

3. Гортинский В. В. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях / Гортинский В. В., Демский А. Б., Борискин М. А. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Колос, 1980. – 304 с.

4. Дзядзио А. М. Пневматический транспорт на зерноперерабатывающих предприятиях / А. М. Дзядзио, А. С. Кеммер. – М. : Колос, 1967. – 295 с.

5. Зуев Ф. Г. Пневматическое транспортирование на зерноперерабатывающих предприятиях / Ф. Г. Зуев. – М. : Колос, 1976. – 344 с.

6. Летошнев М. Н. Сельскохозяйственные машины. Теория, расчёт, проектирование и испытание / М. Н. Летошнев. – [3-е изд., перераб. и дополн.]. – М.-Л. : Сельхозлит., 1955. – 764 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ СЕМЯН В КВАЗИ-СТАЦИОНАРНОМ ПОТОКЕ ПРИ ОПТИЧЕСКОЙ СТИМУЛЯЦИИ

А. И. Романенко, Л. С. Червинский

Аннотация. Обоснованы параметры воздушного канала и режимы работы пневматического смесителя. Разработана математическая модель процесса перемешивания семян при их предпосевной обработке.

Ключевые слова: аэродинамические параметры, режим работы, процесс облучения, семена.

SIMULATION OF MIXING OF SEED IN THE QUASI-STEADY-STATE FLOW UPON OPTICAL STIMULATION

A. Romanenko, L. Chervinskiy

Annotation. The parameters of the air channel and modes pnevmozmishuvacha. A mathematical model of the process of mixing the seeds with the preplant seed treatment.

Key words: aerodynamic parameters, operation mode, irradiation process, the seeds.

УДК 681.513

АНАЛІТИЧНА МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОМИСЛОВИХ ПІД-РЕГУЛЯТОРІВ

*Ю. В. Шуруб, кандидат технічних наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com*

Анотація. Проведено дослідження та обґрунтування можливостей застосування аналітичних методів визначення параметрів налаштування регуляторів систем автоматичного керування технологічними процесами. Визначено області застосування різних типів регуляторів.

© Ю. В. Шуруб, 2015

Ключові слова: *система автоматичного керування, синтез регулятора, параметри налаштування.*

У системах автоматичного керування технологічними процесами широко застосовуються лінійні пропорційно-інтегрально-диференціальні (ПІД) регулятори. Для визначення параметрів таких регуляторів найпоширенішими є частотні графо-аналітичні методи синтезу [1]. При цьому вони базуються на поданні автоматичної системи як комбінації двох елементів – об'єкта керування й регулятора, та часто не враховують особливості технічної реалізації окремих складових системи автоматичного керування, наприклад, виконавчого механізму.

Якщо виконавчий механізм або інші можливі елементи через велике значення постійної часу або через свої інтегруючі властивості мають значний вплив на частотні та динамічні характеристики системи, складність застосування графо-аналітичних методів синтезу регулятора значно зростає. Тоді можна рекомендувати застосування аналітичних методів [2, 3].

Мета досліджень – визначення можливості застосування аналітичних методик синтезу регуляторів у системах автоматичного керування технологічними процесами.

Матеріали та методика досліджень. Аналітична методика визначення параметрів регуляторів базується на поданні передатної функції розімкненої системи у вигляді

$$W_{роз}(s) = W_{pez}(s) \cdot W_{нч}(s), \quad (1)$$

де $W_{pez}(s)$ – передатна функція регулятора, що подається у вигляді $W_{pez}(s) = K_p$ – для П-регулятора, $W_{pez}(s) = K_i / s$ – для І-регулятора, $W_{pez}(s) = K_p + K_i / s$ – для ПІ-регулятора, $W_{pez}(s) = K_p + K_i / s + K_d s$ – для ПІД-регулятора;

$W_{нч}(s)$ – передатна функція незмінної частини системи, що може вміщувати у загальному вигляді об'єкт керування, первинний вимірюваний перетворювач та виконавчий механізм.

Якщо наперед задатися бажаною передатною функцією $W_{роз}(s)$, можна визначити потрібну передатну функцію регулятора та його параметри налаштування за формулою

$$W_{pez}(s) = \frac{W_{роз}(s)}{W_{нч}(s)}. \quad (2)$$

Запропонована методика налаштування параметрів полягає у введенні астатизму в систему та у компенсації l інерційних ланок за рахунок дії відповідних регуляторів [2, 3]. Бажана передатна функція розімкненої системи при цьому шукається у вигляді

$$W_{роз}(s) = \frac{e^{-\tau s}}{T_o s \prod_{i=1}^m (T_i s + 1)}, \quad (3)$$

де T_o – постійна часу інтегруючої складової;

l – кількість компенсованих інерційних ланок з великими постійними часу;

$m-l$ – кількість некомпенсованих інерційних ланок з малими постійними часу.

