



**ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ**

The rational solution would result in the decreasing of the project funding intensity index to a minimum, while the value of construction and installation work cost index should be within the tolerance range. The value of the intensity of financing to 11767 thousand rub. per month is possible to achieve with the values of the factors  $X_1 = 0.8$  (23 hours),  $X_2 = -1$  (3 days a week),  $X_3 = 0$  (32%),  $X_4 = 0$  (500 th. rub. per month).

### Conclusions

1. By limiting the funding intensity (up to 20 mln. rubles per month) and the level of fixed costs (not less than 700 th. rubles per month) the minimum duration of the reconstruction, which is equal to 790 days, can be achieved when working 7 days a week in two shifts of 11 hours a day and the reconciliation of work, equal to 32%.
2. By limiting the value of (550 bil. rubles) and the number of working days per week (no more than 3), the minimum intensity of the financing of the reconstruction project, which is equal to 11 767 th. rubles per month, can be reached at 3 working days per week, 2 shifts of 11.5 hours a day, combining work 32%, the value of fixed costs of 500 th. rubles per month.

### References

- [1] Voznesenskij V.A. Statisticheskie metody planirovaniya jeksperimenta v tehniko-jekonomicheskikh issledovaniyah. Moscow.: Finansy i statistika, 1981. Print.;
- [2] Adler Ju.P., E.V. Markova and Ju.V. Granovskij. Planirovanie jeksperimenta pri poiske optimal'nyh uslovij. Moscow. Nauka. 1971. Print.;
- [3] Nalimov V.V. Teorija jeksperimenta. Moscow. Nauka, 1971. Print.;
- [4] Krakovskij G.I. and G.F.Filaretov. Planirovanie jeksperimentov. Minsk: BTU, 1982. Print.;
- [5] Voznesenskij V.A., T.V. Ljashenko and B.L. Ogarkov. Chislennye metody reshenija stroitel'no-tehnologicheskikh zadach na JeVM. Kiev. :Vishha shkola, 1989. Print.

Отримано в редакцію: 22.01.2016 р./ Прийнято до друку: 24.01.2016 р./ Received by edition: 22.01.2016. Approved for the press: 24.01.2016

УДК 62-933.6:004.942

## ПРОСТОЙ ПИ-ПОДОБНЫЙ РЕГУЛЯТОР С КONTИНУАЛЬНОЙ ЛОГИКОЙ ДЛЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ

**A simple pi-similar controller with continuous logic for non-stationary objects**

**Павлов А.И. (Pavlov A.I., PhD in Technical Sciences, Associate Professor)**

**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/>





## ТЕХНИЧНІ ЗАСОБИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ

### Анотация

Многие объекты автоматического регулирования являются нестационарными. Проявляется это в изменении их параметров. Поэтому периодически требуется корректировать и параметры регуляторов.

Такая работа осуществляется обычно редко. Поэтому значительную часть времени регуляторы работают с неоптимальными параметрами. Следствием этого является невысокое качество работы многих промышленных систем регулирования. Решением проблемы является использование робастных регуляторов. Показывается возможность повышения живучести систем автоматического регулирования посредством расширения их области нормальной работы. Достигается это применением нечеткой логики для динамического изменения коэффициента передачи регулятора. Способ основан на использовании алгоритма Мамдани. Структура регулятора очень простая. Регулятор эффективно компенсирует координатные возмущения, если они действуют по каналу управления.

### Annotation

Many objects automatic control are unsteady. This is manifested in the change of their parameters. Therefore, periodically adjust the required parameters of the controller. This work is usually carried out rarely. For a long time, regulators are working with is not the optimal settings. The consequence of this is the low quality of many industrial control systems. The solution problem is the use of robust controllers. Explores the possibility of increasing the survivability of automatic control systems by expanding the area of their normal work. This is achieved through the use of fuzzy logic to dynamically change the gain of the controller. The method is based on an algorithm Mamdani. In this block diagram of the controller is very simple. Such control effectively compensates the coordinate perturbations if they act on the control channel.

