] В.А. Васильев, А.А. Воевода, В.А. Жмудь, В.А. Хассуонех. Цифровые регуляторы: целевые функции настройки, выбор метода интегрирования, аппаратная реализация. Сборник научных трудов НГТУ, 2006. N 4 (46). С. 3–10.
- [6] А.С. Востриков, А.А. Воевода, В.А. Жмудь. Эффект понижения порядка системы при управлении по методу разделения движений. Научный вестник НГТУ. - 2005. - N 3(21). с.3-21.
- [7] А.А. Воевода, В.А. Жмудь. Сохранение и повышение порядка асимптотического уравнения системы при управлении по методу разделения движений. Научный вестник НГТУ. - 2006. - N 1(22). с.3-9.
- [8] А.А. Воевода, В.А. Жмудь. Сходимость алгоритмов оптимизации регулятора для объекта с ограничителем и с запаздыванием. Научный вестник НГТУ. - 2007. - N 4(29). с.179-184.
- [9] The modeling tests of the new PID-regulators structures. Voevoda, A.A., Zhmud, V.A., Ishimtsev, R.Y., Semibalamut, V.M. 2009. Proceedings of the IASTED International Conference on Applied Simulation and Modelling, ASM 2009. P.165 – 168.
- [10] Modern key technologies in automatics: Structures and numerical optimization of regulators. Zhmud, V., Yadrishnikov, O., Poloshchuk, A., Zavorin, A. 2012. Proceedings - 2012 7th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2012.
- [11] The design of the feedback systems by means of the modeling and optimization in the program vissim 5.0/6.
- Zhmud, V., Liapidevskiy, A., Prokhorenko, E. 2010. Proceedings of the IASTED International Conference on Modelling, Identification and Control. PP. 27–32.
- [12] V. Zhmud, O. Yadrishnikov. Numerical optimization of PID-regulators using the improper moving detector in cost function. Proceedings of the 8-th International Forum on Strategic Technology 2013 (IFOST-2013), vol. II, 28 June – 1 July. Mongolian University of Science and Technology, Ulaanbaator, Mongolia. IEEE organized. 2013. P. 265 – 270. <http://www.must.edu.mn/IFOST2013/>
- [13] V. Zhmud, A. Polishchuk, A. Voevoda, R. V. Rao. The Tuning of the PID-Regulator for Automatic Control System of Thermo Energetic Equipment // Proceedings of the Fifth International Conference on Advances in Mechanical Engineering (ICAME-2011), June 06-08, 2011. Surat – 395 007, Gujarat, India. pp. 254-263.
- [14] В.А. Жмудь, А.Н. Заворин. Метод проектирования энергосберегающих регуляторов для сложных объектов с частично неизвестной моделью. В кн.: Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды XVI Международной конференции 30 июня – 03 июля 2014 г., Самара. Россия. С. 557–567.
- [15] Zhmud V.A., Zavorin A.N. Metodi di ottimizzazione del controllo numerico su una modelli troncati. Italian Science Review, 2014, № 4(13). PP. 686-689. Available at URL: <http://www.ias-journal.org/archive/2014/april/Zhmud.pdf> and <http://www.ias-journal.org/archives/april-2014>
- [16] В. Дьяконов. VisSim + Mathcad + MATLAB. Визуальное математическое моделирование. – М. СОЛОН-Пресс. 2004. – 384 с.
- [17] В. Дьяконов. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5 в математике и моделировании. Полное руководство пользователя. – М. СОЛОН-Пресс. 2003. – 576 с.
- [18] A phase-locked loop system for the difference frequency of two lasers. Barmasov S.V., Zhmud' V.A. Instruments and Experimental Techniques. 2000. Т. 43. № 3. P. 381-383.
- [19] An electronic system for stabilizing of the frequency of the He-Ne laser to the methane absorption lines. Zhmud V.A., Barmasov S.V., Gitel'son V.D. Instruments and Experimental Techniques. 1999. Т. 42. № 4. P. 551-557. (Электронная система стабилизации частоты He-Ne лазера по линиям поглощения метана. Жмудь В.А., Бармасов С.В., Гительсон В.Д. Приборы и техника эксперимента. 1999. № 4. С. 127).



Lubomir Vankov Dimitrov – Dean of engineering faculty of the Technical University of Sofia, Doctor, Professor, Bulgaria, the author of over 200 scientific articles. Research interests: mechatronics, automation, microelectronic modules and their application (MEMS).
E-mail: lubomir_dimitrov@tu-sofia.bg



Вадим Аркадьевич Жмудь – заведующий кафедрой Автоматики НГТУ, профессор, доктор технических наук.
E-mail: oao_nips@bk.ru

Adaptive feedback systems on the base of Concurrent Criteria of Optimum

V.A. Zhmud, L.V. Dimitrov

Abstract –The paper discusses new principle of the organization of the adaptive system. It is based on the use of two quality criteria, which are changed for the worse as a result of the increment in the adjustable parameters in the different directions. Namely, if the increase of this parameter leads to deterioration of one of the criteria, it must lead to an improvement in another criterion. The combined effect of the two adaptation mechanisms should lead to the establishment of equilibrium or small fluctuations around the equilibrium state of adjustable parameters. If the second criterion is missing or can not be measured, it can be used factor of the time instead of it. For example, if the only criterion tends to reduce the adjustable parameters, then with the passage of some time, gradual or stepwise increase of this parameter should occur. The paper also gives practical example of a system based on this principle.

