

УДК 681.513.2 + 621.34

## ОБМЕЖЕННЯ РИВКА В ДВОХРЕЖИМНІЙ СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НЕСУЧОГО ОРГАНА ЛЕТУЧОЇ ПИЛИ

Панич А.О., ст. викл., Петренко М.О., студент

Сумський державний університет

40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, СумДУ, Кафедра КСУ

E-mail: [info@ksu.sumdu.edu.ua](mailto:info@ksu.sumdu.edu.ua)

В статті розглянуто три способи обмеження другої похідної швидкості (ривка) і формування Тахограм з заданими прискореннями в двохрежимній системі управління електроприводом несущого органа летючої пили. На основі їх аналізу і результатів моделювання вибрано найбільш прийнятний для подальшого застосування.

**Ключевые слова:** електропривод, рывок, задатчик интенсивности, система управления.

The three ways of the limitation of the second-order speed derivative (jerk) and formation of the tachogram with specified accelerations in the electric drive control system of two-modes flying saw carrying organ is considered in the article. On the basis of their analysis and modelling results the most acceptable is chosen.

**Key words:** electric drive, jerk, intensity drive, control system.

**Вступ.** Летучі пили (ЛП) використовуються в технологічних лініях для мірного порізу довгомірних матеріалів, що рухаються. Оброблюваними виробами (ОВ), наприклад, можуть бути труби, сортовий прокат, гнуті профілі, дерев'яні плити [1]. Летуча пила має у своєму складі декілька виконавчих механізмів, серед яких важливе місце займає несучий орган (НО). На ньому розташовані інші механізми, що безпосередньо виконують операції порізу. Робочий цикл електроприводу НО складається з п'яти етапів та містить ділянки очікування, розгону, гальмування та сталого руху. Електропривод НО працює з високою частотою вмикань і характеризується великими витратами електроенергії в перехідних процесах, до нього пред'являються численні вимоги щодо виконання жорстких технологічних обмежень. Енерговитрати ЛП у робочому циклі й точність порізу ОВ переважно визначаються законом руху НО [2].

**Аналіз попередніх досліджень.** Аналіз робочого циклу ЛП привів до висновку про необхідність застосування двохрежимного способу управління приводом НО, який передбачає управління швидкістю руху НО на трьох етапах з п'яти, а на етапах очікування та обробки ОВ необхідне регулювання електромагнітного моменту двигуна, для чого запропонована система двохрежимного управління електроприводом [3]. З метою покращення енергоефективності приводу НО ЛП необхідне формування законів руху НО з заданими прискореннями [4]. Для підвищення керованості та точності прогнозування процесів руху НО ЛП запропоновано обмежити величину другої похідної швидкості (ривка) обертання вала двигуна приводу НО та визначено її оптимальну величину [5, 6]. Для подальшої побудови системи управління електроприводом НО ЛП слід визначити

найбільш прийнятний спосіб обмеження ривка з врахуванням організації двохрежимного управління та завдання прискорень НО. В даній роботі подано результати вирішення цієї задачі.

**Мета роботи.** Метою дослідження є аналіз декількох способів обмеження другої похідної швидкості (ривка) в двохрежимній системі управління електроприводом НО ЛП, визначення їх переваг і недоліків та вибір найбільш прийнятної рішення.

**Матеріал і результати дослідження.** В [3] запропонована двохрежимна система управління електроприводом НО, що містить в якості "ядра" двоконтурну систему управління швидкості. Вона дозволяє реалізувати принцип двохрежимного управління в стандартній двоконтурній системі регулювання швидкості двигуна, не погіршуючи її динамічних характеристик та уникаючи навіть короткочасної втрати керованості при перемиканнях між режимами. Фрагмент структурної схеми запропонованої системи відтворений на рис. 1. В даній системі [3] регулятор РМ моменту двигуна має звичайні з'єднання двох входів з виходами регулятора РШ швидкості і датчика ДМ моменту, а третій вхід РМ з'єднаний з виходом задатчика ЗМ моменту через керований ключ К. Керування ключем К здійснюється блоком ІР ідентифікації режиму. Блок ІР являє собою комбінаційну логічну схему, що виконує логічну функцію:

