



## 2 АВТОМАТИЧНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

воды. Так как, электроэнергия отпускается по цене зависящей от количества уже потребленного ресурса, а также от времени суток, следует активно использовать этот факт и переходить на многозонные счетчики электроэнергии;

3. Следует по возможности активно использовать тепловые насосы. А если комбинировать использование ТН и многозонного тарифа на электроэнергию, то можно получать в ночное время тепловую энергию по очень низкой себестоимости.

### Литература

1. Verda, V., Guelpa, E., Kona, A., Lo Russo, S. Reduction of primary energy needs in urban areas trough optimal planning of district heating and heat pump installations // Energy. 2012. – № 48(1). – pp. 40–46.;
2. Бабич С.В. Целевая функция структурной оптимизации городских систем теплоснабжения / С.В. Бабич, В.О. Давыдов // Тр. Одес. нац. политехн. ун-та. – О., 2014. – Вып. 2 (36). – С. 146–154.;
3. Томович Р. Общая теория чувствительности. Пер. с сербск. и с англ. под ред. Цыпкина Я.З. – М.: Изд-во «Советское радио» – 1972. – 240 с.;
4. Максимова О.Б. Управление системой теплоснабжения с изменяемой структурой технических средств / О.Б. Максимова, В.О. Давыдов, С.В. Бабич // Проблемы управления и информатики: междунар. науч.-техн. журн. 2014. – №3. – С. 50–60.

### References

1. Verda, V., Guelpa, E., Kona, A., Lo Russo, S. Reduction of primary energy needs in urban areas trough optimal planning of district heating and heat pump installations // Energy. 2012. – № 48(1). – pp. 40–46.;
2. Babich S.V. Celevaya funkciya strukturnoj optimizacii gorodskix sistem teplosnabzheniya / S.V. Babich, V.O. Davydov // Tr. Odes. nac. politexn. un-ta. – O., 2014. – Вып. 2 (36). – С. 146–154.;
3. Tomovich R. Obshhaya teoriya chuvstvitelnosti. per. s serbsk. i s angl. pod red. Cypkina Ya.Z. – M.: Izd-vo «Sovetskoe radio» – 1972. – 240 S.;
4. Maksimova O.B. Upravlenie sistemoj teplosnabzheniya s izmenyaemoj strukturoj texnicheskix sredstv / O.B. Maksimova, V.O. Davydov, S.V. Babich // Problemy upravleniya i informatiki: mezhdunar. nauch.-texn. zhurn. 2014. – №3. – С. 50–60.

УДК: 681.5: 621.515

# КОНТУР САМОНАСТРОЙКИ НЕЙРО-НЕЧЕТКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ С ЦЕНТРОБЕЖНЫМ КОМПРЕССОРОМ

Гурский А.А.<sup>1</sup>, Денисенко В.А.<sup>2</sup>, Гончаренко А.Е.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса  
ORCID: [0000-0001-5158-2125](https://orcid.org/0000-0001-5158-2125)

<sup>2</sup>Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса

Copyright © 2014 by author and the journal “Automation technological and business - processes”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



DOI: [10.15673/2312-3125.20/2015.36967](https://doi.org/10.15673/2312-3125.20/2015.36967)

### Аннотация

В статье рассматривается принцип реализации контура самонастройки нейро-нечеткой системы управления холодильным центробежным компрессором. Представлен обзор современных достижений в



## 2 АВТОМАТИЧНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

соответствующей области. Поставлена цель работы – повышение динамической точности нечеткой системы управления холодильной установкой с центробежным компрессором. Для достижения поставленной цели необходимо было разработать модель объекта управления с нечеткой системой, а затем выполнить синтез контура самонастройки согласно алгоритму, формируемому на основе особенности архитектуры нейро-нечеткой сети и поставленных задач. В работе представлена лицевая панель разработанного виртуального стенда, средствами среды Labview, предназначенного для исследования сложных систем управления холодильных турбокомпрессорных установок. Определен показатель качества функционирования системы. Приведен способ формирования данного показателя качества в системе, средствами среды Labview. Описан принцип функционирования модели системы управления с контуром самонастройки. Показан способ применения сети Петри в самонастраивающейся системе, а также приведен фрагмент программы в среде Labview отражающий работу сети Петри, которая определяет алгоритм изменения параметров нейро-нечеткой системы управления. Представлен анализ результатов моделирования системы управления с контуром самонастройки. На основании анализа результатов моделирования делается вывод что синтез контура самонастройки выполнен верно. Однако данную синтезированную систему следует рассматривать как первое приближение к некоторому оптимальному варианту, учитывающему модификацию всех элементов системы и обладающему развитым механизмом адаптации.

