

2. Альошинський, Є. С. Концепція диверсифікації діяльності залізничного транспорту України на основі створення регіональних транспортно-логістичних кластерів [Текст] / Є. С. Альошинський, Є. І. Балака, Ю. В. Шульдінер, С. О. Світлична, Г. О. Сіваконева // Журнал «Залізничний транспорт України». – 2012. - № 6. – С. 56-58.
3. Альошинський Є.С. Удосконалення взаємодії інформаційних підсистем суміжних прикордонних передавальних станцій [Текст] / Є.С. Альошинський, Ю.В. Кіхтева // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. - Харків УкрДАЗТ, 2011.- Вип.127. – С. 28-33.
4. Кіхтева Ю.В. Удосконалення функціонування інформаційної підсистеми прикордонних передавальних станцій. Дисертаційна робота на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. 05.22.01. – Харків, 2010.
5. Boile M., Spasovic L. and Bladikas A. (1995). "Modeling Intermodal Auto-Rail Commuter Networks", Transportation Research Record, no. 1516, (38-47).
6. Suwalski R. (2000). Wozki towarowe i osobowe awtomatycznym rychny przestawczym 1435/1520 mm // Technika transportu szynowego. -- №7/8, (32-44).
7. Kondratowicz Ludwik J. (1990). "Simulation methodology for intermodal freight transportation terminals", Simulation, (49-57).
8. Ward T. (1995). "Simulation Analysis for Planning Deltaport Container Terminal", Ports '95, Proceedings of the Conference, (640-651).
9. EUROPEAN Agreement on Important International Combined Transport Lines and Related Installations (AGTC). United Nations Economic Commissions for Europe Inland Transport Committee. Done in Geneva on 1 February 1991. – 33 p.
10. Berenyi J. (12th December 2002) Nas status on terminal technologies and challenges (the evaluation and development of the intermodal transport in Hungary) / Institute for Transport Sciences Ltd (Budapest) / EUTP 3rd Clustering Meeting Rotterdam.

Розглянуті основні проблеми керування інерційними об'єктами, показана доцільність розробки нових структур регуляторів та методик налаштування систем керування. Запропонована нова 2-канальна структура регулятора з динамічною корекцією та методика синтезу робастного регулятора. Проведено імітаційне моделювання та приведені показники якості перехідних процесів, показані переваги запропонованих рішень

Ключові слова: керування, регулятор, стабільність, робастність, автоматика, динамічна корекція, ІМС

Рассмотрены основные проблемы управления инерционными объектами, показана целесообразность разработки новых структур регуляторов и методик настройки систем управления. Предложена новая 2-канальная структура регулятора с динамической коррекцией и методика синтеза робастного регулятора. Проведено имитационное моделирование и приведены показатели качества переходных процессов, показаны преимущества предложенных решений

Ключевые слова: управление, регулятор, стабильность, робастность, автоматика, динамическая коррекция, ИМС

УДК 4.624

МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ СИСТЕМ РЕГУЛЮВАННЯ НА БАЗІ ПІ ТА ПІД РЕГУЛЯТОРІВ

Ю. М. Ковриго

Кандидат технічних наук, професор*

E-mail: yukovrygo@gmail.com

Т. Г. Баган

Старший викладач*

E-mail: diplomat4@gmail.com

О. С. Бунке

Аспірант, асистент*

*Кафедра автоматизації теплоенергетичних процесів

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

E-mail: alex@bunke.com.ua

1. Вступ

Більшість систем керування промисловими об'єктами побудовано на базі ПІ та ПІД регуляторів, але

значна їх частина працює неефективно або досить часто перемикається в ручний режим роботи [1]. Класичні структури систем керування та інженерні методи налаштування є ефективними для простих технологічних

об'єктів, де добре відома математична модель, немає великої інерційності та зміни параметрів, встановлена якісна вимірювальна апаратура. У випадку, якщо об'єкт працює у маневреному режимі (постійна зміна навантаження, або інших вхідних параметрів), має велику інерційність і при цьому вимоги до точності підтримання значення параметрів, що регулюються, досить високі - необхідно застосовувати сучасні структури та методи налаштування регуляторів на задану якість перехідних процесів та необхідний запас стійкості.