### Ключовые слова

Система регулирования, объект, модель.

### Key words

Control system, object, model.

### Постановка проблемы

Для многих объектов регулирования (ОР) характерна их нестационарность. Использование в структуре систем автоматического регулирования (САР) с такими ОР линейных ПИ- и ПИД- алгоритмов объективно требует, по мере того, как меняются параметры ОР, вносить адекватные изменения в настройки регуляторов. Очевидно, что этот процесс – периодический; частота настроек, точнее – потребность в них, определяется скоростью старения ОР, при этом к ОР необходимо отнести не только технологический агрегат, как центральный его элемент, но и трубопровод с регулирующим органом и исполнительный механизм. Старение характерно не только для технологического агрегата, но и, в не меньшей степени, для трубопровода.

Поскольку за одним штатным наладчиком закреплено от нескольких десятков до нескольких сотен регуляторов, то значительную часть времени, возможно, большую, САР работают с «ослабленными» настройками: параметры алгоритмов регулирования «отстают» от изменения параметров ОР. Использование же регуляторов с «агрессивными» настройками практика отвергает [4].

Одним из перспективных направлений борьбы за сохранение первоначального качества работы САР, несмотря на старение ОР, является применение регуляторов, в структуре алгоритмов которых используется опыт и интуиция производственного персонала, а также искусственные нейронные сети и/или нечеткая логика. Такие регуляторы являются нелинейными, но именно это их имманентное свойство способно обеспечить значительно большую грубость (по А.А. Андронову) САР, то есть они более успешно, по сравнению с линейными регуляторами, компенсируют изменение параметров ОР. Более того, по мере старения ОР, в некоторых случаях качество управления не только не снижается, но даже возрастает, хотя это может показаться и невероятным. По-видимому, это утверждение нуждается в разъяснении.

Если поставить перед собой задачу построения САР с нечетким регулятором, который существенно превосходил бы по качеству управления традиционный линейный, то (при условии, что идентификация ОР проведена должным образом), она не будет решена. В лучшем случае в результате выполнения весьма трудоемкой работы, проектировщик, создав поистине регулятор-монстр, получит на практике качество управления, весьма близкое к качеству работы САР с линейным регулятором. Обычная причина такого исхода вполне понятна: очень много субъективизма на первых шагах проектирования. Проектировщик принимает решение о количестве лингвистических переменных, их составе

**ТЕХНИЧНІ ЗАСОБИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ**

(наборе), количество термов для каждой из них, виде используемых функций принадлежности (список их весьма обширен), и какой диапазон входной лингвистической переменной должна «обслуживать» каждая из функций принадлежности. Желание построить «чудо-регулятор» подталкивает проектировщика использовать как можно больше лингвистических переменных и как можно больше термов для каждой из них. С неизбежностью это приводит к идее использовать алгоритм Сугено-Тагаки с очень большим количеством правил, в соответствие с которыми он должен работать, и очень разветвленной структуре используемых при формировании управляющего воздействия булевых функций (количество связей в блоке логики может исчисляться трехзначными числами). Об этой особенности проектирования нечетких регуляторов, для последующего использования их в промышленных программируемых контроллерах, не принято говорить, а зря. Да, следует вполне определенно признать, что аппарат теории нечеткой логики – громоздкий. Результатом длительного проектирования будет регулятор, в лучшем случае (если повезет), обеспечивающий большую грубость при работе САР. Очевидно (по крайней мере, это отражает точку зрения автора статьи), что это не магистральный путь использования нечетких алгоритмов в структурах регуляторов. Больше шансов на практическое использование идей нечеткой логики имеют простые по своей структуре регуляторы, то есть такие, у которых их сложность реализации была бы приемлемой для проектировщиков САР (в первую очередь легко и быстро «вписывалась» бы в программную среду промышленных контроллеров). А это означает, что структура регулятора, в котором используются опыт и интуиция персонала, а также нечеткая логика, должна быть не сложнее, чем в линейных регуляторах.