### Abstract

Self-adjustment contour of the neuro-fuzzy control system for the refrigerating machinery with the centrifugal compressor principle of realization is considered in the article. The review of modern achievements in corresponding field is presented. The purpose of scientific work is dynamic accuracy increase of the fuzzy control system for the refrigerating machinery with the centrifugal compressor. The control system with the self-adjustment contour was worked out in this work. The virtual stand was designed in Labview environment. This virtual stand is intended for research of the complex control systems for the refrigerating machineries with the centrifugal compressor. The parameter quality of the control system functioning is determined. The way of this parameter quality formation is represented in Labview environment. The principle of the control system with the self-adjustment model functioning is described. The way of Petri network in the self-adjusted system employment is shown. The fragment of the program describing Petri net work in Labview environment is presented. This Petri net determines algorithm of the parameters alteration for the neuron-fuzzy control systems. The analysis of control systems with self-adjustment contour modeling results is presented. The analysis of modeling results is shown that the synthesis of the self-adjustment contour is fulfilled correctly. This synthesized system is considered as the beginning of the optimum variant. The best variant of the system appreciates all elements alteration of the system and the one possesses the self-organizing mechanism.

### Ключевые слова

Сеть Петри, нейро-нечеткая система, центробежный компрессор, контур самонастройки.

### Введение.

Традиционные, типовые системы управления на основе стандартных ПИД-регуляторов наилучшим образом функционируют при относительно невысокой сложности объекта управления и наличии достаточно полной информации о нем. Однако, в противном случае, когда сложность объекта управления высокая или информация о нем недостаточна, то целесообразно в некоторых случаях использовать интеллектуальные технологии управления. В настоящее время число публикаций, посвященных интеллектуальным технологиям управления огромное, тем самым отражается тенденция будущего развития систем управления.

### Обзор современных достижений.

Учитывая специфику развития технологий управления и особенности объекта, в работе [1] рассматривалась принципиальная пригодность применения аппарата нечеткой логики в системе управления холодильным центробежным компрессором. Холодильный центробежный компрессор (ХЦК) как объект автоматического управления является достаточно сложным, а именно многомерным, существенно нелинейный с неустойчивой областью функционирования. Данные особенности ХЦК определяют его в область эффективного применения интеллектуальной системы управления на базе аппарата нечеткой логики.



## 2 АВТОМАТИЧНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

Системы с нечеткой логикой имеют важную особенность – это принцип построения на основе формализованных знаний экспертов [2]. Однако экспертные данные, на основе которых строиться система с нечеткой логикой, могут оказаться не вполне адекватными. Вследствие этого, был предложен аппарат нечетких нейронных сетей (Fuzzy Neural Networks) также известный под названием адаптивных нейро-нечетких систем (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, ANFIS) [3]. В настоящей работе при синтезе системы управления холодильным центробежным компрессором, построенной на базе нечеткой логики, выполнялся некоторый алгоритм действий. Данный алгоритм действий, сформированный на основе особенности архитектуры нечеткой сети и поставленных задач, может являться алгоритмом адаптации нейро-нечеткой системы (ANFIS) и он может быть положен в основу разработки контура самонастройки.

### Цель и задача настоящей работы

Цель настоящей работы – повышение динамической точности нечеткой системы управления холодильной установкой с центробежным компрессором. Для достижения поставленной цели необходимо было разработать модель объекта управления с нечеткой системой, а затем выполнить синтез контура самонастройки согласно алгоритму, формируемому на основе особенности архитектуры нечеткой сети и поставленных задач.

### Особенность разработанной системы

В настоящей работе в среде Labview была разработана модель холодильной установки с центробежным компрессором как объектом управления, а также система управления с нечетким логическим регулятором, структурная схема которого аналогична многослойной нейронной сети.