Теплоенергетичні об'єкти керування мають досить жорсткі вимоги до точності підтримки параметрів: температура та тиск пари перед турбіною не повинні відхилятися від заданих більш ніж на 0,5%, так як від цього залежить як ККД роботи енергоблоку в цілому, так і строк служби обладнання та трубопроводів, температура та вологість пилувугільного палива також потребує точного керування, так як від цього залежить ККД горіння в топці.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

З моменту виникнення ПІД-регулятора він, безумовно, найбільше використовується в різних системах керування технологічними процесами. Його успіх обумовлений в основному простотою структури (три параметри налаштування) та операціями, які дають інженеру краще розуміння регулювання у порівнянні з іншими сучасними методами керування. Це призвело до безперервних досліджень, спрямованих на пошук альтернативних підходів до проектування і нових правил настроювання для того, щоб поліпшити якість контурів управління, що базуються на ПІД-регуляторах. Більшість з цих робіт, які виникли протягом багатьох років представляють форму пропозицій, заснованих на простих моделях і в цілому приводять до правил налаштування, які пов'язують параметри моделі процесу з налаштуваннями регулятора безпосереднім і простим способом. Загальна ідея, що об'єднує їх всіх – це необхідність врахування точного розуміння проблеми управління і його зв'язок з моделюванням та знання технологічного процесу.

Спершу здійснювався систематичний синтез ПІД-регулятора на основі мінімальної інформації про процес, що спонукало до розроблення різних методів для відстеження завдання і збурення. Введення уявлення про алгебраїчний підхід до розробки призвело до так званого методу λ -налаштування, який в свою чергу, тісно пов'язаний з предикатором Сміта і методом проектування на основі внутрішньої моделі управління (ІМС) [2]. Серед інших, особливий інтерес представляють міркування, які показують, що ІМС-регулятор реалізується у формі ПІ- або ПІД-регулятора, в залежності від раціональної апроксимації, що використовується для часу запізнювання. Ці підходи, однак, використовували відміну полюсів об'єкта, які можуть призвести до інертної реакції з боку зовнішнього збурення, особливо для процесів з великими постійними часу. згодом були представлені модифікації для того, щоб уникнути такого скасування, а в [3] наведено змінну підходу до регулятора ІМС, який названо SIMC, і здійснено налаштування для ПІ- та ПІД-регулятора, яке запобігає скасуванню перевизначення інтеграль-

ного члена, у випадку систем з домінуванням великих постійних часу.

Способи, засновані на застосуванні методів оптимізації є альтернативою аналітичним. Основна ідея в тому, щоб спробувати охопити різні аспекти бажаної форми виходу замкненої системи через визначення оцінки даного функціонального критерію повинні бути мінімізовані. В [3] налаштування для оптимізації стеження надається щодо інтегральної помилки критерію ISE, IAE та ІТАЕ, а в [4] надаються правила настроювання для різних складів інтегральних критеріїв.

Останнім часом, для кращого доступу до процедур оптимізації і чисельного програмного забезпечення, з'явилися підходи, засновані на багатокритеріальній оптимізації, які встановлюють загальний підхід і приклад його використання для ПІД-регулятора. Тим не менш, застосування цих стратегій оптимізації, хоча й ефективні, проте залежать від використання досить складних чисельних методів і не призводять до чітких правил налаштування. Під час їх застосування, можна отримати налаштування контролера тільки як рішення конкретної задачі оптимізації. Цю особливість, можна інтерпретувати як свого роду класифікацію, особливо ті підходи, які зосереджені на досягненні ПІД-регулятора з певними характеристиками робастності.

Надійність є одним з аспектів, що не входить як складова частина вимог, які включені при проектуванні системи управління, і не тільки у випадку з ПІД-регулятором, але і з більш широкою точки зору. Розгляд невизначеностей за допомогою H_∞ -норми дало змогу описати робастне керування, яке повністю ввійшло в теорію управління і на сьогоднішній день є розробленим і зрілим підходом, відомим як H_∞ -керування. Цей підхід знайшов відображення в численних роботах, які пропонують широке бачення з цього питання і з'явилися різні варіанти і підходи [5].