**Основная часть**

Будем исходить из того, что надо максимально использовать при разработке структуры регулятора те преимущества, которые предоставляют нечеткие технологии, а именно, нелинейность используемых алгоритмов, при этом избегая сложности их программной реализации в среде промышленных контроллеров. Для рассматриваемой ниже структуры регулятора характерен именно такой «баланс интересов».

На рис. 1 представлена структурная схема имитационной модели стабилизирующей САР, в которой использованы идеи нечеткой логики. Модель реализована в среде MATLAB с использованием пакетов программ Simulink.

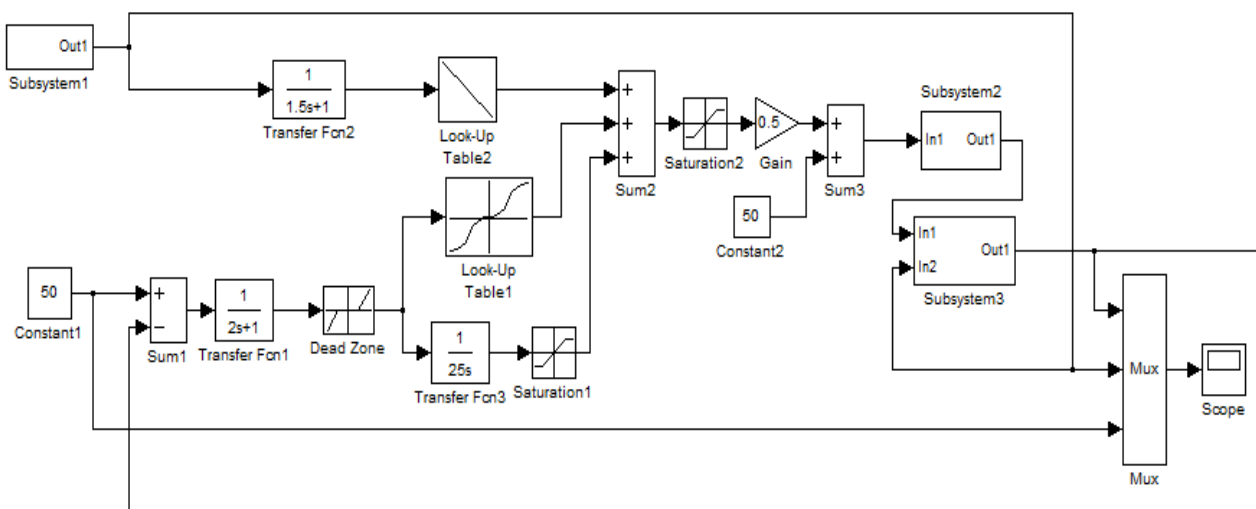


Рис. 1 – Структурная схема имитационной модели САР в среде MATLAB

По существу структура регулятора соответствует ПИ-алгоритму, с тем отличием, что пропорциональная его часть имеет существенно нелинейную статическую характеристику. Это означает, что величина коэффициента передачи регулятора определяется текущей величиной динамической ошибки (для построения характеристики использован алгоритм И. Мамдани).

Второе отличие состоит в том, что предусмотрена коррекция сигнала управления по изменению координатного возмущения (Subsystem1). При этом предусмотрен учет инерционности измерительной цепи. При моделировании рассматривался случай, когда координатное возмущение действует по каналу управления и представляет собой сумму двух гармонических сигналов, различающихся величинами амплитуд и частот.

Особое внимание уделено оценке влияния исполнительного механизма на динамику САР. Имитационная модель исполнительного устройства (Subsystem2) соответствует пневматическому мембранному исполнительному механизму с диаметром мембраны 250 мм, оснащенного позиционером с пропорциональным алгоритмом [2]. Пропускная



## ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ

характеристика регулирующего органа принята равнопроцентной.

