

УДК 62-50

С. А. Бобриков, Е. Д. Пичугин, кандидаты техн. наук,
О. Б. Бабийчук

ОПТИМАЛЬНАЯ НАСТРОЙКА ЦИФРОВОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С АСТАТИЗМОМ ВТОРОГО ПОРЯДКА

Аннотация. Рассмотрен метод расчета оптимального цифрового регулятора для системы с астатизмом второго порядка. Предложены два критерия оптимальности: минимум перерегулирования и минимум времени регулирования. В начале расчета по выбранным критериям оптимальности определяется непрерывная передаточная функция регулятора, затем она преобразуется в дискретную. Проведены исследования системы на модели в программном пакете MATLAB-Simulink.

Ключевые слова: система управления, оптимальное управление, критерии оптимальности, преобразование передаточных функций, характеристическое уравнение, показатели качества, квантование сигнала по времени

S. A. Bobrikov, PhD., E. D. Pichugin, PhD.,
O. B. Babijchuk

OPTIMAL DIGITAL REGULATOR ADJUSTMENT FOR THE CONTROL SYSTEM WITH TYPE SECOND SERVO SYSTEM

Abstract: The method of optimal digital regulator calculation for type 2 servo system is considered. According to the optimality criteria the two variants are proposed: minimum of reregulation in transient characteristic and minimum of regulation time period. In each of the cases the maximal value of drive overload as to the current in transient condition and minimal value of the square integral criterion of optimality is provided. At the beginning of calculation a continuous transfer function of the regulator is determined according to the chosen criterion of optimality and then the continuous transfer function is transformed into a discrete one. The research of the system on the basis of model in software package MATLAB-Simulink has been carried out.

Keywords: control system, optimal control, criteria of optimality, continuous and discrete transfer functions, transfer function transformation, characteristic equation, quality indexes, time quantization

С. А. Бобриков, Е. Д. Пичугин, кандидаты техн. наук,
О. Б. Бабийчук

ОПТИМАЛЬНА НАСТРОЙКА ЦИФРОВОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С АСТАТИЗМОМ ДРУГОГО ПОРЯДКА

Анотація. Розглянуто метод розрахунку оптимального цифрового регулятора для системи з астатизмом другого порядку. Запропоновані два критерія оптимальності: мінімум перерегулювання і мінімум часу регулювання. Спочатку розрахунку за вибраними критеріями оптимальності визначається безперервна передаточна функція регулятора, яка потім перетворюється в дискретну. Проведені дослідження системи на моделі в програмному пакеті MATLAB-Simulink.

Ключові слова: система управління, оптимальне управління, критерії оптимальності, перетворення передаточних функцій, характеристичне рівняння, показники якості, квантування сигналу за часом

Введение. Как известно, в системах с астатизмом второго порядка в установившемся режиме ошибка управления равна нулю при постоянном входном сигнале, а также при изменении входного сигнала с постоянной скоростью. Кроме того, равен нулю интеграл от ошибки за время переходного процесса [1, 2]. Эти свойства позволяют строить системы, в которых статическая и скоростная ошибки равны нулю, а также равна нулю ошибка, накопленная за время

переходного процесса (высокоточные следящие системы, измерительные системы, например, дозаторы непрерывного дозирования [7] и т.д.).

В работе [6] приведен метод расчета цифрового регулятора для системы управления с астатизмом второго порядка. Метод основан на том, что передаточная функция разомкнутой системы, представленная как произведение передаточных функций регулятора и заданной части системы, имеет вид:

© Бобриков С.А., Пичугин Е.Д.,
Бабийчук О.Б., 2015

$$K_c(p) = \frac{Tp + 1}{p^2}. \quad (1)$$

Вначале определяется передаточная функция непрерывного регулятора путем деления желаемой передаточной функции (1) на передаточную функцию заданной части системы, а затем находят дискретную передаточную функцию цифрового регулятора $K(z)$ путем подстановки в непрерывную передаточную функцию выражения:

$$p = \frac{2(z-1)}{T_0(z+1)}. \quad (2)$$

Очевидно, что при таком виде передаточной функции системы (1), её свойства полностью определяются величиной постоянной времени T . В [6] приведены графики зависимости важнейших показателей качества системы – максимального перерегулирования и максимальной скорости изменения выходной величины – от T .