Якщо вибрати T_o із умов $T_o > T_{l+1}$ та $T_o > \tau$, де T_{l+1} є найбільшою з некомпенсованих постійних часу T_i , то частота зрізу дорівнюватиме $\omega_3 = 1/T_o$, а запас стійкості за фазою при такій частоті зрізу становитиме:

$$\Delta\varphi(\omega_3) = -\pi + \frac{\pi}{2} + \tau\omega_3 + \sum_{i=l+1}^m \arctg T_i \omega_3. \quad (4)$$

Оскільки $T_o > T_{l+1}$, то $\arctg T_i \omega_3 < \pi/4$ та відповідно $\arctg T_i \omega_3 \approx T_i \omega_3$. Тоді (4) можна записати

$$\Delta\varphi(\omega_3) = -\frac{\pi}{2} + \tau\omega_3 + \sum_{i=l+1}^m T_i \omega_3 = -\frac{\pi}{2} + T_\mu \omega_3, \quad (5)$$

де $T_\mu = \tau + \sum_{i=l+1}^m T_i$ – сумарна некомпенсована постійна часу.

Враховуючи (5), вираз (3) можна подати у вигляді:

$$W_{\text{роз}}(s) = \frac{1}{T_o s (T_\mu s + 1)}. \quad (6)$$

При цьому передатна функція замкненої системи буде мати вигляд

$$W_{\text{зам}}(s) = \frac{1}{T_o T_\mu s^2 + T_o s + 1}. \quad (7)$$

Динамічні властивості системи з передатною функцією (7) залежать від співвідношення постійних часу $a = \frac{T_o}{T_\mu}$. При $a = 2$ ($T_o = 2T_\mu$) забезпечується

час регулювання $t_p = 4,7T_\mu$ при незначному перерегулюванні $\sigma = 4,3\%$, що задовольняє вимоги до великої частини об'єктів. Тому таке налаштування отримало назву налаштування на *технічний оптимум*. Тоді бажана передатна функція розімкненої системи матиме вигляд

$$W_{\text{роз}}(s) = \frac{1}{a T_\mu s (T_\mu s + 1)} \quad (8)$$

та може бути застосована до систем із інтегруючими ланками та без них.

Результати досліджень. 1. *Незмінна частина системи не має інтегруючих ланок.* Наприклад, об'єкт керування апроксимується інерційною ланкою із запізненням, сприймаючий елемент – інерційною ланкою, виконавчий механізм – теж інерційною ланкою (електронагрівач, вентилятор, сервопривод, охоплений місцевим жорстким зворотним зв'язком за положенням регулюючого органу). За виконання цієї умови дана методика може бути застосована до І-, ПІ-, ПІД-алгоритмів регулювання.

При цьому передатна функція незмінної частини системи подається у вигляді

$$W_{\text{нч}}(s) = \frac{K \cdot e^{-\tau s}}{\prod_{i=1}^m (T_i s + 1)} \quad (9)$$

Передатна функція регулятора при $a = 2$, відповідно до (2), (7) та (9), визначиться таким чином:

$$W_{pez}(s) = \frac{W_{poz}(s)}{W_{нч}(s)} = \frac{\prod_{i=1}^l (T_i s + 1)}{K T_o s} = \frac{\prod_{i=1}^l (T_i s + 1)}{K 2 T_\mu s}. \quad (10)$$

Кількість можливих компенсованих інерційних ланок l залежить від виду регулятора.

а) при використанні І-регулятора $l = 0$ (усі постійні часу вважаються малими). У цьому випадку вводиться астатизм та забезпечується час регулювання $t_p = 4,7 T_\mu$. Передатна функція регулятора:

$$W_{pez}(s) = \frac{1}{K 2 T_\mu s}. \quad (11)$$

Параметр налаштування $K_i = \frac{1}{K 2 T_\mu}$;

б) при використанні ПІ-регулятора $l = 1$ (компенсується одна інерційна ланка з великою постійною часу T_1 , інші постійні часу вважаються малими). Передатна функція регулятора:

$$W_{pez}(s) = \frac{T_1 s + 1}{K 2 T_\mu s} = \frac{T_1}{K 2 T_\mu} + \frac{1}{K 2 T_\mu s}. \quad (12)$$

Параметри налаштування $K_p = \frac{T_1}{K 2 T_\mu}$, $K_i = \frac{1}{K 2 T_\mu}$;

в) при використанні ПІД-регулятора $l = 2$ (компенсуються дві інерційні ланки з великими постійними часу T_1 та T_2). Тоді:

$$W_{pez}(s) = \frac{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}{K 2 T_\mu s} = \frac{T_1 + T_2}{K 2 T_\mu} + \frac{1}{K 2 T_\mu s} + \frac{T_1 T_2}{K 2 T_\mu} s. \quad (13)$$

Параметри налаштування $K_p = \frac{T_1 + T_2}{K 2 T_\mu}$, $K_i = \frac{1}{K 2 T_\mu}$, $K_d = \frac{T_1 T_2}{K 2 T_\mu}$.