Имитационная модель объекта регулирования (Subsystem3) соответствует аperiodическому звену второго порядка с транспортным запаздыванием.

Область нормальной работы (ОНР) САР определяется совместно рис. 2 и 3.

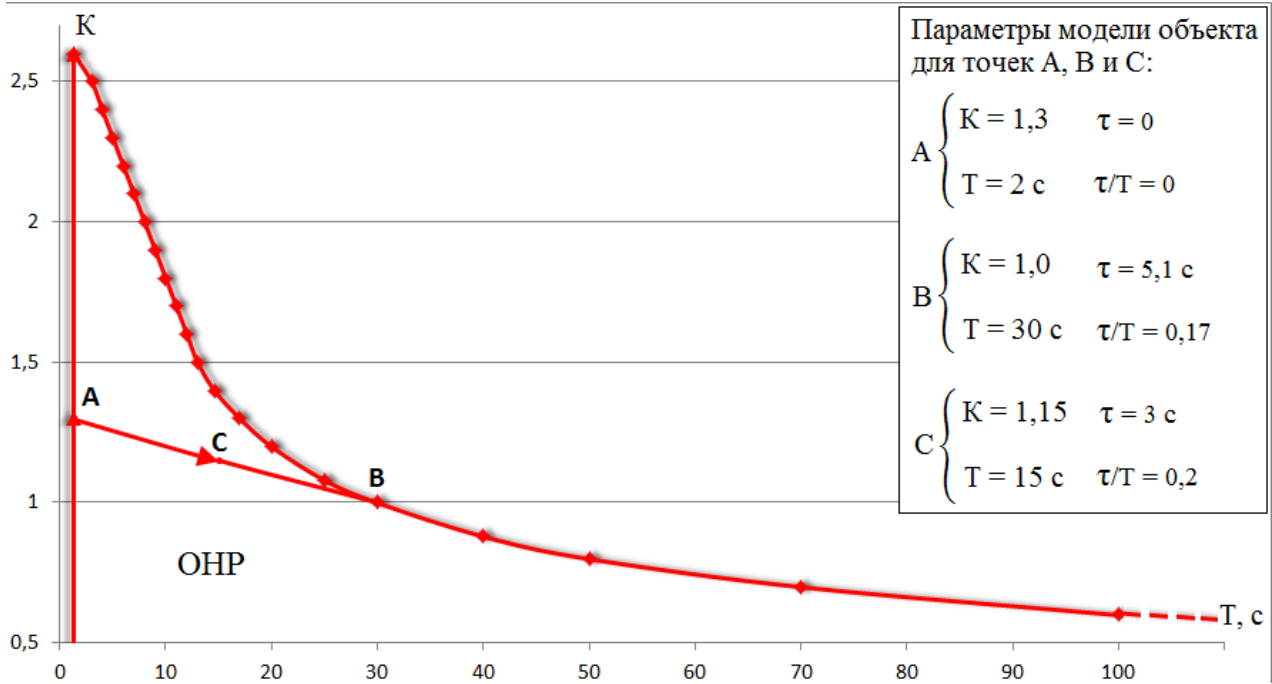


Рис. 2 – Область нормальной работы системы автоматического регулирования в системе координатах  $T, K$