Отметим, что коэффициент усиления системы (1) принят равным 1. Это упростило метод расчета системы – при заданных показателях качества и неизменяемой части системы неизвестным является только один параметр – T .

В данной работе показано, что введение второго расчётного параметра – коэффициента усиления K – позволяет проводить расчёт оптимального регулятора.

Цель работы. Целью работы является разработка метода расчета оптимального цифрового регулятора для системы с астатизмом второго порядка. В качестве критериев оптимальности выбраны:

- 1) минимум перерегулирования при условии, что скорость изменения выходной величины не превысит заданного максимального значения;
- 2) минимум квадратичного интегрального критерия I_2 :

$$I_2 = \int_0^{\infty} x^2 dt,$$

где x – ошибка управления.

Содержание работы. Метод основан на том, что передаточная функция разомкнутой системы, представлена как последовательно включенный регулятор и заданная часть (рис. 1), имеет вид:

$$K_c(p) = K_p(p)K_3(p) = \frac{K(Tp+1)}{p^2} = \frac{Y(p)}{X(p)}, \quad (3)$$

где $K_p(p)$ – передаточная функция регулятора; $K_3(p)$ – передаточная функция заданной части системы.

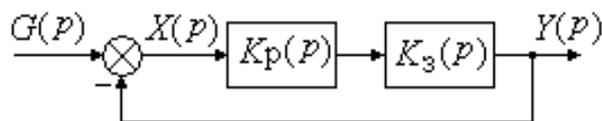


Рис. 1. Структурная схема САУ

При таком виде передаточной функции системы её качество полностью определяется двумя параметрами: K и T .

Рассматриваемый метод позволяет определить те значения K и T при которых система по своим динамическим свойствам является оптимальной в соответствии с выбранным критерием оптимальности.

Путем моделирования системы в пакете MATLAB-Simulink [5] было установлено, что при подаче на вход системы единичного ступенчатого сигнала максимальная скорость изменения выходной величины равна начальной скорости, при условии, что перерегулирование не превышает 40 % [6] (что соответствует приемлемым в практике требованиям к системе управления).

Определим начальное значение скорости, используя теорему о начальном и конечном значениях изображения и оригинала [12]. Передаточная функция замкнутой системы (рис. 1) равна

$$W(p) = \frac{K(Tp+1)}{p^2 + KTp + K} = \frac{Y(p)}{G(p)}.$$

Пусть на входе системы действует единичная ступенчатая функция $g(t)=1(t)$. Изображение по Лапласу этой функции равно

$$G(p) = \frac{1}{p}.$$

Изображение выходного сигнала при этом имеет вид:

$$Y(p) = G(p) \times W(p) = \frac{K(Tp+1)}{p(p^2 + KTp + K)}.$$

Изображение скорости выходного сигнала получим, если изображение самого сигнала умножим на оператор Лапласа p ,

$$L\left\{\frac{dy}{dt}\right\} = pY(p) - y(0) = \frac{K(Tp + 1)}{p^2 + KTp + K},$$

где $y(0) = 0$ – начальное значение переходной характеристики.

Согласно теореме о начальном и конечном значениях изображения и оригинала имеем:

$$\lim_{t \rightarrow 0} \frac{dy}{dt} = \lim_{p \rightarrow \infty} pL\left\{\frac{dy}{dt}\right\} = \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{pK(Tp + 1)}{p^2 + KTp + K} = KT.$$

Как уже было отмечено, при условии, что максимальное перерегулирование не превышает 40 %, максимальное значение скорости выходной величины равно начальному значению и равно KT .

Путем моделирования в системе MATLAB-Simulink были определены зависимости между параметрами системы K , T и такими показателями качества: максимальное перерегулирование – σ_{\max} , максимальная скорость изменения выходной величины – v_{\max} , квадратичный интегральный критерий – I_2 . Схема модели приведена на рис. 2.

