

С.С. Багдасарян, О.Ю. Колларов, канд-ты техн. наук, Д.О. Кардаш  
(Україна, Красноармійськ, ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»)

## АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОПОВІД КАРЕТКИ ЛІТАЛЬНОЇ ПИЛКИ З АДАПТИВНИМ РЕГУЛЯТОРОМ ПОЛОЖЕННЯ ЗМІННОЇ СТРУКТУРИ

**Анотація.** Розглянуто реалізацію електроприводу каретки літальної пилки із застосуванням загальнопромислового частотно-керованого асинхронного електропривода. Для вирішення поставленого завдання застосовано адаптивний регулятор положення зі змінною структурою. Зміна структури і передаткової функції регулятора відбувається у моменти переходу електропривода з одного режиму роботи в інший. Система керування реалізована на базі мікроконтролера. Для налаштування параметрів регуляторів застосовано метод фізичного моделювання з подальшою обробкою даних на комп'ютері через спеціально розроблену програму. Реалізація системи керування положенням каретки літальної пилки забезпечила бажані параметри роботи приводу щодо швидкодії та точності позиціонування.

**Ключові слова:** літальна пилка, електропривід каретки, регулятор положення.

**Аннотация.** Рассмотрена реализация электропривода каретки летающей пилы с применением общепромышленного частотно-управляемого асинхронного электропривода. Для решения поставленной задачи применен адаптивный регулятор положения с переменной структурой. Изменение структуры и передаточной функции регулятора происходит в моменты перехода электропривода из одного режима работы в другой. Система управления реализована на базе микроконтроллера. Для настройки параметров регуляторов применен метод физического моделирования с последующей обработкой данных на компьютере посредством специально разработанной программы. Реализация системы управления положением каретки летающей пилы обеспечила желаемые параметры работы привода по быстродействию и точности позиционирования.

**Ключевые слова:** летающая пила, электропривод каретки, регулятор положения.

**Abstract.** Realization of flying saw electric drive using the frequency-controlled induction motor drive considered. To solve this problem applies adaptive position regulator with variable structure. Restructuring and change of regulator transfer function are happen in moments of transition from one operating mode to another. The control system implemented on a microcontroller. To configure regulators applied the method of physical modeling with further data processing computer through a specially designed program. Implementation of the flying saws management system provided the desired performance and position's accuracy.

**Keywords:** flying saw, carriage drive, position regulator.

**Постановка завдання.** Літальна пилка є одним із найскладніших агрегатів трубопрокатного стану. Швидкість руху труби лежить у межах 0,5 – 1 м/с, необхідна точність різання по довжині близька 5 мм. Мінімальна довжина відрізуваних труб – 6 м, що обмежує час усього циклу 6-ма с. При цьому час різання труби становить близько 3 с (для пристроїв з пилками холодного різання), що відповідає 3 м довжини ходу каретки на час процесу різання. До того ж частина шляху і часу витрачається на прискорення каретки на початку циклу різання до швидкості руху труби, а також на гальмування в процесі повернення каретки після закінчення процесу різання. Загальний хід каретки таким чином становить близько 4 м і на повернення у вихідне положення залишається близько 2 с. Звідси впливають вельми високі вимоги до електроприводу переміщення каретки, зокрема висока швидкодія з одночасним забезпеченням заданої точності позиціонування.

**Вирішення завдання.** Як правило, в таких установках використовують комплектний сервопривід. У розглянутому прикладі таке рішення виходить досить вартісним, адже маса каретки становить близько 750 кг, а потужність приводу 11 кВт. Крім того, процес обслуговування та ремонту сервоприводу є вельми вартісним, особливо у разі виходу з ладу двигуна. Виходячи з цього для каретки було розроблено та реалізовано електропривід з загальнопромисловим асинхронним двигуном, перетворювачем частоти та керуючим контролером.

Структурна схема електроприводу каретки має вигляд наведений на рис. 1.

Силова частина виконана на загальнопромисловому асинхронному двигуні і перетворювачі частоти Altivar 71, система керування – на контролері I-8041 зі спеціалізованими модулями вводу-виводу: I-8040/8041 – увід/вивід дискретних сигналів, I-8090 – модуль інтерфейсу енкодерів (3 канали), модуль I-8024 – аналоговий вихід  $\pm 10$  В. Як панель оператора використана панель МТ-6050і, що має сенсорний екран і достатні ресурси для вирішення даного завдання.