Ідеї, що виникають під час розробки робастного керування, відображаються у ПІД-регуляторі, що призвело до різних підходів, які можна назвати робастним ПІД-регулювання. Таким чином, ми отримуємо робастний ПІД-регулятор, в результаті вирішення задачі робастного управління. Стосовно до обмеженої структури регулятора, в якості запропонованих простих правил настроювання, які повинні бути включені в концепцію надійності. Таким чином, наприклад, у нас є методи, які розроблені на основі внутрішнього моделі управління (ІМС) [2], де в результаті деяких правил, налаштування параметризовані в термінах змінних і безпосередньо пов'язані з робастністю системи. Однак, ця робастність напряму не пов'язана з кількісною мірою робастності. З іншого боку, є й відомі розробки стратегій, засновані на встановленні коефіцієнта підсилення і запасу по фазі, розпочаті в [6-7], що породили численні варіанти і розширення. У цьому випадку проектується параметр або прямий показник вимірювання бажаної робастності для замкнутої системи. Останнім часом розглядається ідея використання максимальної функції чутливості (так звана MS) як розумна міра робастності. На цьому етапі також можна провести різницю між підходами, які намагаються досягти замкнутої з певним значенням MS і більш гнучкі підходи, що забезпечують настройку правил безпосередньо параметризовані значення цільової MS.

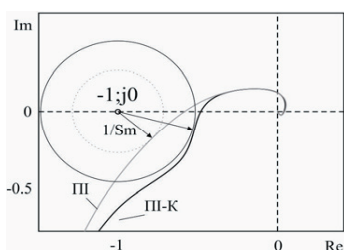
Сучасна контролерна техніка дозволяє використовувати нестандартні закони керування, адаптовані під певний клас об'єктів. У роботі [8] описуються регулятори змінної структури для складних технологічних процесів. Але більшість регуляторів змінної структури досить складні в реалізації та налаштуванні, актуальною є розробка більш простого рішення, яке б забезпечувало швидкодію та робастність систем керування інерційними технологічними об'єктами.

3. Мета і задачі досліджень

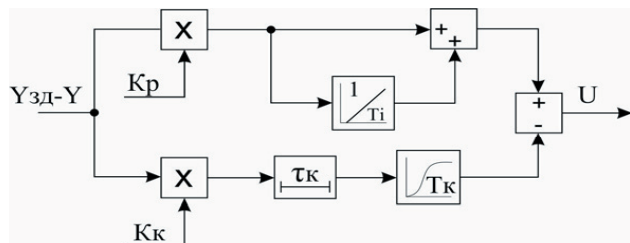
Метою роботи є підвищення запасу стійкості систем автоматичного керування складними інерційними об'єктами в умовах зміни режимів роботи устаткування шляхом застосування нової структури регулятора та методів налаштування на задані показники якості.

4. Метод динамічної корекції

Сучасна реалізація традиційних алгоритмів управління, введення в структуру додаткових модулів, таких як обмежувачі, фільтри, нелінійні елементи, складні диференціатори, захист від інтегрального насичення, захист від П- і Д- ударів значно розширили можливості структурного синтезу систем управління. Однак за оцінками експертів в промисловій автоматизації домінуючими залишаються ПІ- і ПІД-регулятори (близько 95%) [1]. Для модернізації існуючих АСР та забезпечення стійкості в маневрених режимах роботи розроблено метод динамічної корекції амплітудно-фазової частотної характеристики (АФЧХ) системи (рис. 1а) [9]. Задача полягає в тому, щоб підключивши певний набір ланок (коректор) до стандартного ПІ-регулятора змістити годограф АФЧХ в робочій частотній області якнайдалі від точки (-1; j0) (регулятор з коректором будемо називати ПІ-К регулятором, рис. 1б).



а)



б)

Рис. 1. Система з ПІ регулятором та коректором: а) АФЧХ розімкнених систем; б) структурна схема ПІ-К регулятора

де S_m – комплексний показник запасу стійкості системи регулювання, який вираховується як максимум модуля АЧХ функції чутливості.

$$S_m = \max \left| \frac{1}{1 + W_{pc}(j\omega)} \right|,$$

де W_{pc} – передавальна функція розімкненої системи.

Для робастності системи необхідно забезпечити, щоб S_m знаходився в діапазоні від 1,2 до 2, при цьому, чим менше S_m – тим більше запас стійкості, а система більш робастна.

Для збільшення запасу стійкості і формування потрібного керуючого впливу використовується 2-х канальна структура: основний канал відповідає за швидкодію системи, а канал корекції компенсує надлишковий сигнал керуючого впливу, забезпечуючи стійкість АСР на кінцевій ділянці перехідного процесу, що дозволяє використовувати форсовані налаштування основного каналу.

$$W_{pi}(p) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot p}\right), \quad W_k = K_k \cdot \frac{1}{T_k \cdot p + 1} \cdot e^{-\tau_k p} \quad (1)$$

Фактично даний регулятор підпадає під клас еквівалентно-адаптивних регуляторів змінної структури. Він не вимагає активної адаптації при зміні параметрів об'єкта, але при цьому забезпечує високі показники якості функціонування системи.