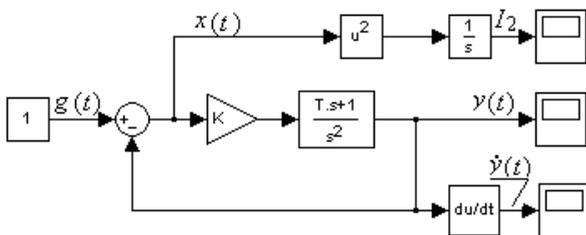


Рис. 2. Схема модели в пакете Simulink

Моделирование позволило получить переходные характеристики при различных значениях параметров K и T . По ним определялись величина максимального перерегулирования σ_{\max} и время регулирования t_p . Время регулирования определялось моментом времени, после которого ошибка регулирования $x(t) < 1\%$. Кроме переходной характеристики, определялись также начальное значение (оно же и максимальное) производной выходной величины – $\dot{y}(t) = v$ и значение квадратичного интегрального критерия в момент окончания переходного процесса – I_2 .

Экспериментально установлено, что величина максимального перерегулирования σ_{\max} в переходной характеристике при различных сочетаниях значений параметров K и T однозначно определяется выражением KT^2 (рис. 3), а величина квадратичного интегрального критерия I_2 – произведением KT (рис. 4).

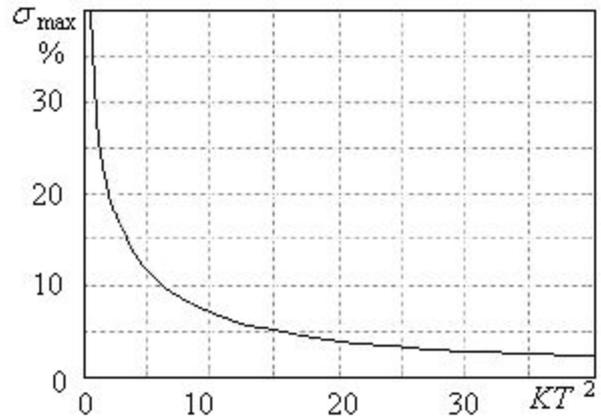


Рис. 3. Зависимость максимального перерегулирования от значения KT^2

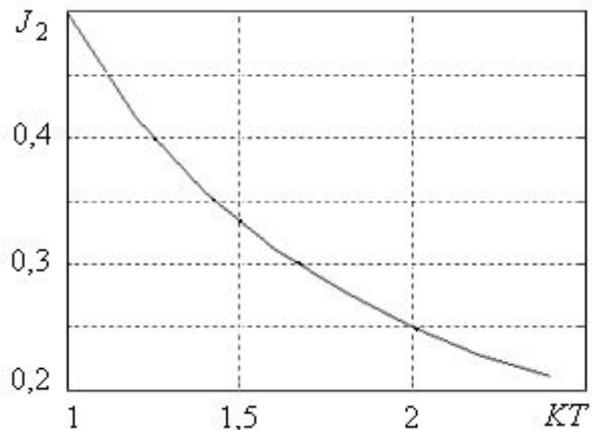


Рис. 4. Зависимость квадратичного интегрального критерия от значения KT

Анализ переходных характеристик, полученных при различных значениях параметров K и T , позволил определить связь между временем регулирования t_p и величиной максимального перерегулирования σ_{\max} . На рис. 5 приведены для примера три графика зависимости t_p от σ_{\max} , полученных при разных значениях коэффициента K . На графиках видно, что минимальное время регулирования соответствует значению максимального перерегулирования примерно 20 %.

Это означает, что при желании получить переходный процесс с минимальным временем регулирования нужно настраивать систему на перерегуливание $\sigma_{\max} = 20\%$.

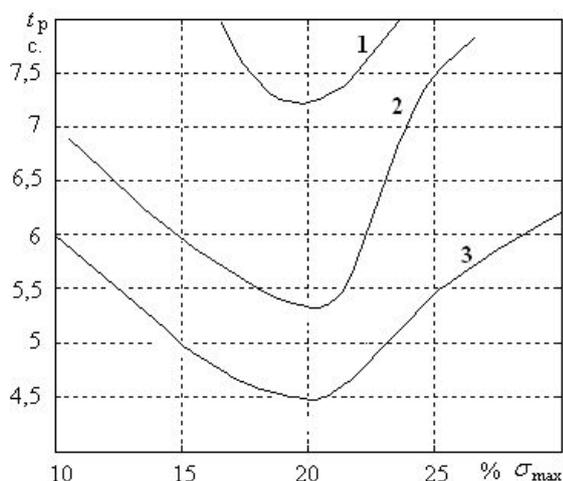


Рис. 5. Зависимости времени регулирования от максимального перерегуливания при различных значениях K :
1 – $K=0,5$; 2 – $K=1$; 3 – $K=1,5$