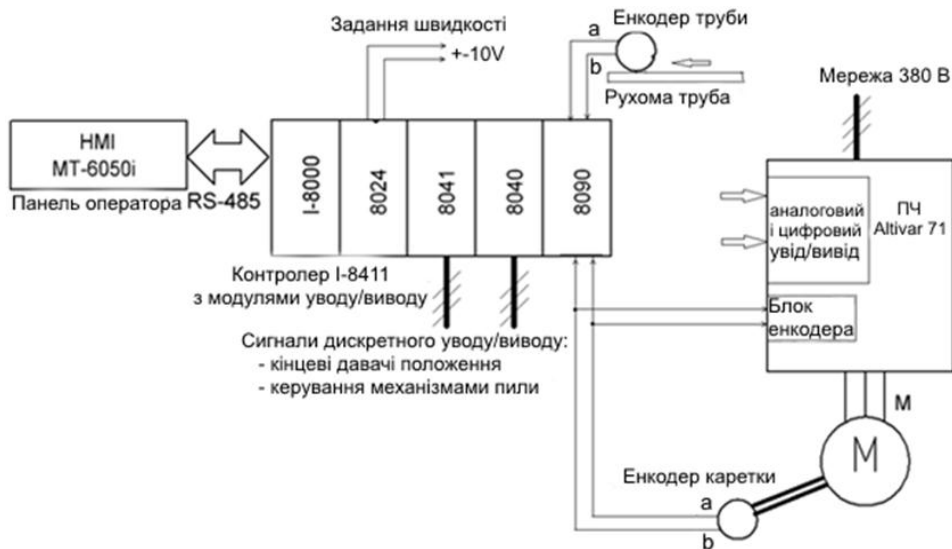


Рис. 1. Структурна схема асинхронного електропіводу каретки літальної пилки

У ході виконання циклу різання можна виділити наступні режими роботи електропіводу каретки (дивись таблицю). Описані у таблиці вимоги до налаштування електропіводу носять суперечливий характер залежно від режиму роботи. Так, основним і визначальним режимом якісної роботи пилки є режим розганяння каретки і зачіплювання труби у заданій точці. Тут потрібні висока точність та одночасно висока швидкодія. Враховуючи великий момент інерції механізму ( $J_{дв} = 0,032 \text{ кгм}^2$ ,  $J_{мех.пов.} = 0,067 \text{ кгм}^2$ ,  $J_{сум} = 0,099 \text{ кгм}^2$ ), доцільно застосувати ПІД-регулятор з налаштуванням, близьким до симетричного оптимуму (диференційна складова – мала).

Перелік режимів роботи електропіводу каретки літальної пилки

Режим	Опис	Вимоги
Очікування початку циклу.	Тримання каретки у позиції нульової координати.	Відсутність коливань, що виникають через силу тертя при русі труби.
Розганяння до швидкості труби.	Розганяння з максимальним прискоренням до збігу координати каретки з координатою точки початку різання.	Максимальна швидкодія та точність позиціонування; коливальність не має особливого значення, через затискання труби при досягненні збігу координат.
Рух зі швидкістю труби в процесі різання.	Рух разом із затиснутою трубою.	Підтримання швидкості, що дорівнює швидкості руху труби з обмеженням коливального моменту для уникнення проковзування труби в затискачах.
Реверс і повернення у початкове положення.	Гальмування після відпускання затискачів, реверс і повернення у початкове положення.	Максимальна швидкодія та позиціонування в нульову координату без перерегулювання або з невеликим перерегулюванням.

Порівняно велике перерегулювання, при такому налаштуванні, усувається механічною фіксацією каретки в заданому положенні затискачем труби. У той самий час, інші режими не вимагають високої точності, проте у режимі повернення каретки необхідна достатня швидкодія, а в режимі очікування – відсутність значної коливальності, через те що є можливим сходження каретки з напрямних. Для вирішення даного завдання запропоновано і реалізовано метод керування з адаптивним регулятором положення зі змінною структурою.

Спрощена структурна схема системи автоматичного керування (САК) електропіводом каретки наведена на рис. 2.

Структура регулятора положення складається з трьох складових: ПІД-регулятора режиму розганяння і зачіплювання труби та двох П-регуляторів режимів повернення каретки й утримання каретки у вихідному положенні. Вибір типу регулятора здійснює блок логіки керування структурою (як і інші вузли системи керування це – програмний модуль). Зовнішніми сигналами для роботи цього блока є сигнали від блока керування, на який приходять сигнали давача положення труби, а також інших механізмів пилки, зокрема від механізму різання. Сигнал заданого положення каретки формує відповідний модуль, що обчислює координати у функції заданої довжини розрізу, фактичного положення тру-

би і заданих параметрів прискорень/уповільнень. Вихідний сигнал регулятора положення надходить через логічний перемикач на вхід контура швидкості повіду. Цей перемикач відключає регулятор положення на час руху каретки разом із затиснутою трубою в процесі різання труби. Контур швидкості утворений вбудованим в ПЧ Altivar 71 ПІ-регулятором швидкості та контуром керування коливальними моментом (реалізований у векторній системі)