Разработанная модель была выполнена в составе виртуального лабораторного стенда общий вид которого представлен на рисунке 1. Из рисунка 1 видно, что данная разработка дает широкий спектр возможностей в рамках проведения различных экспериментов. А именно, возможно наблюдать изменение различных технологических параметров, а также показателей энергоэффективности функционирования холодильной установки при этом, если необходимо можно корректировать работу системы, изменить режим функционирования, переключать различные контуры управления и т.д.

Таким образом, виртуальный лабораторный стенд позволяет проводить различные исследования в области анализа функционирования холодильной турбокомпрессорной установки при различных системах управления, настройках регуляторов и режимах работы.

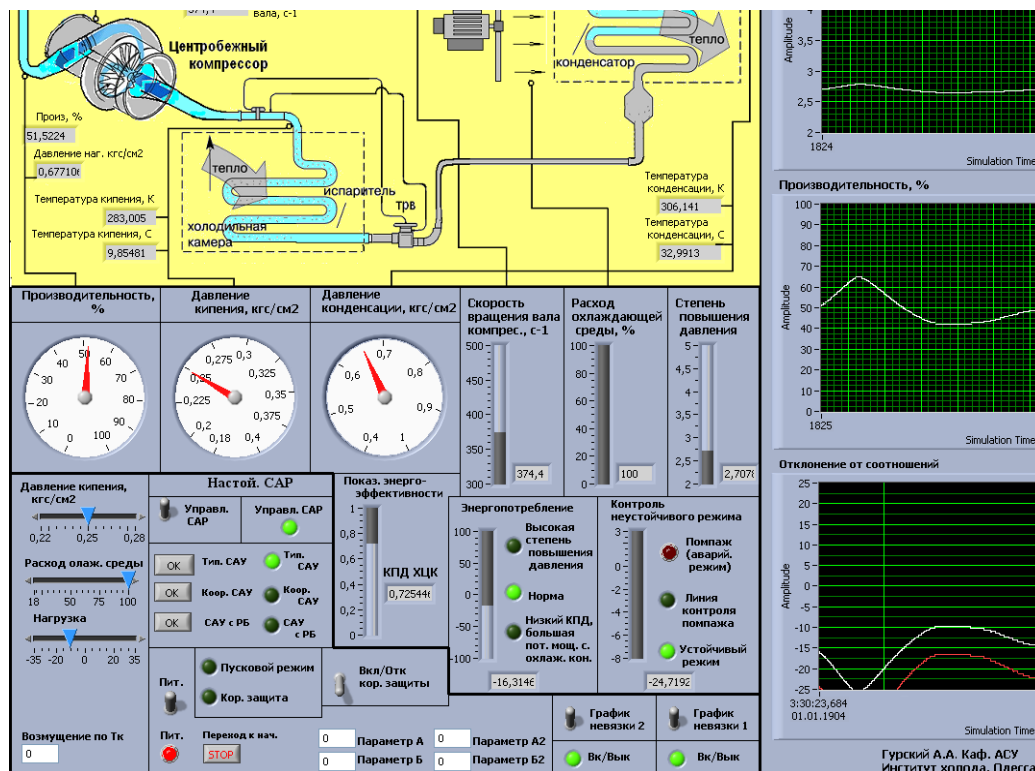


Рис. 1. Лицевая панель виртуального лабораторного стенда для исследования функционирования холодильной турбокомпрессорной установки при различных системах управления



## 2 АВТОМАТИЧНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

### Формирование показателя качества функционирования системы

Для синтеза контура самонастройки нечеткой системы первоначально необходимо определить показатель качества функционирования и его формирование в системе.

При периодическом тестовом воздействии, для оценки качества функционирования, формируются интегралы квадрата ошибки регулирования за интервал времени  $t_0 - t_1$  и за интервал времени  $t_2 - t_3$ , где  $t_0 < t_2$ ,  $(t_1 - t_0) = (t_3 - t_2)$ .

Если значение  $J_2 = \kappa_1 \cdot \left[ \int_{t_0}^{t_1} \delta^2(t) dt - \int_{t_2}^{t_3} \delta^2(t) dt \right]$  уменьшается, то изменение параметров настройки системы

выполнено в нужном направлении. Показатель  $J_2$  формируется посредством интегрирующего звена и звена чистого запаздывания (рисунок 2).