$$x_{ip} = x_1 \vee x_2 \vee (x_4 \& x_{18}), \quad (1)$$

де  $x_1$ ,  $x_2$  і  $x_4$  – логічні сигнали, що приймають значення 1 при роботі ЛП відповідно на 1-му, 2-му і 4-му етапах робочого циклу, а  $x_{18}$  – сигнал, що має значення 1 при механічному зчепленні ЛП з ОВ [1]. Блок ЗМ передбачає можливість налаштування і

оперативного підстроювання завдання моменту у відповідних режимах.

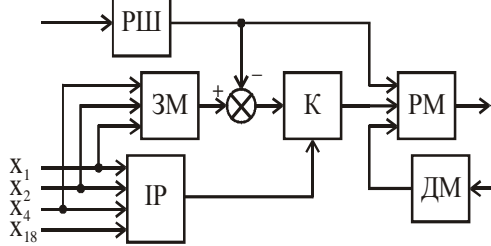


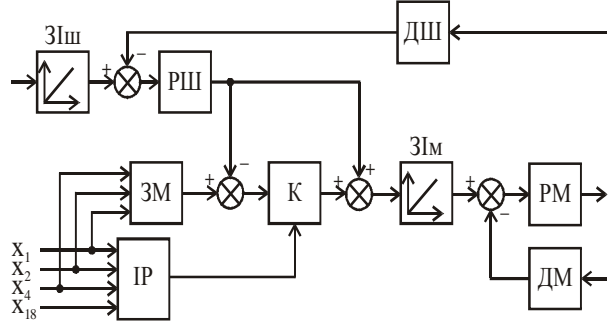
Рисунок 1 – Структурна організація двохранимного управління

Для розглянутої двохранимної системи управління електроприводом НО ЛП (рис. 1) можна запропонувати, принаймні, три способи обмеження другої похідної швидкості (ривка) в комбінації з обмеженням першої похідної (прискорення). Вони ґрунтуються на використанні задатчиків інтенсивності та програмному управлінні, що є загальновідомим прийомом [7, 8]. Розглянемо кожен з них.

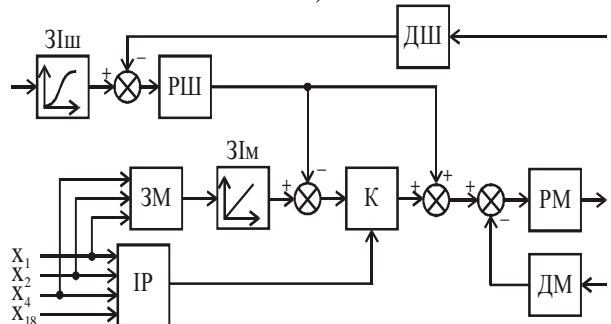
Структурна схема реалізації першого способу обмеження ривка в двохранимній системі управління представлена на рис. 2,а. Даний спосіб полягає у використанні двох задатчиків інтенсивності першого порядку – швидкості ЗІш та моменту ЗІм. Перевагою даного способу обмеження ривка є простота реалізації системи управління завдяки простій реалізації задатчиків інтенсивності першого порядку. Недоліком даного способу є нелінійні властивості, які проявляються під час роботи системи в режимі регулювання швидкості. Причиною цього є спотворення сигналу завдання струму, що надходить від регулятора швидкості РШ через задатчик інтенсивності ЗІм на вхід контуру струму.