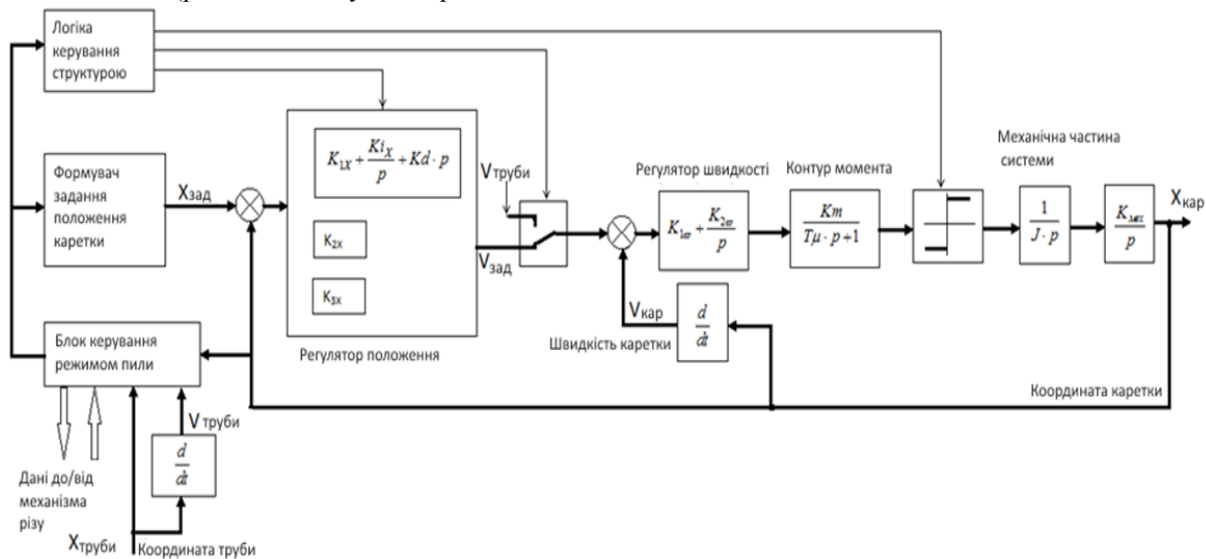


Рис. 2. Структурна схема системи автоматичного керування положенням каретки літальної пилки

Оскільки електроповід розроблявся для існуючої установки, основна складність якої полягає у змінності структури [2], то застосовувалося фізичне моделювання для налаштування регуляторів та оптимізації перехідних процесів. З цією метою була написана спеціальна підпрограма моделювання руху труби, а також отримання та передавання усіх необхідних величин у режимі реального часу через інтерфейс RS-485 керуючого контролера I-8041 на зовнішній ПК. Далі отриманий масив даних імпортувався до Excel, де й апроксимувались криві перехідних процесів. Швидкість передачі даних з контролера дуже висока (приблизно 100 значень за секунду), що дозволило отримати майже безперервні осцилограми параметрів повіду. В результаті моделювання отримані такі дані для налаштування параметрів регуляторів на різні режими:

- режим розганяння каретки та зачіплювання труби (ПІД-структура):  $K1x = 8$ ,  $Kix = 30$ ,  $Kd = 4$  (налаштування аналогічне симетричному оптимуму, відсутність статичної помилки, значне перерегулювання за максимальної швидкодії);
- режим реверсу і повернення (ПІ-структура 2):  $K2x = 5$  (налаштування на нормальну швидкодію з помилкою регулювання, невеликою коливальністю);
- режим утримання каретки в початковому стані при невеликому збуренні через силу тертя при русі труби (ПІ-структура 3):  $K3x = 3$  (налаштування на низьку швидкодію з помилкою регулювання, аперіодична характеристика).

На рис. 3 наведена осцилограма циклу різання зі швидкістю труби близько 40 м/хв. На рисунку наведено осцилограми: сигналу заданого положення каретки (довгий пунктир), фактичної координати каретки, сигналу завдання швидкості (вихід регулятора положення), а також сигналу помилки за положенням (короткий пунктир). Усі осцилограми масштабовані у відліках АЦП контролера (максимум – 8000 відліків). Як видно з осцилограм, на ділянці розганяння (до затискання труби) досягається максимальне прискорення (близько 3 м/с<sup>2</sup>), причому до моменту затискання помилка регулювання практично дорівнює нулю. Це підтверджується точністю довжини відрізаних труб: відхилення не перевищує 2 – 5 мм на довжині 6 м (не більше 0,08%). При цьому коливання сигналу завдання практично ідентичні коливанням фактичної швидкості.