Полученные графики позволяют производить расчет оптимальных настроек регулятора по таким критериям оптимальности:

1) минимум перерегуливания при минимуме квадратичного интегрального показателя и максимуме скорости изменения выходной величины (что равносильно максимуму момента на валу исполнительного механизма);

2) минимум времени переходного процесса ($\sigma_{\max} = 20\%$) при максимальной скорости изменения выходной величины.

Ниже приведена методика расчёта системы по принятым критериям оптимальности.

Расчет системы на минимум перерегуливания при максимальной скорости изменения выходной величины.

В соответствии с выбранным исполнительным двигателем определяем максимальную допустимую перегрузку по моменту в переходном режиме которая соответствует максимальной скорости изменения выходной величины ($v_{\max} = KT$).

Из графика на рис. 4 видно, что чем больше KT , тем меньше J_2 . Отсюда следует, что задав максимально допустимую величину KT , обеспечим минимум показателя J_2 . По графику рис. 3 определяем, что минимум пе-

ререгулирования $\sigma_{\max} \leq 5\%$ имеет место при значениях $KT^2 \geq 15$. Заметим, что чем меньше σ_{\max} (больше KT^2), тем больше время регулирования, что видно из графиков рис. 5, поэтому добиваться, слишком малых значений σ_{\max} не следует.

Таким образом, имеем: $KT = v_{\max}$, $KT^2 = 15$. Из двух уравнений находим необходимые значения K и T

$$T = \frac{15}{v_{\max}}, \quad K = \frac{v_{\max}^2}{15}. \quad (4)$$

Расчет системы на минимум времени переходного процесса при максимальной скорости изменения выходной величины. По графику рис. 3 определяем величину KT^2 , соответствующую $\sigma_{\max} = 20\%$: $KT^2 = 2$. Задавшись максимальным значением скорости изменения выходной величины $v_{\max} = KT$ (допустимая максимальная перегрузка по моменту на валу исполнительного механизма), получаем два уравнения с двумя неизвестными. Решив эти уравнения, определим значения K и T :

$$T = \frac{2}{v_{\max}}; \quad K = \frac{v_{\max}^2}{2}. \quad (5)$$

Пример 1. Расчет системы на минимум перерегуливания при максимальной скорости изменения выходной величины.

Пусть заданная часть системы, включающая усилитель мощности, объект управления и все другие необходимые звенья (измерительное устройство, преобразователи и др.) имеет передаточную функцию вида:

$$K_3(p) = \frac{K_3}{(T_y p + 1)(T_o p + 1)} = \frac{1}{(0,05 p + 1)(0,2 p + 1)}, \quad (6)$$

где $K_3 = 1$ – коэффициент усиления заданной части, $T_y = 0,05$ с – постоянная времени усилителя мощности, $T_o = 0,2$ с – постоянная времени объекта управления. В соответствии с выбранным исполнительным двигателем определяем максимальную допустимую перегрузку по моменту в переходном режиме (что соответствует максимальной скорости изменения выходной величины $v_{\max} = KT$). Предположим, что выбранный двигатель допускает кратковременную перегрузку по мо-

менту 2,5. Это соответствует максимальной допустимой скорости выходной величины $v_{\max} = KT = 2,5$. Принимаем $\sigma_{\max} \leq 5\%$, при этом $KT^2 = 15$ (рис. 3) В соответствии с формулами (4) имеем:

$$T = \frac{KT^2}{v_{\max}} = \frac{15}{2,5} = 6, \quad K = \frac{v_{\max}^2}{KT^2} = \frac{2,5^2}{15} = 0,42.$$

Передаточная функция разомкнутой системы при этом имеет вид:

$$K_c(p) = \frac{0,42(6p+1)}{p^2}. \quad (7)$$

Для определения передаточной функции непрерывного регулятора делим передаточную функцию системы (7) на передаточную функцию заданной части (6):

$$K_p(p) = \frac{K_c(p)}{K_3(p)} = \frac{0,42(6p+1)(0,05p+1)(0,2p+1)}{p^2(0,005p+1)} \quad (8)$$

В знаменатель передаточной функции (8) добавлена дополнительная постоянная времени $T_d = 0,005$ с. Она нужна для того, чтобы передаточная функция регулятора была физически реализуемой: степень знаменателя не может быть меньше степени числителя. Для того чтобы введение дополнительной постоянной времени не изменило существенно свойства системы, её величина должна быть на порядок меньше наименьшей постоянной времени заданной части системы [8, 13].