В конечном итоге в системе формируется показатель качества функционирования следующего вида:

$$J_3 = \kappa_1 \cdot \left[ \int_{t_0}^{t_1} \delta^2(t) dt - \int_{t_2}^{t_3} \delta^2(t) dt \right] - \kappa_2 \cdot \left[ \int_{t_1}^{t_4} \delta^2(t) dt - \int_{t_3}^{t_5} \delta^2(t) dt \right]$$

где  $(t_1 - t_0) = (t_3 - t_2) = (t_4 - t_1) = (t_5 - t_3)$ ,  $t_0 < t_2 < t_1 < t_3 < t_4 < t_5$ .

Принято если значение показателя  $J_3$  больше 1 ( $J_3 > 1$ ), то изменение параметров настройки выполнено неверно. На рисунке 2 представлена схема формирования показателя  $J_3$  средствами среды Labview.

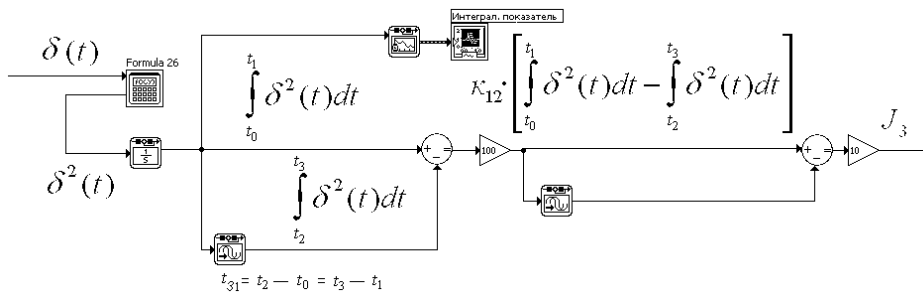


Рис. 2. Схема, разработанная средствами среды Labview, отражающая формирование показателя качества функционирования системы

### Принцип функционирования модели

Для оптимизации работы системы управления (уменьшения значения показателя функционирования  $J_2$ ) необходимо выполнить определенный алгоритм действий связанный с настройкой нечеткой нейронной сети исполняющей роль регулятора.

Данный алгоритм действий может быть представлен сетью Петри, матрица инцидентности которой может быть сформирована на основе особенности архитектуры нейронной сети, поставленных задач и тд. Наличие маркера в той или иной позиции сети Петри определяет модификацию (изменение) соответствующего весового коэффициента в нейронной сети.

Упрощенная структурная схема модели самонастраивающейся системы представлена на рисунке 3. Как видно из рисунка на вход системы подается синусоидальное тестовое воздействие (задающее воздействие  $Y_3(t)$ ) при этом в системе работают контуры регулирования и самонастройки одновременно до тех пор, пока не будет отработан весь алгоритм действий связанный с настройкой системы.