Позбутися недоліку системи за рис. 2,а дозволяє використання ЗІш другого порядку. При цьому, завдяки відповідним чином сформованого завдання швидкості, відбувається обмеження першої та другої похідних швидкості, тобто прискорення та ривка. Таким чином, зникає потреба використання нелінійного елемента у контурі швидкості, тому він під час роботи системи в режимі регулювання швидкості залишається лінійним. Для обмеження ривка в режимі регулювання моменту можна застосувати лінійний ЗІм, встановлений одразу за ЗМ. Відповідна структурна схема такого (другого) способу обмеження ривка в двохранимній системі управління представлена на рис. 2,б. Перевага такого способу – відсутність нелінійних елементів у контурі швидкості, що забезпечує його лінійні властивості в режимі регулювання швидкості. Недоліками даного способу являється, по-перше, більш складний ЗІш (другого порядку). По-друге, є можливість втрати керованості за моментом при переключенні між режимами завдання швидкості та моменту. Це пов'язано з місцем встановлення ЗІм, яке визначає окремі канали впливу ЗІш і ЗІм, що не дозволяє відслідковувати всі

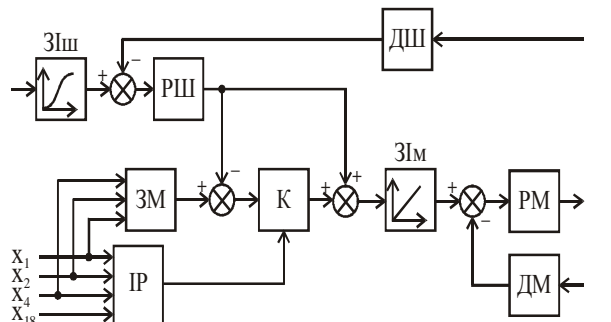
зміни завдання моменту при переключеннях між режимами. Зокрема, можуть спостерігатися стрибкоподібні падіння до нуля (з подальшим лінійним наростанням) значення завдання моменту.



а)



б)



в)

Рисунок 2 – Структурні схеми двохранимного управління за першим (а), другим (б) та третім (в) способами

Третій спосіб обмеження ривка в двохранимній системі управління являє собою комбінацію двох попередніх, і поданий у вигляді структурної схеми, рис. 2,в. Застосування ЗІш другого порядку дозволяє зберегти лінійні властивості контуру швидкості та обмежити прискорення і ривок в режимі регулювання швидкості. В даному випадку, ЗІш і ЗІм узгоджені між собою за значенням обмеження ривка. Завдяки цьому сигнал на вході ЗІм в режимі регулювання швидкості має такі параметри, які дозволяють йому проходити через ЗІм без змін. Таким чином, ЗІм впливає на сигнал тільки при роботі в режимі регулювання моменту. Встановлення ЗІм першого порядку одразу перед контуром моменту, завдяки впливу на результуючий сигнал завдання моменту, забезпечує збереження керованості за моментом при переключенні між режимами завдання швидкості та моменту. Недоліком даного способу є використання

складнішого ЗІш (другого порядку порівняно з лінійним за першим способом).

Для перевірки висунутих припущень щодо процесів у двоережимних системах управління, побудованих згідно запропонованих структурних схем рис. 2,а-в, створені відповідні математичні моделі в підсистемі Simulink пакета Matlab, за допомогою яких досліджені перехідні процеси. На рис.3 представлена модель системи за третім способом. Згідно

з принципами об'єктно-орієнтованого підходу [9, 10] вона має ієрархічну побудову та складається з декількох підсистем: загальна модель всієї системи верхнього рівня (рис. 3,а); модель-підсистема електропривода НО ЛП (рис. 3,б), що, в свою чергу, містить підсистему контуру струму (не показана); модель-підсистема задатчика інтенсивності другого порядку (рис. 3,в).