5. Метод налаштування H_{∞}

Регулятор із внутрішньою структурою (ІМС – Internal model control) був запропонований як альтернатива класичній структурі зі зворотним зв'язком (рис. 2). Головна перевага полягає у тому, що стійкість замкнутої системи досягається за рахунок вибору стійкого ІМС регулятора. Крім того, показники якості перехідних процесів (наприклад, час регулювання) прямо залежать від параметрів регулятора, що робить його налаштування дуже зручним. Якщо модель точна і відсутні збурення, тоді вихід з моделі та об'єкта рівні і сигнал зі зворотного зв'язку дорівнює нулю. Сигнал зі зворотного зв'язку виражає невизначеності в об'єкті.

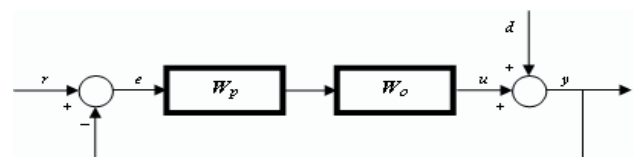


Рис. 2. Структурна схема системи керування зі зворотним зв'язком де W_p – передавальна функція регулятора, W_o – об'єкт без астатизму, r – завдання, y – вихід системи, d – зовнішнє збурення на виході об'єкта, u – вихід регулятора, e – сигнал неузгодження.

Одним із способів вирішення параметризованих задач, пов'язаних з робастним управлінням, є використання основної (2) та додаткової функції чутливості (3). Вони передбачають точну фізичну інтерпретацію

зв'язку параметрів налаштувань із частотними показниками якості функціонування, що важливо при проектуванні.

Проте вони не представляють ефективне рішення з погляду практичної вимоги найбільш швидкої та монотонної реакції на збурення, особливо, якщо враховувати діапазон можливої зміни параметрів, вплив немодельованої динаміки та похибки вимірювання.

$$S(p) = \frac{1}{1 + W_p(p)W_{об}(p)}, \quad (2)$$

$$T(p) = \frac{W_p(p)W_{об}(p)}{1 + W_p(p)W_{об}(p)}. \quad (3)$$

Задача керування полягає у синтезі такого регулятора, який би мінімізував помилку регулювання або, що еквівалентно, норму помилки регулювання. В якості критерія оптимізації було запропоновано H_∞ -норму замкненої системи.

Так як більшість теплоенергетичних об'єктів мають значне запізнення, то для математичної реалізації ІМС-регулятора необхідно апроксимувати ланку запізнення розкладенням в чисельний ряд Тейлора або Паде.

В даній методиці пропонуються обидві апроксимації 1-го порядку.

Якщо номінальна замкнута система є внутрішньо стійкою, то регулятор забезпечує робастну стійкість та задану робастну якість тільки якщо

$$\left| \frac{S(p)W(p)}{\Delta_m(p)} \right| < 1$$

якісне керування робастність

де $W(p)$ – це деяка вагова функція; Δ_m – невизначеність, яка складається з двох частин: перша – помилка апроксимації, а друга – реальна невизначеність.

Синтез ІМС складається з двох кроків. Перший крок або номінальне керування – полягає у виборі такого регулятора, при якому було б отримано задовільну якість перехідних процесів за каналами, які розглядаються, без урахування обмежень та неточності моделі.

На другому кроці регулятор доповнюється фільтром високих частот, який дозволяє вибрати компроміс між запасом стійкості та швидкістю замкненої системи, поступово змінюючи параметр фільтра λ , який можна назвати мірою якості.

Отже, отримуємо наступну процедуру налаштування ІМС- H_∞ -регулятора:

1) розробка регулятора для номінального об'єкта з заданим показником якості;

2) заміна номінального об'єкта на об'єкт в гіршому випадку (тобто, коефіцієнту передачі об'єкта і часу запізнення на-

дається їх максимальне значення, а постійній часу – мінімальне значення);

3) зміна міри якості λ монотонно з невеликим кроком, поки показник якості не досягне потрібного значення.