## 2 АВТОМАТИЧНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

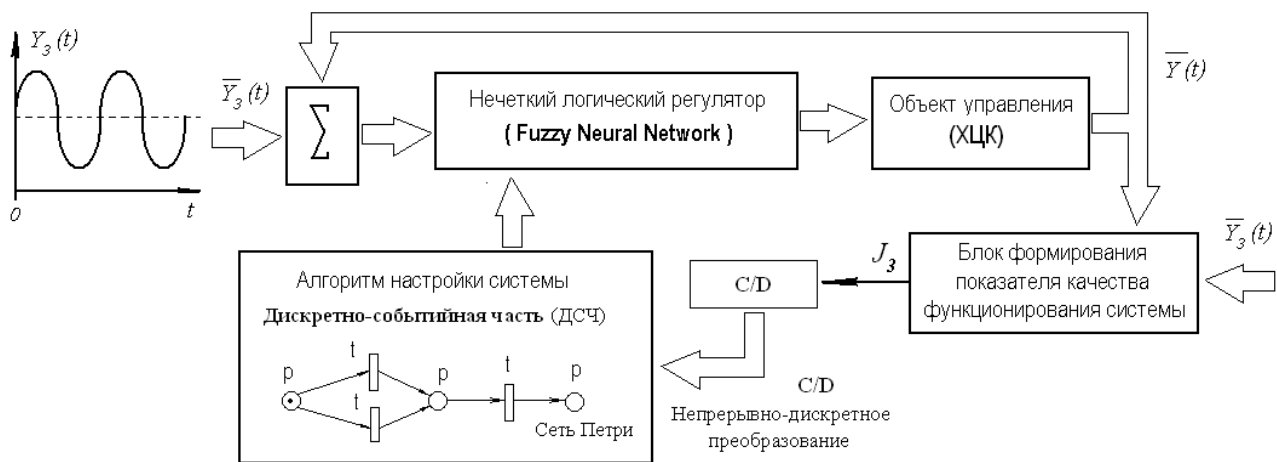


Рис. 3. Упрощенная структурная схема модели самонастраивающейся системы

В настоящей работе в среде Labview была разработана программа, отражающая работу сети Петри  $N_d = (P_d, T_d, F_d, m_0)$ , состоящей из 5-и дискретных позиций  $P_d$  и 4-х переходов  $T_d$ . Работа данной сети Петри связана с модификацией весовых коэффициентов определяющих функции принадлежности к нечетким множествам в системе управления холодильным центробежным компрессором, построенной на базе нечеткой логики. Уравнение движения маркировки  $m$  сети Петри, условие срабатывания переходов и формирование вектора запуска [5] были представлены в блоке Formula Node среды Labview (рисунок 4).

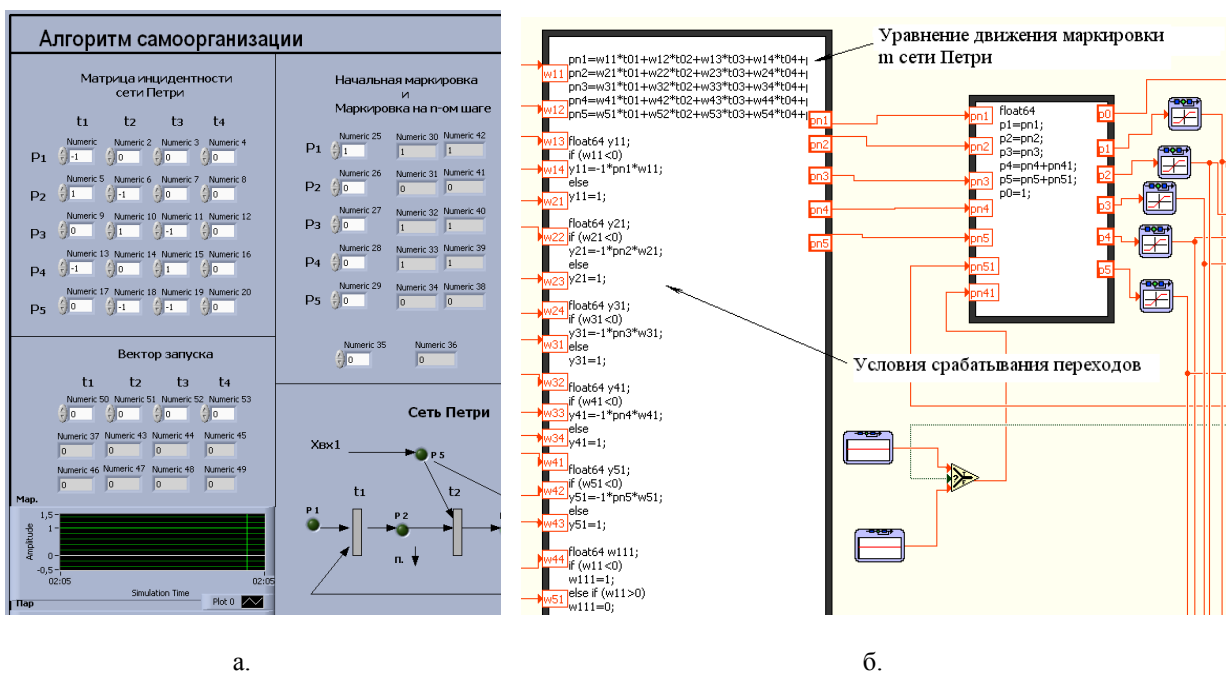


Рис. 4. Лицевая панель стенда (а.) и фрагмент программы (б.), описывающей функционирования сети Петри в среде Labview

### Анализ результатов

На рисунке 5 представлен процесс самонастройки системы при периодическом тестовом воздействии – изменение показателя  $J_3$  во времени при изменении параметров настройки (коэффициентов определяющих форму функции принадлежности к множествам «большой положительный» и «большой отрицательный»). Из графиков,



## 2 АВТОМАТИЧНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

представленных на рисунке 5 видно, что первоначально изменение параметра настройки  $\kappa_1$  было выполнено не в нужном направлении, вследствие этого показатель  $J_3$  превысил значение  $+1$  после чего изменение параметра настройки началось в противоположном направлении.