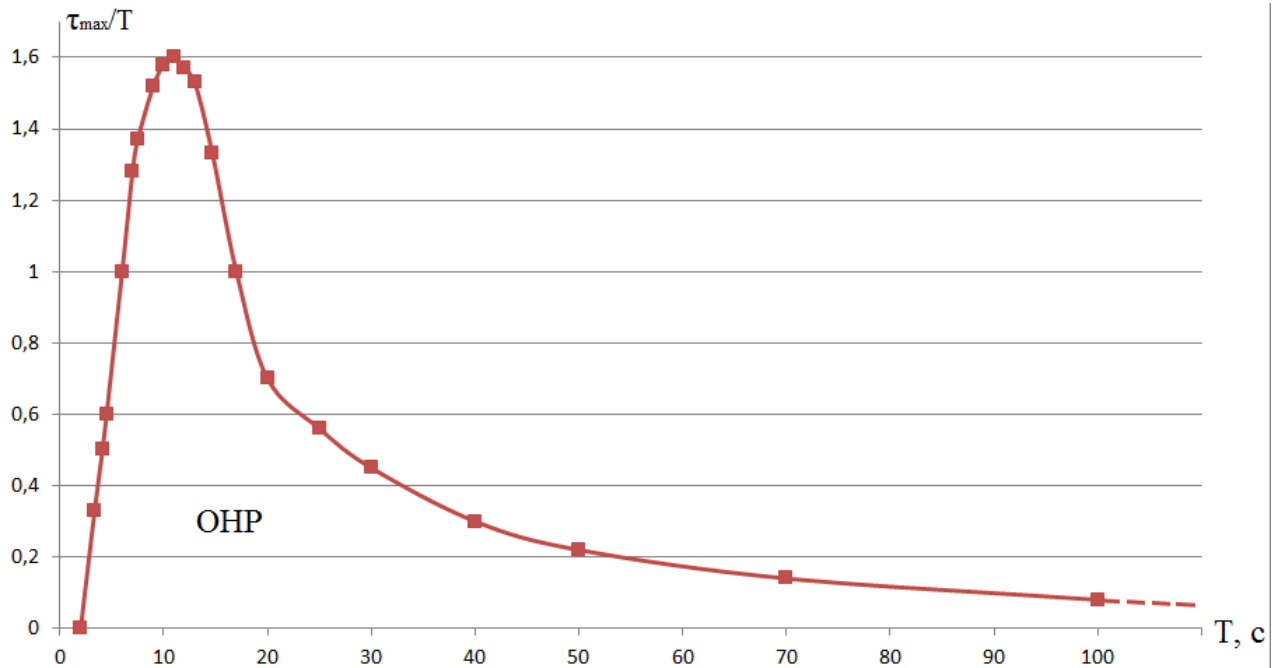


Рис. 3 – Область нормальной работы системы автоматического регулирования в системе координатах  $T, \tau$

Поскольку используется понятие «ОНР», оно требует пояснения. Если регулятор имеет изменяемые настройки, то

**ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ**

использовать это понятие (в контексте данной статьи) не имеет смысла. Но если они фиксированы, то есть являются константами, то понятие ОНР не только уместно, но и необходимо. Более того, если параметры алгоритма регулирования являются постоянными величинами, то ОНР выступает важнейшей (для разработчиков САР) «паспортной» характеристикой регулятора.

В качестве критерия для определения ОНР, то есть для нахождения ее границ, принята величина динамической (по абсолютной величине) ошибки 5 %.

Отрезок прямой линии АВ на рис. 2 показывает возможное направление (тренд) изменения параметров ОР, но не закономерность их динамики: изменение величин  $K$ ,  $\tau$ ,  $T$ ,  $\tau/T$  – нестационарный стохастический процесс как результат влияния на ОР совокупности изменяющихся, в основном объективных, факторов.

На рис. 4 представлены графические результаты моделирования для точки С рисунка 2.