Подставив в (8)

$$p = \frac{2(z-1)}{T_0(z+1)},$$

получаем дискретную передаточную функцию цифрового регулятора:

$$K(z) = \frac{s_3 z^3 + s_2 z^2 + s_1 z + s_0}{g_3 z^3 + g_2 z^2 + g_1 z + g_0},$$

где $s_0 = -0,19906925$; $s_1 = 0,602258751$;
 $s_2 = -0,607330745$; $s_3 = 0,20414125$;
 $g_0 = -0,036$; $g_1 = 0,116$; $g_2 = -0,124$; $g_3 = 0,044$.

На рис.6 показана переходная характеристика системы с цифровым регулятором (1), полученная путем моделирования в пакете Simulink. На графике рис. 6 видно, что

перерегулирование равно примерно 5 %, что соответствует заданному значению.

Пример 2. Расчет оптимального цифрового регулятора для системы с наименьшим временем регулирования при максимальной скорости изменения выходной величины.

Принимаем заданную часть системы такой же, как и в *примере 1* (6), максимальная скорость выходного сигнала $v_{\max} = 2,5$. Используя формулы (5), находим значения параметров K и T :

$$T = \frac{2}{v_{\max}} = \frac{2}{2,5} = 0,8; \quad K = \frac{v_{\max}^2}{2} = \frac{2,5^2}{2} = 3,12.$$

Таким образом, желаемая передаточная функция разомкнутой системы равна:

$$K_c(p) = \frac{3,12(0,8p+1)}{p^2}. \quad (9)$$

Разделив (9) на (6) находим передаточную функцию непрерывного регулятора:

$$K_p(p) = \frac{K_c(p)}{K_3(p)} = \frac{3,12(0,8p+1)(0,05p+1)(0,2p+1)}{p^2(0,005p+1)} \quad (10)$$

Для выполнения условия физической реализуемости (10) в систему введена дополнительная инерционность с постоянной времени $T_d = 0,005$ с.

Подставив в (10)

$$p = \frac{2(z-1)}{T_0(z+1)},$$

получаем дискретную передаточную функцию цифрового регулятора:

$$K(z) = \frac{s_3 z^3 + s_2 z^2 + s_1 z + s_0}{g_3 z^3 + g_2 z^2 + g_1 z + g_0},$$

где $s_0 = -0,197386557$; $s_1 = 0,597373449$;
 $s_2 = -0,60261343$; $s_3 = 0,202626563$;
 $g_0 = -0,036$; $g_1 = 0,116$; $g_2 = -0,124$; $g_3 = 0,044$.

Результат моделирования системы по *примеру 2* приведен на рис.6 – характеристика 2.

По кривой 2 видно, что $\sigma_{\max} = 20\%$, а время регулирования $t_p \approx 3$ с.

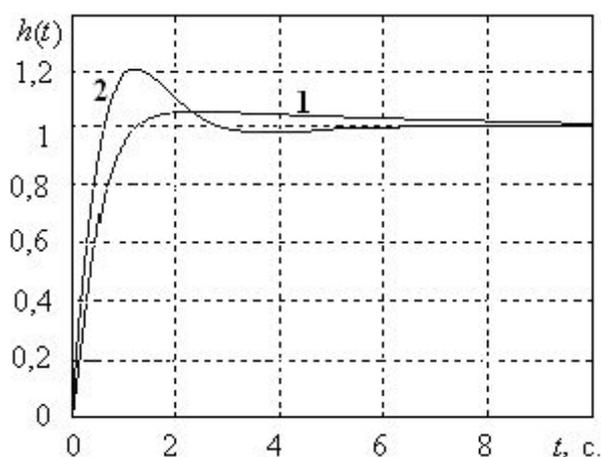


Рис.6. Результаты моделирования системы с цифровым регулятором:
 1 – пример 1, 2 – пример 2

Выводы. Рассмотренный метод расчета позволяет рассчитать оптимальный цифровой регулятор. В качестве критериев оптимальности могут быть приняты либо минимальная величина перерегулирования в переходной характеристике при максимальной допустимой скорости изменения выходной величины, либо минимальное время регулирования при максимальной допустимой скорости изменения выходной величины. В обоих случаях интегральный квадратичный критерий принимает минимальное значение (предельное при принятых условиях).