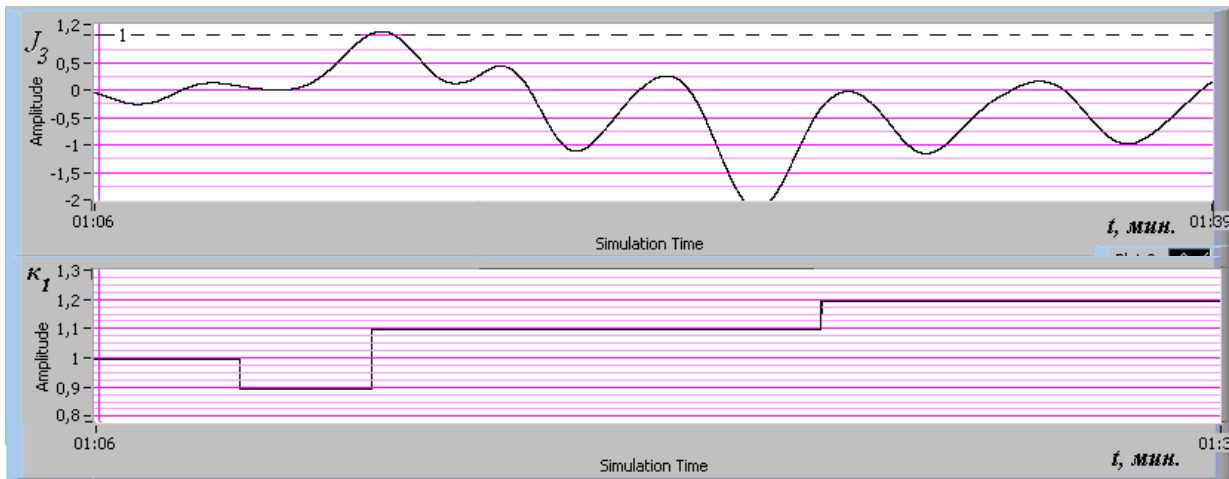


Рис. 5. Графики изменения показателя  $J_3$  и коэффициента  $\kappa_1$  во времени при самонастройке системы

На рисунке 6 представлен результат эффективности самонастройки системы – переходные процессы по производительности центробежного компрессора до самонастройки (рисунок 6а.) и после самонастройки (рисунок 6б.). Из графиков переходных процессов, представленных на рисунке 6, видно что в результате самонастройки время переходного процесса  $t_{nn}$  значительно уменьшилось при незначительном увеличении перерегулирования, исходя из этого можно сделать вывод, что синтез контура самонастройки был выполнен правильно.

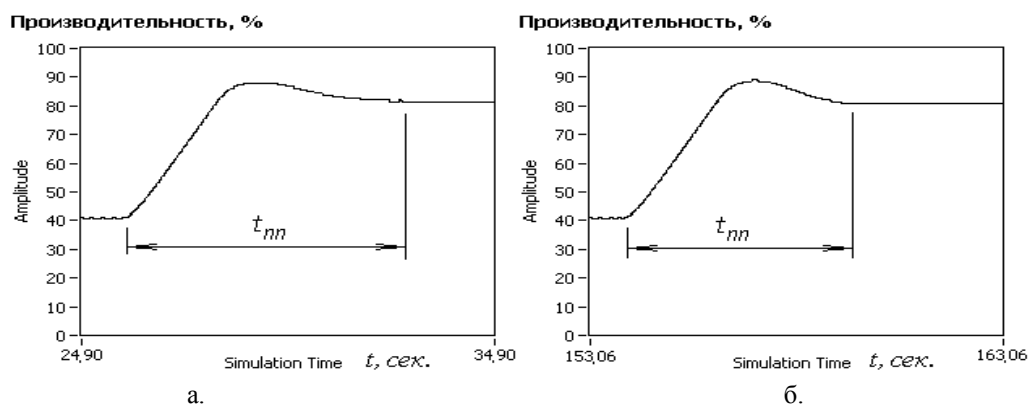


Рис. 6. Графики переходных процессов по производительности холодильного центробежного компрессора а. – до самонастройки системы и б. – после самонастройки системы

### Выводы

Исходя из анализа процессов и результатов самонастройки системы можно сделать вывод что синтез системы управления с аппаратом нечеткой логики и контуром самонастройки выполнен верно. Однако данную синтезированную систему следует рассматривать как первое приближение к некоторому оптимальному варианту, учитывающему модификацию всех элементов системы и обладающему механизмом самоорганизации, предполагающим изменение: числа продукционных правил, типа алгоритма нечеткого вывода, вида функций принадлежности и тд. Подобный вариант позволит создать интеллектуальную систему управления сложным объектом, обеспечивающую динамическую точность регулирования и низкую чувствительность к внешним воздействиям.