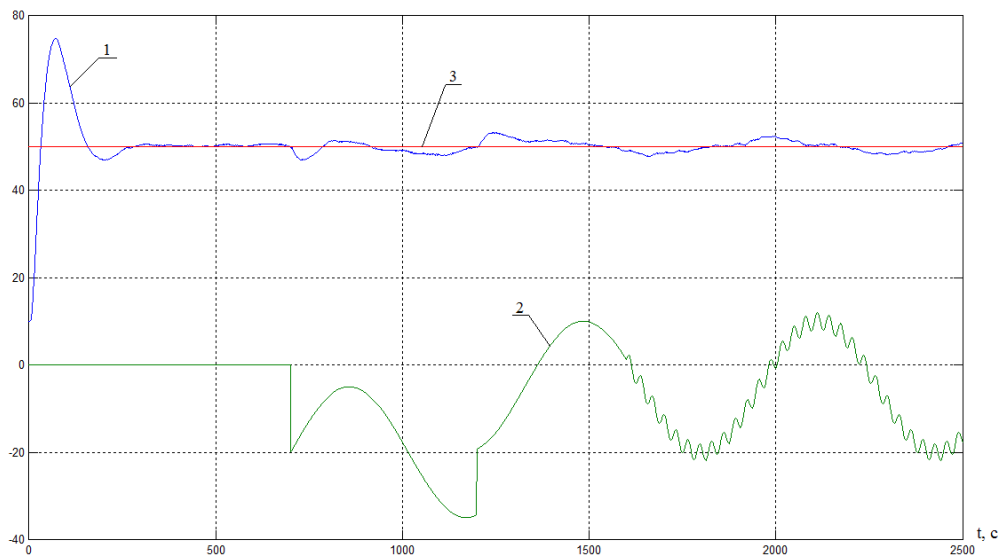


Рис. 4 – Результат моделирования САР ( $K = 1,15$ ;  $\tau = 3$  с;  $T = 15$  с)  
(1 – регулируемый параметр, 2 – возмущение, 3 – задание)

На рис. 5 представлены графические результаты моделирования для точки В рисунка 2.

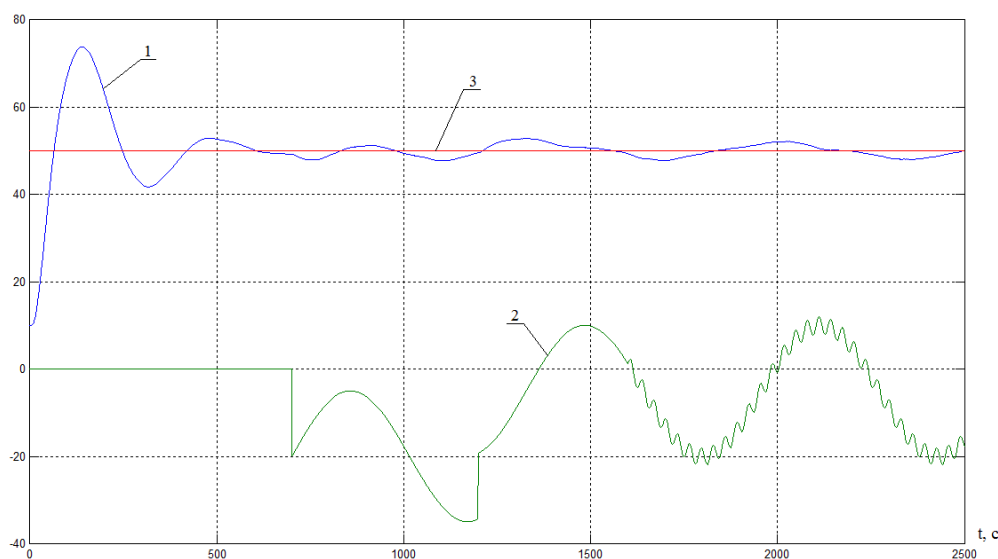


Рис. 5 – Результат моделирования САР ( $K = 1,0$ ;  $\tau = 5,1$  с;  $T = 30$  с)  
(1 – регулируемый параметр, 2 – возмущение, 3 – задание)



ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ

Но, разумеется, что тренд может быть и другим: если вначале параметры ОР были близки к точке А ОНР, то со временем они могут соответствовать не точке В, а весьма удаленной от нее точке D (на рис. 2 и 3 она не обозначена).