Список использованной литературы

1. Бесекерский В. А. Теория систем автоматического регулирования / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – М. : Наука, 1972. – 719 с.
2. Батоврин А. А., Цифровые следящие системы судовой автоматики / [Батоврин А. А., Дашевский П. Г., Лебедев В. Д. и др.]. – Л. : Судостроение, 1972. – 445 с.
3. Лернер А. Я. Оптимальное управление / А. Я. Лернер, Е. А. Розенман. – М. : Энергия, 1970. – 360 с.
4. Гостев В. И. Системы управления с цифровыми регуляторами / В. И. Гостев – К. : Техника, 1990. – 280 с.
5. Краснопрошина А. А. Современный анализ систем управления с применением MATLAB, Simulink, Control System / А. А. Краснопрошина, Н. Б. Репникова, А. А. Ильченко. – К. : Корнійчук, 1999. – 141 с.

6. Бобриков С. А. Цифровой регулятор в системе управления с астатизмом второго порядка / С. А. Бобриков, Е. Д. Пичугин // *Электротехнические и компьютерные системы*. – К. : Техніка. – 2013. – № 12(88). – С.55 – 60.

7. Бобриков С. А. Цифровая система управления непрерывным дозатором сыпучих материалов / С. А. Бобриков, Е. Д. Пичугин // *Электротехнические и компьютерные системы*. – К. : Техніка. – 2014. – № 14 (90). – С. 7 – 13.

8. Бобриков С. А. Преобразование непрерывной передаточной функции управляющего устройства в дискретную / С. А. Бобриков, Е. Д. Пичугин // *Электротехнические и компьютерные системы*. – К. : Техніка. – 2013. – № 10 (86). – С. 68 – 72.

9. Бобриков С. А. Оптимальная настройка ПИ-регулятора с одноемкостным объектом / С. А. Бобриков, Е. Д. Пичугин // *Электромашиностроение и электрооборудование*. – К. : Техніка. – 2009. – № 72. – С. 179 – 181.

10. Бобриков С. А. Оптимальное цифровое управляющее устройство в системе с запаздыванием при заданном коэффициенте усиления / С. А. Бобриков, Е. Д. Пичугин // *Электротехнические и компьютерные системы*. – К. : Техніка. – 2010. – № 01 (77). – С. 49 – 52.

11. Бобриков С. А. Оптимальная настройка цифрового регулятора для объекта высокого порядка с запаздыванием / С. А. Бобриков, Е. Д. Пичугин // *Электромашиностроение та електрообладнання*. – К. : Техніка. – 2010. – № 75. – С. 57 – 61.

12. Андре-Анго. Математика для электро и радиоинженеров / Андре-Анго. – М. : Наука, 1964. – 772 с.

13. Carroll C., and White R., (1967), Discrete Compensations of Control Systems with Integrated Circuits, *IEEE Transactions*, No. 5.

Получено 17.02.2015

References

1. Besekerskii V.A., and Popov E.P. Teoriya sistem avtomaticheskogo regulirovaniya [The theory of Automated Regulation Sys-

tem], (1972), Moscow, Russian Federation, *Nauka*, 719 p. (In Russian).

2. Batovrin A.A., Dashevskii P.G., Lebedev V.D. i dr. Tsifrovye sledyashchie sistemy sudovoi avtomatiki [The Digital Tracking System of Automatic Vessel Machinery], (1972), Leningrad, Russian Federation, *Sudostroenie*, 445 p. (In Russian).

3. Lerner A.Ya., Rozenman E.A. Optimal'noe upravlenie [Optimal Control], (1970), Moscow, Russian Federation, *Energiya*, 360 p. (In Russian).