Таким чином, для об'єкта управління, що описується моделлю першого порядку з запізненням отримали [7] наступну структуру регулятора:

$$W_p(s) = \frac{1}{K_o} \frac{(T_o s + 1) \left(1 + \frac{\tau}{2} s\right)}{\lambda^2 s^2 + (2\lambda + \frac{\tau}{2}) s}, \quad (4)$$

а для моделі другого порядку з запізненням:

$$W_p(s) = \frac{1}{K_o} \frac{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}{\lambda^2 s^2 + (2\lambda + \tau) s} \quad (5)$$

За допомогою чисельного моделювання можна отримати однозначні залежності між мірою якості λ та основними показниками якості функціонування системи. В результаті маємо робастно стійку систему з наперед заданою якістю функціонування.

6. Експериментальні дані

Для проведення досліджень було вибрано складний інерційний технологічний об'єкт – пиловугільний енергоблок промислової теплоелектростанції (рис. 3). В статті [9] було розглянуто застосування динамічної корекції в контурі керування тепловим навантаженням, але не менш цікавим контуром є регулювання температури пиловугільної аеросуміші.

Основними вимогами, що висувуються до автоматичної системи пилеприготування, є: підтримка необхідної продуктивності млина (необхідної витрати палива) і забезпечення якості підготованого пилу (дисперсія помолу і ступінь підсушування). Вологість пилу на виході з млина встановлюється за умовами процесу спалювання і нормальної роботи пиложильників, а також вибухобезпеки повітряної суміші.

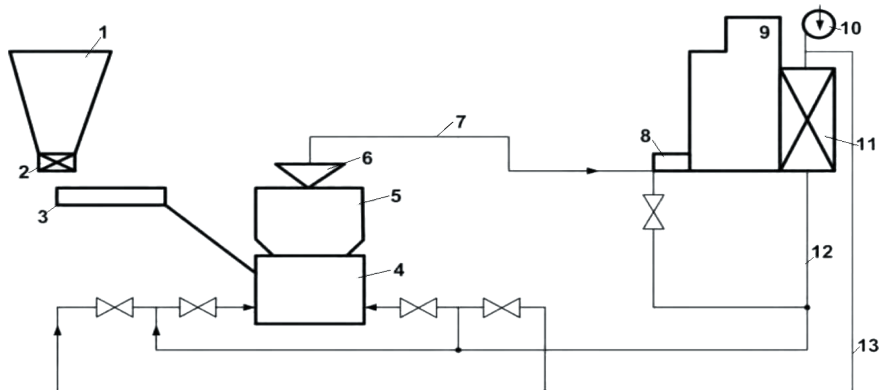


Рис. 3. Схема пилеприготування для молоткового млина:

- 1 – бункер сирого вугілля, 2 – відтинаячий шибер, 3 – живильник сирого вугілля,
- 4 – млин барабанний; 5 – сепаратор; 6 – розподільник пилу; 7 – пилепроводи;
- 8 – пальники; 9 – котлоагрегат; 10 – дуттєвий вентилятор; 11 – повітряпідігрівач;
- 12 – повітропровід; 13 – трубопровід присадки холодного повітря

Підвищена вологість пилу погіршує її горіння, призводить до порушення нормальної роботи пилосистеми. Надмірне підсушування пилу створює загрозу вибуху аеросуміші і викликає її велику плинність, що може призводити до мимовільної зміни продуктивності пиложивильників.

Правила технічної експлуатації встановлюють наступні значення температури суміші за млином (для кожного конкретного підприємства ці значення можуть змінюватися) [10]: для палива з вологістю до 25% – 70°C; для палива з вологістю понад 25% – 80°C; для пісного вугілля – 100°C.

$$W_{об} = \frac{0.14}{(10457 \cdot p^2 + 219 \cdot p + 1)} \cdot e^{-32p}$$

Діапазон зміни параметрів об'єкта визначається:

$$0.111 \leq K_{об} \leq 0.158$$

$$168 \leq T_1 \leq 255$$

$$6211 \leq T_2 \leq 14144$$

При цьому необхідно відзначити, що зміна параметрів об'єкта, наявність різних неконтрольованих збурень, а також присутність в контурі управління запізнювання є суттєвими обмеженнями для застосування класичних систем автоматичного регулювання температури аеросуміші.

Використовуючи формули (1) і (5) отримаємо налаштування ПІ-регулятора з динамічним коректором та ІМС-Н_∞-регулятора (з λ=0,45), які разом з налаштуваннями стандартного ПІ-регулятора зведемо до табл. 1.