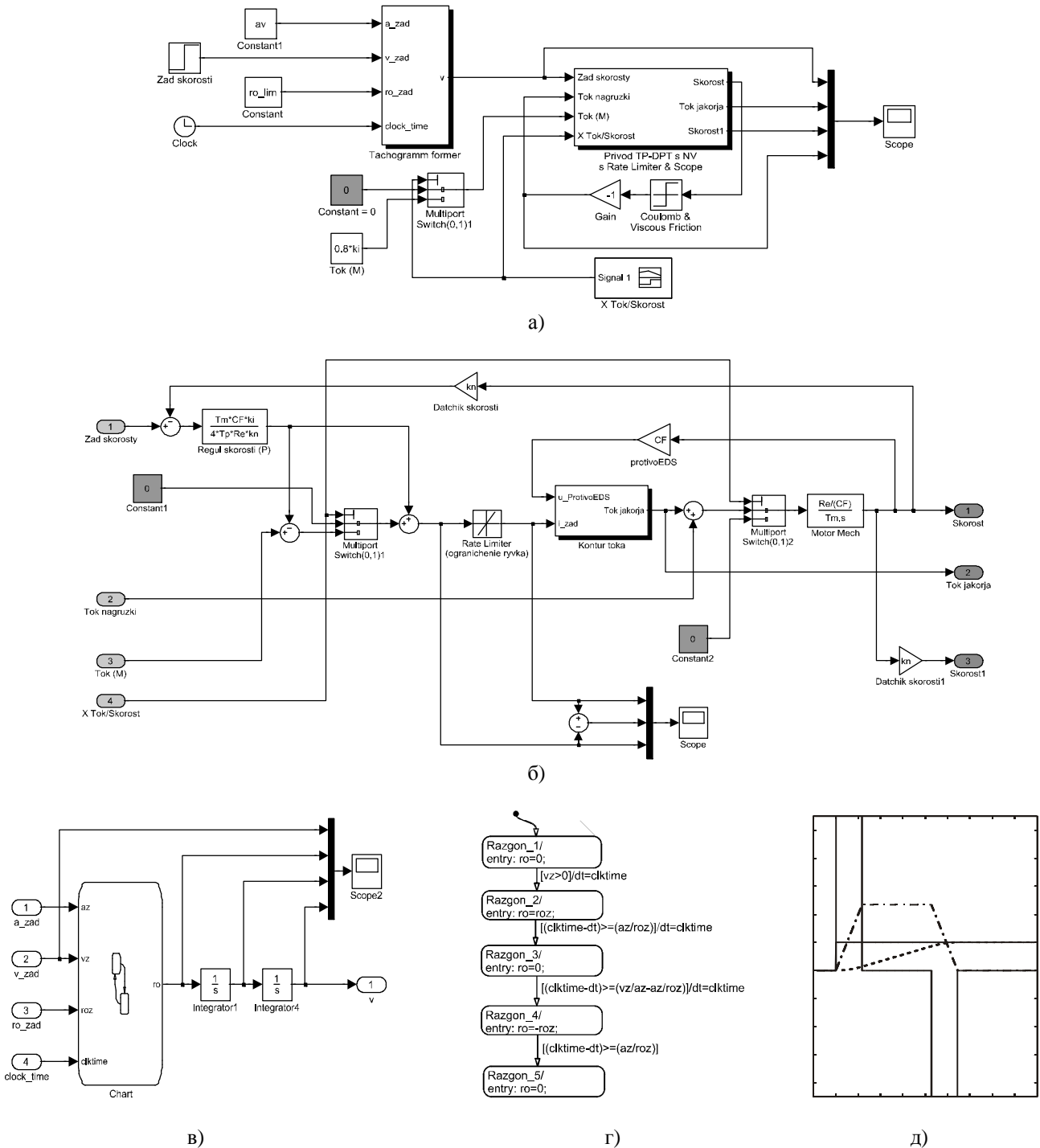


Рисунок 3 – Модель системи двоережимного управління електроприводом несучого органу за третім способом: а) загальна модель верхнього рівня; б) модель електропривода; в) модель задатчика інтенсивності другого порядку; г) Stateflow-діаграма задатчика інтенсивності; д) діаграми зміни в часі вихідних сигналів задатчика інтенсивності другого порядку та окремих його вузлів