4. Gostev V.I. Sistemy upravleniya s tsifrovymi regulyatorami [Control Systems with Digital Controllers], (1990), Kiev, Ukraine, *Tekhnika*, 280 p. (In Russian).

5. Krasnoproshina A.A., Repnikova N.B., Il'chenko A.A. S ravleniya s primeneniem MATLAB, Simulink, ovremennyyi analiz sistem upControlSistem [The Modern Analysis of Control Systems with the Usage of MATLAB, Simulink, Control System], (1999), Kiev, Ukraine, *Korniichuk*, 141 p (In Russian).

6. Bobrikov S.A., and Pichugin E.D. Tsifrovoy regulyator v sisteme upravleniya s astatizmom vtorogo poryadka [Digital Regulator in the Control System with Type Second Servo System], (2013), *Elektrotekhnicheskie i Komp'yuternye Sistemy*. Kiev, Ukraine, *Tekhnika*, No. 12 (88), pp. 55 – 60 (In Russian).

7. Bobrikov S.A., and Pichugin E.D. Tsifrovaya sisema upravleniya nepreryvnym dozatorom syupuchikh materialov [The Digital Control System of Bulk Material by Uninterrupted Dosing unit], (2014), *Elektrotekhnicheskie i Komp'yuternye Sistemy*, Kiev, Ukraine, *Tekhnika*, No. 14 (90), pp. 7 – 13 (In Russian).

8. Bobrikov S.A., and Pichugin E.D. Preobrazovanie nepreryvnoi peredatochnoi funktsii upravlyayushchego ustroystva v diskretnuyu [Transformation of the Continuous Transfer Function into Discrete one in the Control unit], (2013), *Elektrotekhnicheskie i Komp'yuternye Sistemy*, Kiev, Ukraine, *Tekhnika*, No. 10 (86), pp.68 – 72 (In Russian).

9. Bobrikov S.A., and Pichugin E.D. Optimal'naya nastroyka PI-regulyatora s odnoemkostnym ob'ektom [Optimal Nestorian PI-controller with Odnoimjonnym Object], (2009) *Elektrotekhnicheskie i Komp'yuternye*

Sistemy, Kiev, Ukraine, *Tekhnika*, No. 72, pp.179 – 181 (In Russian).

10. Bobrikov S.A., Pichugin E.D. Optimal'noe tsifrovoe upravlyayushchee ustroystvo v sisteme s zapazdyvaniem pri zadannom koeffitsiente usileniya [Optimal Digital Control Device in the System with Delay at a Given Gain], (2010), *Elektrotekhnicheskie i Komp'yuternye Sistemy*, Kiev, Ukraine, *Tekhnika*, No. 01 (77), pp. 49 – 52 (In Russian)..

11. Bobrikov S.A., Pichugin E.D. Optimal'naya nastroyka tsifrovogo regulyatora dlya ob'ekta vysokogo poryadka s zapazdyvaniem [The Optimal Setting of the Digital Controller for High-Order Time-Delay], (2010), *Elektrotekhnicheskie i Komp'yuternye sistemy*, Kiev, Ukraine, *Tekhnika*, No. 75, pp.57 – 61 (In Russian).

12. Andre-Ango. Matematika dlya elektro i radioinzhenerov [Andre-Ango. Mathematics for Electrical and Radio Engineers], (1964), Moscow, Russian Federation, *Nauka*. 772 p/ In Russian).

13. Carroll C., White R., (1967), Discrete Sompensation of Sontrol Systems with Integrated Circuits, *IEEE Transactions*, No. 5.



Бобриков
Сергей Александрович,
канд. техн. наук, доц., каф.
компьютерных систем управ-
ления Одесского нац. поли-
техн. ун-та, пр. Шевченко, 1,
Одесса-44, Украина, 65044.
Тел.+38 048688770.
E-mail: bobrikov1932@mail.ru



Пичугин
Евгений Дмитриевич,
проф. каф. компьютерных сис-
тем управления Одесского нац.
политехн. ун-та.
Тел.:+38 0487778045.
E-mail: bobr_eugen@mail.ru



Бабийчук
Ольга Борисовна,
научный сотрудник Одесского
нац. политехн. ун-та.
E-mail: obbabiychuk@ukr.net