2. Незмінна частина системи має інтегруючу ланку. Наприклад, інтегруючими ланками є серводвигун без місцевого зворотного зв'язку, об'єкт керування без самовирівнювання. Тоді передатна функція незмінної частини матиме вигляд

$$W_{нч}(s) = \frac{K \cdot e^{-\tau s}}{s \prod_{i=1}^m (T_i s + 1)}. \quad (14)$$

У цьому випадку застосування І-, ПІ-, та ПІД- регуляторів приводить до астатизму другого порядку синтезованої системи, що при застосуванні даної методики значно зменшує запаси стійкості та погіршує показники якості перехідних процесів. Тому для систем із астатичною незмінною частиною ця методика може бути застосована до систем з ПІ-регулятором.

Тоді, виходячи з бажаної передатної функції розімкненої системи (8), застосовуючи вирази (2) та (14), отримаємо передаточну функцію регулятора

$$W_{рег}(s) = \frac{W_{поз}(s)}{W_{нч}(s)} = \frac{s \prod_{i=1}^l (T_i s + 1)}{K T_o s} = \frac{\prod_{i=1}^l (T_i s + 1)}{K 2T_\mu} \quad (15)$$

У випадку $l=0$ (відсутні інерційні ланки, що компенсуються) матимемо передаточну функцію П-регулятора

$$W_{рег}(s) = \frac{1}{K 2T_\mu}, \quad (16)$$

з параметром налаштування $K_p = \frac{1}{K 2T_\mu}$, який приводить динамічні показники

якості до показників технічного оптимуму, тоді як статична похибка знищується за рахунок інтегруючих властивостей самої незмінної частини.

У випадку $l=1$ та більше виникають труднощі фізичної реалізації через більший порядок чисельника, ніж знаменника передатної функції регулятора.

Отже, у випадку астатичної незмінної частини системи при застосуванні даної методики можна рекомендувати:

- використання П-регуляторів;
- у випадках коли необхідно зменшити час регулювання $t_p = 4,7T_\mu$

шляхом компенсації інерційних ланок слід позбутись інтегруючих ланок у незмінній частині шляхом охоплення їх місцевим зворотним зв'язком.

Висновки

Запропонована аналітична методика дає змогу визначити параметри регуляторів автоматичних систем, що мають декілька інерційних ланок та запізнення, враховуючи динамічні властивості виконавчих механізмів.

Список літератури

1. Мартыненко И. И. Проектирование систем автоматики / И. И. Мартыненко, В. Ф. Лысенко. – М. : Агропромиздат, 1990. – 224 с.
2. Попович М. Г. Теория автоматического керування / М. Г. Попович, О. В. Ковальчук. – К. : Либідь, 2007. – 656 с.
3. Ключев В. И. Теория электропривода / В. И. Ключев – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ

Ю. В. Шуруб

Аннотация. Проведено исследование и обоснование возможностей использования аналитических методов определения параметров настройки регуляторов систем автоматического управления технологическими процессами. Определены области применения разных типов регуляторов.

Ключевые слова: система автоматического управления, синтез регулятора, параметры настройки.

ANALYTICAL METHOD FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF INDUSTRIAL PID REGULATOR

Y. Shurub

Annotation. *The study and justification of possibilities of using of analytical methods for the determination of the parameters of regulators in automatic control systems of technological processes are carried out. Areas of application of different types of regulators are identified.*

Key words: *automatic control system, synthesis of controller, settings parameters.*

УДК 621.314

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

*О. І. Щепотьєв, кандидат технічних наук
А. В. Жильцов, доктор технічних наук
В. В. Васюк, асистент
e-mail: azhilt@gmail.com*

Анотація. *Розглянуто методи підвищення якості експлуатаційного контролю складних систем.*

Ключові слова: *надійність, допусковий контроль, інструментальна достовірність, об'єкт контролю.*

Зростання вимог до ефективності експлуатації складних систем призводить до необхідності вирішення задач забезпечення високої якості інформації, яка циркулює в системі управління.

Мета досліджень – обґрунтування методів підвищення якості експлуатаційного контролю складних систем.

Матеріали та методика досліджень. Ефективність експлуатації – це ступінь реалізації можливостей органу управління в інтересах забезпечення реалізації максимальних можливостей об'єкта управління. Вона залежить від ступеня інформованості, тобто ступеня забезпеченості органу управління достовірними відомостями для прийняття оптимального (доцільного) рішення.

У процесі здійснення експлуатаційного контролю допускається повна безвідмовність засобів контролю, а можливі результати контролю обумовлені лише їх точнісними характеристиками і фактичним станом об'єкта контролю [3].

Показник інформованості повинен мати інтегрований характер і відображувати якість всієї інформації, необхідної для прийняття рішення.