На рис. 6 представлены графические результаты моделирования для такой точки ОНР, расположенной ближе к нижней ее границе. При этом в имитационную модель САР были внесены некоторые изменения: использована модель электродвигательного исполнительного механизма постоянной скорости пропорционального действия [3] с оптимальной величиной времени полного хода  $T_{им} = 63$  с. Кроме этого, на запись выведен и сигнал, характеризующий положение РО. В установившемся режиме работы модели САР максимальная величина (по модулю) динамической ошибки равна 4,5 %. При использовании же модели пневматического мембранного механизма с позиционером она не более 1,5 %, то есть втрое меньше. График переходного процесса регулируемой координаты буквально совпадает с соответствующим графиком на рис. 4: ОР существенно изменил (ввиду износа) свои параметры, а качество регулирования при этом несколько не снизилось! Кроме того, это еще раз доказывает сколь велико влияние исполнительного механизма на динамику САР. Поэтому вполне очевидно, что использование в имитационных моделях САР адекватных моделей исполнительных механизмов является обязательным требованием.

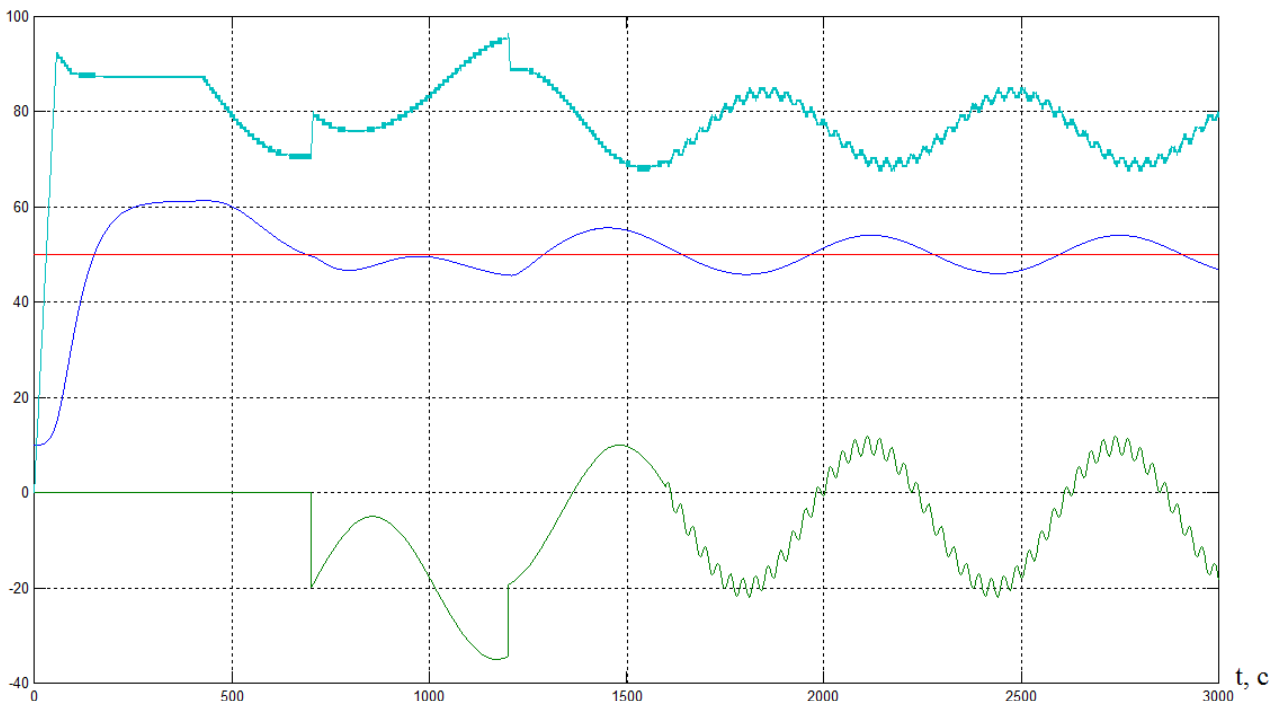


Рис. 6 – Результат моделирования САР ( $K = 0,58$ ;  $\tau = 8$  с;  $T = 40$  с)

**Выводы**

Регулятор легко может быть реализован в программной среде практически любого функционально программируемого промышленного контроллера, например, МС5 комплекса КОНТАР.