## 2 АВТОМАТИЧНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

### Литература

1. Гурський О.О. Автоматизація холодильної турбокомпресорної установки на базі системи координуючого керування: автореферат дис. кандидата тех. наук: 05. 13. 07. – Одеса., 2012. – 22 с.;
2. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети [Текст] / Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. – М. : Физматлит, 2001. – 302 с.;
3. Усков А.А. Интеллектуальные технологии управления [Текст] / А.А. Усков, А.В. Кузьмин. – М.: Горячая линия. Телеком, 2004. – 144 с.;
4. Кудинов Ю.И. Нечеткие регуляторы и системы управления [Текст] / Кудинов Ю.И., Дорохов И.Н., Пащенко Ф.Ф. // Control sciences №3 – Москва 2004– С. 2 – 12.;
5. Згуровский М.З., Денисенко В.А. Дискретно непрерывные системы с управляемой структурой. – К.: Наукова думка, 1998. – 350 с.

### References

1. Gurskiy O.O. Avtomatizatsiya holodilnoyi turbokompresornoji ustanovki na bazi sistemi koordinuyuchogo keruvannya: avtoreferat dis. kandidata teh. nauk: 05. 13. 07. – Odessa., 2012. – 22 s.;
2. Kruglov V.V. Nchetkaya logika i iskusstvennyie neyronnyie seti [Tekst] / Kruglov V.V., Dli M.I., Golunov R.Yu. – M. : Fizmatlit, 2001. – 302 s.;
3. Uskov A.A. Intellectualnyie tehnologii upravleniya [Tekst] / A.A. Uskov, A.V. Kuzmin. – M.: Goryachaya liniya. Telekom, 2004. – 144 s.;
4. Kudinov Yu.I. Nchetkie regulatoryi i sistemy upravleniya [Tekst] / Kudinov Yu.I., Dorohov I.N., Paschenko F.F. // Control sciences #3 – Moskva 2004– S. 2 – 12.;
5. Zgurovskiy M.Z., Denisenko V.A. Diskretno nepreryivnyie sistemyi s upravlyaemoy strukturoy.

## НОВОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ

*С 18-го по 22-го ноября 2014 года в городе Киев на базе Национального технического университета Украины «Уиевский политехнический институт» прошла очередная Всеукраинская олимпиада «Мехатроника в машиностроении».*

Особенностью заданий олимпиады есть то, что их выполнение требует объединение теоретических знаний, логики и инженерных способностей студентов. На основе знаний теории участники разрабатывают принципиальное решение задачи и реализуют его на практике. Участники могут убедиться даже без судейской проверки в правильности своего решения, проверив, работает система или нет. Соревнования проходят в несколько этапов, которые включают задания по пневматике или электропневматике, а также программирования контролера для задач гидроавтоматики или пневмоавтоматики. Конкурсное задание выбирается путем жеребьевки в присутствии всех команд, когда решается, какой сложности будут задачи, в какой последовательности их следует решать.



Победу получают команды, которые прошли четыре экзамена на каждом этапе – от теоретического решения задачи на бумаге до воплощения и соответствующей настройки на стендах Фесто. Для победы важно уметь работать в команде – правильно разделять задачу между членами команды, взаимодействовать при решении отдельных заданий, а потом объединить все в решение задач автоматизации для промышленности. Большое значение имеет время выполнения задачи, таким образом, организованность и четкость в некоторых случаях могут иметь решающее значение для завоевания победы. Первое место в командном зачете получила сборная команда Донецкого и Донбасского университетов. Второе место получила команда НТУУ "КПИ". Впервые призером стала команда Национального университета пищевых технологий (кафедра интегрированных автоматизированных систем управления).

<http://kpi.ua/mechanotronics-14>