Загальна модель (рис. 3,а) окрім перелічених підсистем, містить блоки для моделювання моменту навантаження, завдання швидкості, завдання моменту та формування сигналу переключення між режимами управління швидкістю/моментом (відповідають блокам ЗМ та ІР на рис. 2,в). Електропривод НО ЛП (рис. 3,б) містить контури швидкості та струму, настроєні, відповідно, на модульний та симетричний оптимуми. Перед контуром струму встановлений задатчик інтенсивності першого порядку (відповідає блоку ЗІм на рис. 2,в). Окрім того, в моделі рис. 3,б вбудований перемикач, що відповідає блоку К на рис. 2,в, та відповідні суматори для переключення між режимами управління. Зчеплення НО з ОВ моделюється шляхом подачі нульового сигналу струму (моменту) через перемикач, встановлений за контуром струму. В даній моделі при нерухомому НО це відповідатиме роботі електропривода (в режимі управління моментом) на нерухомий абсолютно жорсткий упор, або рухомий, якщо НО рухається. Для дослідження процесів при переключеннях між режимами управління швидкістю/моментом таке спрощення моделі можна вважати допустимим. Задатчик інтенсивності другого порядку (рис. 3,в, відповідає блоку ЗІш на рис. 2,в) складається із двох інтеграторів і блоку Stateflow-діаграми (рис. 3,г), яка формує діаграму зміни значення ривка згідно з принципами, наведеними у [5, 7]. Далі через інтегратори формуються сигнали прискорення та швидкості. Умови переходів між блоками діаграм у Stateflow взяті із [5]. Величини обмеження ривка, прискорення та завдання швидкості задаються на вході задатчика інтенсивності (див. рис. 3,а). Діаграми зміни в часі вихідних сигналів задатчика та окремих його вузлів приведені на рис. 3,д. Всі необхідні параметри моделі рис. 3 задаються в окремому файлі, який довантажується разом з нею. Зважаючи на складність моделі, її обчислення з автоматично змінюваним кроком не видається можливим, тому застосовується фіксований крок (Fixed-step).

Моделі систем двоережимного управління електроприводом НО ЛП за першим та другим способами мають аналогічну побудову, за виключенням місць

встановлення задатчиків інтенсивності ЗІш і ЗІм та їх типу, що відповідають схемам рис. 2,а та рис. 2,б.

На рис. 4,а-в та рис. 5,а-д подані тахограми розгону електропривода НО ЛП та графіки зміни сигналів завдання струму в момент переключення між режимами управління до ЗІм, після ЗІм та їх різниця для систем двоережимного управління за різними способами. З графіків рис. 4,а та рис. 5,а можна зробити висновок, що система за першим способом виявляє нелінійні властивості в контурі регулювання швидкості. Вони полягають в тому, що вихідний сигнал регулятора швидкості в деякі моменти часу спотворюється, проходячи через ЗІм. Дані обставини, з урахуванням того, що система була розрахована та настроєна як лінійна, негативно впливають на її керованість. Графіки рис. 4,б та рис. 5,б-в (другий спосіб) демонструють втрату керованості системою під час переключення з режиму управління швидкістю на режим управління моментом. З рис. 5,в видно, що в момент переключення між описаними вище режимами управління електроприводом НО ЛП завдання на вході в контур регулювання моментом електропривода дорівнює нулю (графік є неточним у зв'язку з умовами вибору методу і кроку обчислення). Уникнути всіх описаних недоліків дозволяє третій спосіб обмеження ривка. Відповідна тахограма і графіки показані на рис. 4,а, на рис. 5,г-д. Ми бачимо, що в режимі управління швидкістю різниця сигналів завдання струму до та після ЗІм дорівнює нулю, тобто ці сигнали співпадають і система регулювання швидкості залишається лінійною. Це відбувається завдяки тому, що система відпрацьовує завдання швидкості, сформоване ЗІш другого порядку. Таким чином, в завданні вже обмежена друга похідна швидкості і, відповідно, сигнал з регулятора швидкості проходить через ЗІм без зміни. При переключенні на режим регулювання моменту завдання моменту стрибком змінюється, і тому ЗІм вступає в дію і обмежує швидкість його зміни до заданої величини ривка. Це і видно з рис. 5,д. Таким чином, для застосування в системі двоережимного управління приводом НО ЛП можна признати прийнятним третій спосіб обмеження другої похідної швидкості (ривка).