Далі каретка рухається разом із трубою з постійною швидкістю до закінчення циклу різання і відпускання затискачів. У цій точці структура керування перемикається на ПІ-регулятор режиму повернення, який відпрацьовує гальмування та реверс каретки з порівняно великим динамічним розгодженням, яке поступово зменшується і при досягненні сигналом завдання нульового значення, структура перемикається ще раз на ПІ-регулятор режиму утримання. Це перемикання характеризується стрибком сигналу завдання швидкості. Останній регулятор «приводить» каретку в нульову позицію з невеликою помилкою, пропорційною силі тертя. Завдяки налаштуванню останнього регулятора коливання каретки у цьому положенні демпфуються. На точність розрізу така помилка не впливає, оскільки нульова координата оновлюється кожного разу при ініціалізації повіду.

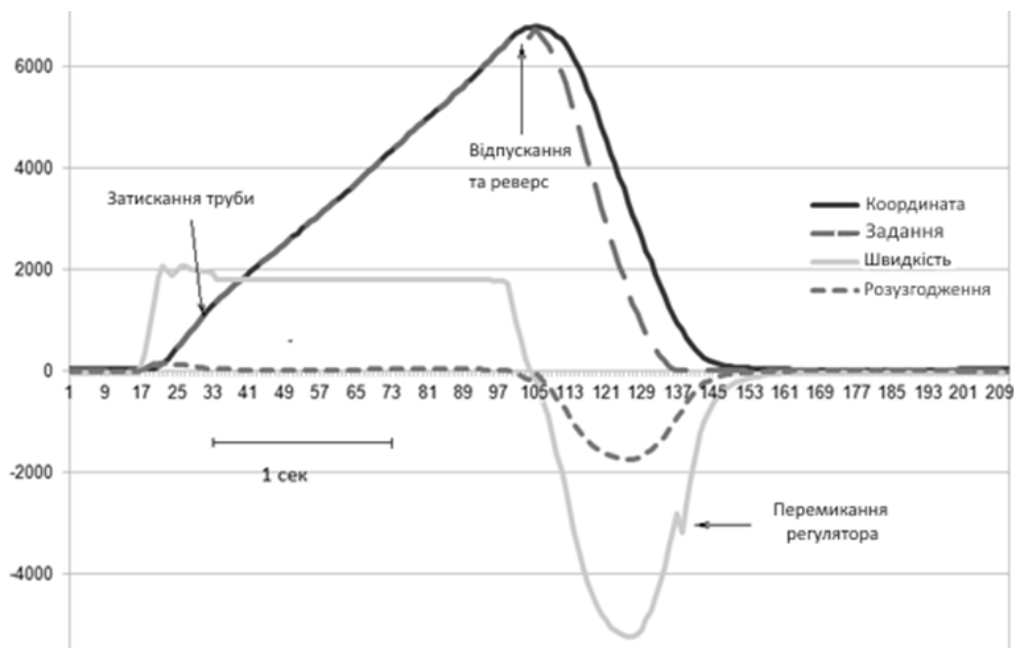


Рис. 3. Осцилограми роботи електроповіду каретки в циклі розрізу труби

**Висновки.** Реалізація електроповіду каретки літальної пилки на базі загальнопромислового частотно-керованого асинхронного електродвигуна значно скорочує сукупну вартість пристрою, спрощує технічне обслуговування установки, зменшує собівартість продукції при фактичному збереженні її якості.

#### Список використаних джерел

1. Паньч А.А. Алгоритм формування закону руху несущого органу летучей пилы / А.А. Паньч, В.Д. Червяков // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. М. Остроградського. – Кременчук: 2005. – № 4 (33). – С. 123-129.
2. Червяков В.Д. Аналіз законів руху електропривода несущого органу летучей пилы методом комп'ютерного моделювання / В.Д. Червяков, А.А. Паньч // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету. Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика». – Дніпродзержинськ: 2007. – С. 289-291.
3. Чиликин М.Г. Общий курс электропривода / М.Г. Чиликин, А.С. Сандлер – М.: Энергоиздат: 1981. – 576 с.

*Рекомендовано до друку: к-том техн. наук, проф. Івановим О.Б.*

УДК 62-83:621-313.333

*В.А. Бородай, канд. техн. наук, А.Р. Ковалев  
(Україна, Дніпропетровськ, ГВУЗ "Національний горний університет")*

## ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫЙ РЕГУЛЯТОР С КООРДИНАТНО-ФАЗОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ СКВАЖНОСТИ

Известно, что работа регулируемых электроустановок обеспечивается управляемыми источниками электрической энергии. Это, прежде всего, обусловлено возможностью работы электротехнических систем в режиме ресурсосбережения при одновременном регулировании технологического параметра. Очевидно, что внедрение регулируемых электроустановок является перспективной научной и практической задачей.

В современных преобразовательных устройствах широко применяются методы управления напряжением с помощью фазовых либо широтно-импульсных систем. По сути, эти методы определяются формой кривой выпрямленного либо действующего напряжения на выходе преобразователя, т.е. используется функциональная зависимость уровня результирующего выходного напряжения от величины площади под его кривой.