Таблиця 1

Налаштування регуляторів

| Регулятор | K _p | T _n | K _k | T _k | τ _k | T _D | T _F |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| ПІ | 23 | 150 | - | - | - | - | - |
| ПІ-К | 33 | 180 | 16 | 49 | 15 | - | - |
| ІМС-Н _∞ | 24 | 165 | - | - | - | 35 | 3.5 |

Графіки перехідних процесів та керуючого впливу у порівнянні з ПІ-регулятором показані на рис. 4.

Показники, одержані на основі аналізу графіків рис. 4, узагальнено в табл. 2. Отримані результати свід-

чать про те, що регулятори ПІ-К та ІМС-Н_∞ можна вважати робастними на всьому робочому діапазоні змін параметрів пилосистеми енергоблоку, так як основні розглянуті показники якості не зазнали значних змін на відміну від показників штатного ПІ-регулятора.

Таблиця 2

Показники якості функціонування систем

| Критерій якості | Регулятор | Режим | |
|---------------------------------------|--------------------|-------------|----------|
| | | номінальний | змінений |
| Степінь затухання | ПІ | 92% | 69% |
| | ПІ-К | 97% | 94% |
| | ІМС-Н _∞ | 100% | 100% |
| Час регулювання | ПІ | 780 | 900 |
| | ПІ-К | 750 | 600 |
| | ІМС-Н _∞ | 500 | 400 |
| Інтегральний модульний критерій (ІАЕ) | ПІ | 4.1 | 5.4 |
| | ПІ-К | 4.1 | 3.5 |
| | ІМС-Н _∞ | 3.6 | 3.4 |

6. Висновки

1. Запропоновані структурні та алгоритмічні рішення дозволяють підвищити якість регулювання складними інерційними промисловими об'єктами в змінних режимах роботи.
2. Регулятор з динамічним коректором дозволяє збільшити швидкодію системи регулювання одночасно забезпечуючи необхідний запас стійкості, що досягається шляхом застосування двох незалежних каналів регулювання.
3. Методика налаштування ІМС-Н_∞ забезпечує гарантовано стійкий робастний регулятор з можливістю отримання бажаного прямого показника якості функціонування системи.
4. Динаміка сигналу керування в запропонованих структурах забезпечує плавну роботу виконавчого механізму, мінімізує переміщення регулюючого органу, що продовжує термін експлуатації обладнання.
5. Розглянуті методики отримання робастних регуляторів є математично обґрунтованими, простими в технічній реалізації, та рекомендовані до впровадження на об'єктах зі змінними режимами роботи.

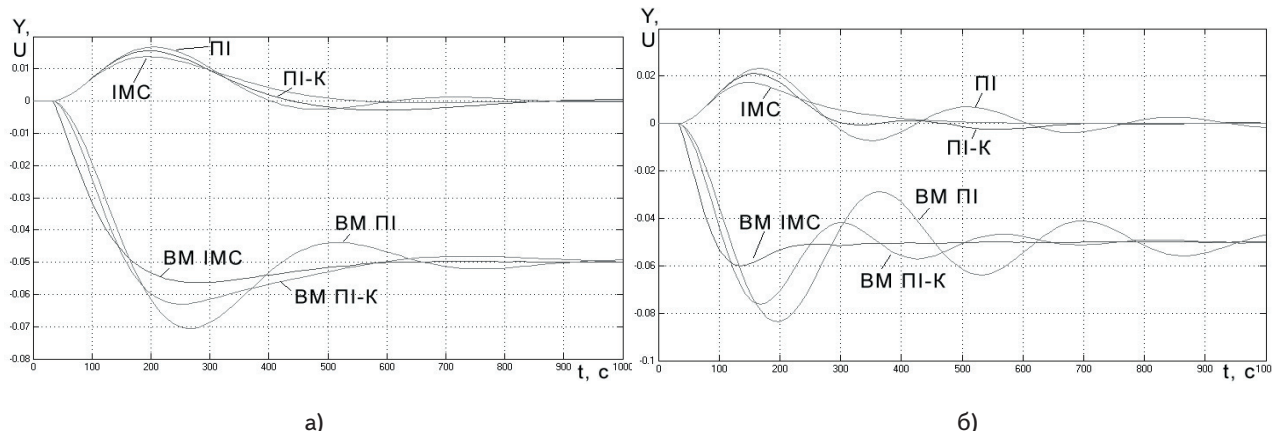


Рис. 4. Перехідні процеси та робота виконавчих механізмів (ВМ) при різних режимах роботи: а) номінальний режим б) при зміні навантаження