При необходимости, регулятор может быть «достроен» до ПИД- подобной структуры добавлением реального дифференцирующего звена.

В работе [2] представлена имитационная модель САР с нестационарным объектом и линейным ПИ-регулятором. В ней предусмотрена динамическая коррекция коэффициента передачи регулятора по изменению величины теплового потока ОР. Постоянная времени интегратора в процессах моделирования оставалась постоянной и равной 20 с. В указанной работе также была определена ОНР регулятора, сопоставление которой с ОНР, представленной на рис. 2 и 3 показывает, что ее площадь примерно на 25 % меньше. Следовательно, предлагаемое решение поставленной задачи обеспечивает и большую (употребим такой термин) живучесть САР. Кроме того, ранее предложенная структура САР может быть практически реализована только при регулировании температуры.

Качество регулирования весьма существенно зависит от используемого исполнительного механизма.



**ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ**

**Литература**

- [1] Гостев В. И. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления [Текст] / В. И. Гостев // К.: «Радиоаматор», 2008. – 972 с.;
- [2] Павлов А. И. Динамическая коррекция коэффициента передачи пропорционально-интегрального регулятора [Текст] / А. И. Павлов // Автоматизация технологических и бизнес-процессов. – Одесса, 2015. – V. 7. – № 1. – С. 31–34.;
- [3] Павлов А. И. Виртуальный стенд для определения оптимального по быстродействию исполнительного устройства [Текст] / А. И. Павлов // Автоматизация технологических и бизнес-процессов. – Одесса, 2014. – V. 6. – № 4. – С. 130–137.;
- [4] Мюллер Ю. Регулирование на основе SIMATIC. Практическое пособие по регулированию [Текст] [пер. с нем. со 2-го изд.] / Ю. Мюллер, 2002. – 220 с.

**References**

- [1] Gostev V. I. Nechetkiye regulatory v sistemah avtomaticheskogo upravleniya [Tekst] / V. I. Gostev // K.: «Radioamator», 2008. – 972 str.;
- [2] Pavlov A. I. Dinamicheskaya korektsiya koeffitsienta peredachi proporsional'no-integral'nogo regulatora [Tekst] / A. I. Pavlov // Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh i biznes-protsessov. – Odessa, 2015. – V. 7. – № 1. – Str. 31–34.;
- [3] Pavlov A. I. Virtual'niy stend dlya opredeleniya optimal'nogo po bystrodeystviyu ispolnitel'nogo ustroystva [Tekst] / A. I. Pavlov // Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh i biznes-protsessov. – Odessa, 2014. – V. 6. – № 4. – Str. 130–137.;
- [4] Myuller Yu. Regulirovaniye na osnove SIMATIC. Prakticheskoye posobiye po regulirovaniyu [Tekst] [per. s nem. so 2-go izd.] / Yu. Myuller, 2002. – 220 str.

Отримано в редакцію: 15.02.2016 р./ Прийнято до друку: 17.02.2016 р./ Received by edition: 15.02.2016. Approved for the press: 17.02.2016

УДК 18.011.156:502.13

## **ЧАСТКОВЕ ОНОВЛЕННЯ – ІННОВАЦІЙНИЙ ІНСТРУМЕНТ УПРАВЛІННЯ ЕФЕКТИВНІСТЮ ФУНКЦІОНУВАННЯ УСТАТКУВАННЯ, ЩО ВІДРОБИЛО РЕСУРС**

Partial renovating - the innovative tool of efficiency control of functioning of the equipment which has spent a resource

**Воинова С. А., канд. техн. наук, доцент,**

Одесская национальная академия пищевых технологий

E-mail: [yoinova\\_s@yahoo.com](mailto:yoinova_s@yahoo.com)

ORCID ID: [0000-0003-0203-0599](http://orcid.org/0000-0003-0203-0599)

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/>