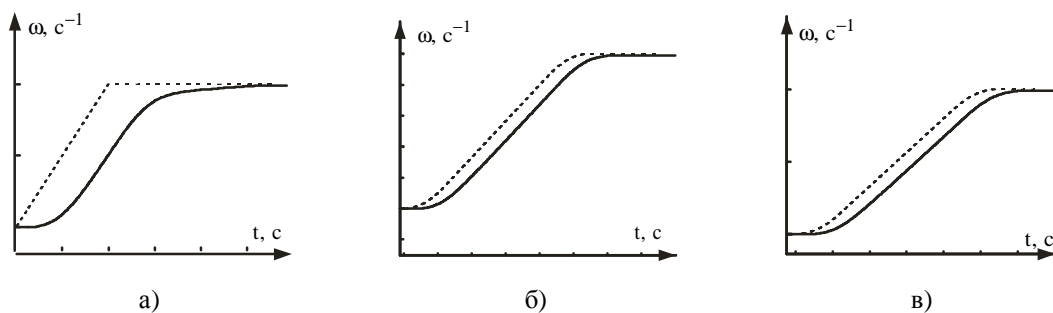


Рисунок 4 – Тахограми розгону електропривода несучого органу летучої пили для систем двоережимного управління за першим (а), другим (б) та третім (в) способами (завдання швидкості пунктиром)