Література

1. O'Dwyer, A. Handbook of PI and PID controller tuning rules – 3rd ed [Текст] / A. O'Dwyer. – London : Imperial College Press, 2010. – 623 p.
2. Rivera, D.E. Internal model control. PID controller design [Текст] / D.E. Rivera, M. Morari, S. Skogestad – Ind. Eng. Chem. Res. 25, 1986. – P. 252–265.
3. Skogestad, S. Simple analytic rules for model reduction and PID controller tuning [Текст] / S. Skogestad // Journal of Process Control. – 2003. – № 13. – P. 291–309.
4. Shinskey, F.G. Process Control Systems: Application, Design, and Tuning. 3rd edn [Текст] / F.G. Shinskey. – McGraw-Hill, New York, 1988. – 376 p.
5. Morari, M. Robust Process Control [Текст] / M. Morari, E. Zafiriou – Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. Jersey, 1989. – 479 p.
6. Aström, K.J. Automatic tuning of simple regulators with specifications on phase and amplitude margin [Текст] / K.J. Aström, T. Häggglund // Automatica 20. – 1984. – P. 645–651.
7. Ковриго, Ю.М. Методика налаштування H_∞ -ПІД регулятора для об'єктів із запізнюванням [Текст] / Ю.М. Ковриго, Т.І. Баган // Наукові вісті НТУУ "КПІ", Київ. – 2013. – № 1. – С. 12–17.
8. Хобін, В.А. Регулятор змінної структури для побутової ефективних робастних автоматичних систем [Текст] / В. А. Хобін, О.І. Парамонов // Журн. Одес. держ. акад. харч. техн. – 1997. – №17. – С. 241–248.
9. Ковриго, Ю.М. Модернізація системи управління теплової нагрузкою прямооточного котлоагрегата ТЭС с использованием динамического корректора [Текст] / Ю. М. Ковриго, М. А. Коновалов, А. С. Бунке. // Теплоэнергетика – 2012. – №10. – С. 43–49.
10. Еремін, Е.Л. Адаптивное и робастное управление объектами теплоэнергетики [Текст] / Е.Л. Еремін, Д.А. Теличенко – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2009. – 228 с.

Обґрунтовано доцільність створення адаптивної системи оперативного управління роботою локомотивного парку для залізниць України. Виконано аналіз сезонної, тижневої та внутрішньодобової нерівномірностей відправлення поїздів з технічних станцій залізничного напрямку, визначено ступінь зв'язку між кількістю відправлених поїздів та тривалістю їх руху між технічними станціями, а також виявлена залежність величини тривалості слідування поїздів по дільницях від сезону року та дня тижня

Ключові слова: нерівномірність руху поїздів, інтенсивність відправлення поїздів, тривалість руху на дільниці, локомотиви, локомотивні бригади

Обоснована целесообразность создания адаптивной системы оперативного управления работой локомотивного парка для железных дорог Украины. Выполнен анализ сезонной, недельной, внутрисуточной неравномерностей отправления поездов с технических станций железнодорожного направления, определена степень связи между количеством отправленных поездов и продолжительностью их следования между техническими станциями, а также выявлена зависимость величины продолжительности хода поездов по участкам от сезона года и дня недели

Ключевые слова: неравномерность движения поездов, интенсивность отправления поездов, продолжительность движения на участке, локомотивы, локомотивные бригады

УДК 656.212.5

АНАЛІЗ НЕРІВНОМІРНОСТІ ВІДПРАВЛЕННЯ ПОЇЗДІВ З ТЕХНІЧНИХ СТАНЦІЙ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ НАПРЯМКУ

Р. В. Вернигора

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: RomaV1@yandex.ru

Л. О. Єльнікова

Асистент*

E-mail: elida@i.ua

*Кафедра «Станції та вузли»

Дніпропетровський національний університет

залізничного транспорту

ім. академіка В. Лазаряна

вул. В. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ,

Україна, 49010

1. Вступ

В умовах конкуренції на ринку вантажних перевезень організація швидкої та своєчасної доставки

вантажів залізничним транспортом має велике значення. Для вирішення цієї задачі слід розробляти організаційно-технічні заходи щодо зменшення тривалості невиробничих простоїв поїздів на технічних