Keywords: control, feedback, automation, regulator, quality of the control, accuracy, adaptation

REFERENCES

- [1] A phase-locked loop system for the difference frequency of two lasers. Barmasov S.V., Zhmud' V.A. Instruments and Experimental Techniques. 2000. T. 43. № 3. P. 381-383.
- [2] An electronic system for stabilizing of the frequency of the He-Ne laser to the methane absorption lines. Zhmud V.A., Barmasov S.V., Gitel'son V.D. Instruments and Experimental Techniques. 1999. T. 42. № 4. P. 551-557.
- [3] V. A. Zhmud. The Use of the Feedback Control Systems in Laser Physics Researching Experiments. // Proceedings of RFBR and DST Sponsored "The 2-nd Russian-Indian Joint Workshop on Computational Intelligence and Modern Heuristics in Automation and Robotics", 10 – 13 September, 2011, Additional volume, pp.40–43.
- [4] V.A. Zhmud. Simulation, research and optimization of locked system of automatic control. Monograph. Novosibirsk. Publishing house of NSTU. 2012. – 335 p.
- [5] V.A. Vasiliev, A.A. Voevoda, VA Zhmud, V.A. Hassuoneh. Digital controls: cost function, the choice of integration method, hardware implementation. Collection of scientific works of NSTU, 2006. N 4 (46). P. 3-10.
- [6] A.S. Vostrikov, A.A. Voivod, V.A. Zhmud. The effect of reducing the order of the system that by the method of separation of motions. Scientific Bulletin of the NSTU. - 2005. - N 3 (21). P.3-21.
- [7] A.A. Voevoda, V.A. Zhmud. Maintenance and improvement of the order of the asymptotic equation of the system controlled by the method of separation of motions. Scientific Bulletin of the NSTU. - 2006. – N 1 (22). P.3-9.
- [8] A.A. Voevoda, V.A. Zhmud. The convergence of the optimization algorithms for object control with limiter and delay. Scientific Bulletin of the NSTU. - 2007. - N 4 (29). s.179-184.
- [9] The modeling tests of the new PID-regulators structures. Voevoda, A.A., Zhmud, V.A., Ishimtsev, R.Y., Semibalamut, V.M. 2009. Proceedings of the IASTED International Conference on Applied Simulation and Modelling, ASM 2009. P.165 – 168.
- [10] Modern key technologies in automatics: Structures and numerical optimization of regulators. Zhmud, V., Yadrishnikov, O., Poloshchuk, A., Zavorin, A. 2012. Proceedings - 2012 7th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2012.
- [11] The design of the feedback systems by means of the modeling and optimization in the program vissim 5.0/6. Zhmud, V., Liapidevskiy, A., Prokhorenko, E. 2010. Proceedings of the IASTED International Conference on Modelling, Identification and Control. PP. 27–32.
- [12] V. Zhmud, O. Yadrishnikov. Numerical optimization of PID-regulators using the improper moving detector in cost function. Proceedings of the 8-th International Forum on Strategic Technology 2013 (IFOST-2013), vol. II, 28 June – 1 July. Mongolian University of Science and Technology, Ulaanbaator, Mongolia. IEEE organized. 2013. P. 265 – 270. <http://www.must.edu.mn/IFOST2013/>
- [13] V. Zhmud, A. Polishchuk, A. Voevoda, R. V. Rao. The Tuning of the PID-Regulator for Automatic Control System of Thermo Energetic Equipment // Proceedings of the Fifth International Conference on Advances in Mechanical Engineering (ICAME-2011), June 06-08, 2011. Surat – 395 007, Gujarat, India. pp. 254-263.
- [14] V.A. Zhmud, A.N. Zavorin. The method of designing energy-saving controllers for complex objects with partially unknown model. In the book: Issues of control and modeling in complex systems. Proceedings of the XVI International Conference June 30 - July 3, 2014, Samara. Russia. P. 557-567.
- [15] Zhmud V.A., Zavorin A.N. Metodi di ottimizzazione del controllo numerico su una modelli troncati. Italian Science Review, 2014, № 4(13). PP. 686-689. Available at URL: <http://www.ias-journal.org/archive/2014/april/Zhmud.pdf> and <http://www.ias-journal.org/archives/april-2014>
- [16] V. Dyakonov. VisSim + Mathcad + MATLAB. The visual mate-matic simulation. - M. SOLON-Press. 2004 - 384 p.
- [17] V. Dyakonov. MATLAB 6 / 6.1 / 6.5 + Simulink 4/5 in mathematics and modeling. Full user manual. - M. SOLON-Press. 2003 - 576 p.
- [18] A phase-locked loop system for the difference frequency of two lasers. Barmasov S.V., Zhmud' V.A. Instruments and Experimental Techniques. 2000. T. 43. № 3. P. 381-383.
- [19] An electronic system for stabilizing of the frequency of the He-Ne laser to the methane absorption lines. Zhmud V.A., Barmasov S.V., Gitel'son V.D. Instruments and Experimental Techniques. 1999. T. 42. № 4. P. 551-557.