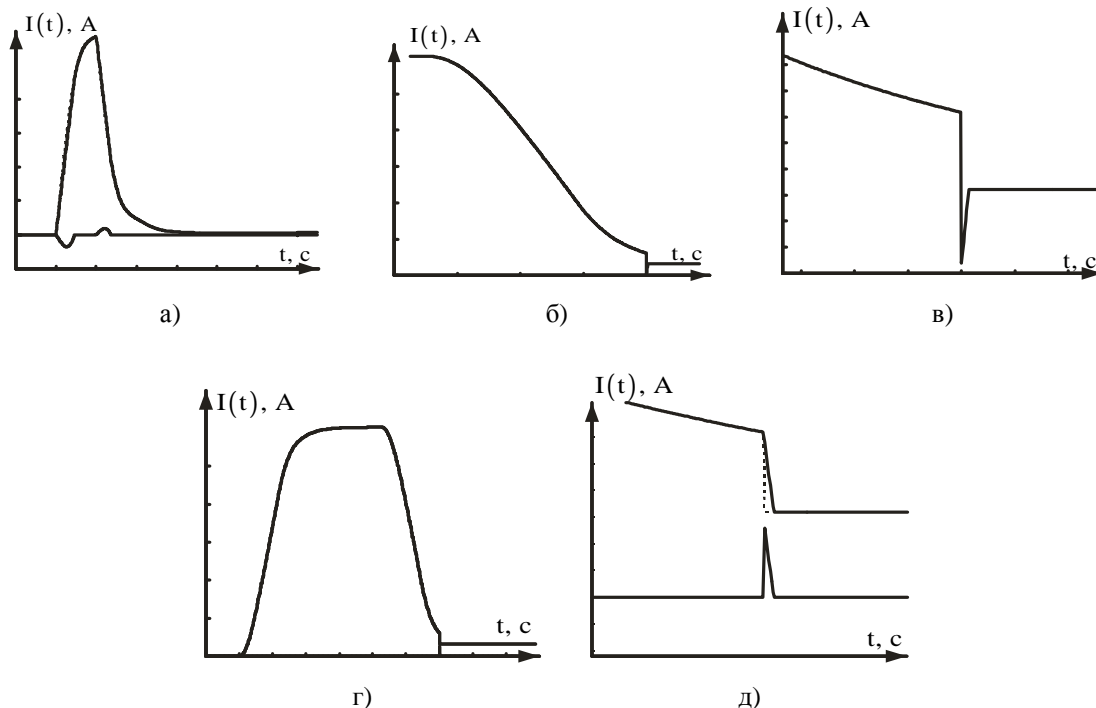


Рисунок 5 – Графіки зміни сигналів завдання струму в момент переключення до ЗІм (пунктиром), після ЗІм (на вході контуру струму), та їх різниця за першим (а), другим (б і в – збільшено) та третім (г і д – збільшено) способами

**Висновки.** Таким чином, нами запропоновані та розглянуті три основних способи обмеження другої похідної швидкості та формування тахограм із заданими прискореннями. На основі аналізу структурних особливостей вказаних способів обмеження другої похідної швидкості, зроблені припущення щодо їх переваг і недоліків, які підтверджені результатами моделювання. З них обраний найбільш прийнятний для подальшого застосування спосіб обмеження ривка та формування тахограм із заданим прискоренням. Його суть полягає у застосуванні задатчика інтенсивності другого порядку для сигналу завдання швидкості та задатчика інтенсивності першого порядку, що встановлений безпосередньо перед контуром струму. Даний спосіб обмеження ривка може застосовуватися в системах управління електроприводом НО ЛП, а також для інших машин з аналогічними приводами.

#### БІБЛІОГРАФІЧНІ ДАНІ

1. Червяков В.Д., Паньч А.А. Летучие механизмы как класс рабочих машин в аспекте задач управления // Электротехнические системы и комплексы: Межвузовский сборник научных трудов. – Магнитогорск: МГТУ, 1998. Вып 3. – С. 176-182.
2. Червяков В.Д., Паньч А.А. Задачи ресурсосберегающего управления электроприводом несущего органа летучей пыли // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск 10. – Харків, НТУ ХПІ, 2001. – С. 370-371.
3. Червяков В.Д., Паньч А.А. Двухрежимное управление электроприводом несущего органа летучей

пили // Вісник Харківського державного політехнічного університету. Збірник наукових праць. Тематичний випуск 61. – Харків, ХДПУ, 1999. – С. 233-234.

4. Паньч А.А. Энергетический аспект ресурсосбережения в процессах управления приводом несущего органа летучей пыли // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2002. – Вип. 1(12). – С. 200-204.

5. Паньч А.А., Червяков В.Д. Повышение управляемости и точности прогнозирования процесса движения несущего органа летучей пыли // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2004. – Вип. 2/2004(25). – С. 62-67.

6. Панич А.О. Оптимальна величина ривка в приводі несучого органу летучої пили // Вісник Сумського державного університету. – Суми: Видавництво СумДУ, 2004. – № 12(71). – С. 20-25.

7. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учебник для вузов. – М.: Энергия, 1980. – 360 с.

8. Чиликин М.Г., Ключев В.И., Сандлер А.С. Теория автоматизированного электропривода: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергия, 1979. – 616 с.

9. Червяков В.Д., Паньч А.А. К построению объектной модели системы управления электроприводом несущего органа летучей пыли // Проблемы создания новых машин и технологий. Научные труды КГПИ. Вып. 1. – Кременчук: КГПИ. – 2000. – С. 281-286.

10. Червяков В.Д., Паньч А.А. Синтез объектно-ориентированных систем управления технологическими машинами на этапе концептуального проектирова-

ния // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2005. – № 2(2). – С. 69-73.

Стаття надійшла 25.04.2007 р.  
Рекомендована до друку д.т.н., проф.  
Родькіним Д.Й.