

УДК 67/68.08:678.053-8

РУБАНКА М.М., МІСЯЦЬ В.П.

Київський національний університет технологій та дизайну

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ РОТОРНОЇ ДРОБАРКИ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

**Мета.** Експериментально визначити кінематичні та силові характеристики приводу роторної дробарки в момент пуску електродвигуна та при переробці відходів легкої промисловості.

**Методика.** Використані сучасні методи досліджень, що базуються на теорії електропривода, теорії динамічних процесів в механічних системах та статистичних методах обробки результатів експериментальних досліджень.

**Результати.** Виконано експериментальні дослідження динаміки приводу роторної дробарки для переробки відходів легкої промисловості.

**Наукова новизна.** Представлено результати експериментальних досліджень динаміки приводу роторної дробарки під час перехідних процесів роботи: в момент пуску електродвигуна та при переробці відходів легкої промисловості, які підтверджують доцільність використання пристрою для зниження динамічних навантажень, зокрема пружної муфти з гвинтовими циліндричними пружинами розтягу відповідної жорсткості.

**Практична значимість.** Виконані експериментальні дослідження дають можливість оцінити ефективність роботи приводу роторної дробарки для переробки відходів легкої промисловості, оснащеного пружною муфтою з гвинтовими циліндричними пружинами розтягу відповідної жорсткості та вибрати його раціональні параметри.

**Ключові слова:** роторна ножова дробарка, експериментальні дослідження, математична модель, динаміка приводу, раціональні параметри обладнання, відходи легкої промисловості.

**Вступ.** На основі аналізу особливостей роботи роторних ножових дробарок для переробки відходів легкої промисловості встановлена доцільність використання в приводі даного обладнання пристроїв для зниження динамічних навантажень, зокрема пружних запобіжних муфт [1, 2]. Для проектування конструкції та вибору раціональних параметрів приводу необхідно виконати експериментальні дослідження динаміки роторної дробарки та перевірити з результатами аналітичного дослідження [3].

**Постановка завдання.** Враховуючи актуальність питання вибору раціональних параметрів обладнання, що визначають надійність і довговічність його роботи, енергоефективність технологічних процесів переробки відходів легкої промисловості, завданням досліджень є експериментальне визначення кінематичних та силових характеристик приводу роторної ножової дробарки для підтвердження адекватності розроблених математичних моделей [3] реальним процесам подрібнення.

**Результати дослідження.** Для проведення експериментальних досліджень було розроблено і виготовлено експериментальну установку [4], зовнішній вигляд якої представлені на рис. 1. На рис. 2 представлено зовнішній вигляд вимірювальної системи для дослідження динаміки приводу роторної дробарки [5].



Рис. 1. Зовнішній вигляд експериментальної роторної дробарки: 1 – завантажувальний бункер; 2 – тахогенератор; 3 – тахометр; 4 – електродвигун; 5 – клинопасова передача; 6 – пружна муфта; 7 – ножова голівка; 8 – вимірювальна система

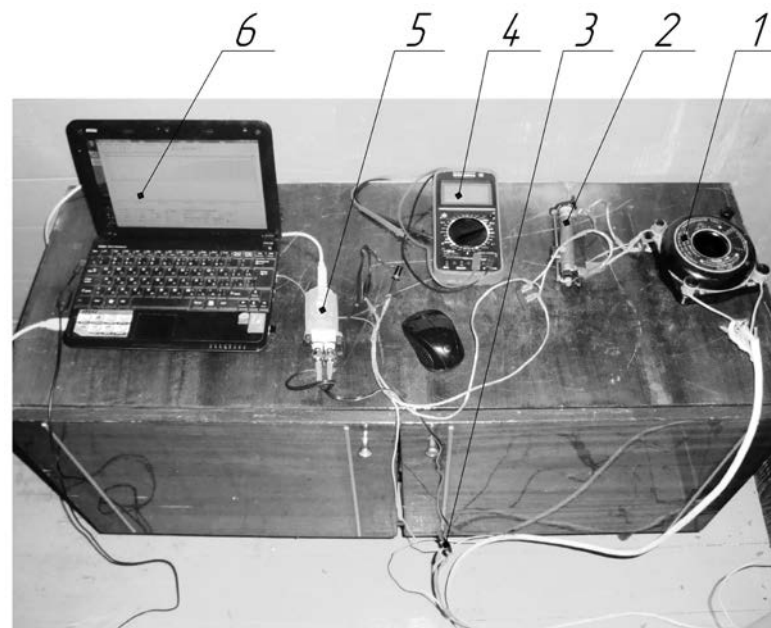


Рис. 2. Зовнішній вигляд вимірювальної системи для дослідження динаміки приводу роторної дробарки: 1 – трансформатор струму; 2 – шунт; 3 – діодний місток; 4 – цифровий мультиметр; 5 – аналого-цифровий перетворювач; 6 – персональний комп'ютер

В ході проведення експериментальних досліджень динаміки приводу роторної дробарки в момент пуску електродвигуна знімали показники значення сили струму, що споживалася двигуном та відповідні значення частоти обертання валу ротора починаючи з моменту пуску електродвигуна і до встановлення його номінальної частоти обертання без

використання в приводі роторної дробарки пружної муфти та з її використанням, варіюючи величиною жорсткості встановленням відповідного комплексу пружин.

Результати експериментальних досліджень були оброблені за допомогою персонального комп'ютера з використанням програмного забезпечення «Microsoft Office Excel 2007» в такій послідовності:

- експорт отриманих даних випробувань записаних програмою «Disco Application», та збережених у вигляді текстових документів у форматі (.txt) в табличну форму програмного забезпечення «Microsoft Office Excel 2007» та подальше збереження у форматі (.xlsx); данні являють собою значення кутової швидкості обертання ротора та сили струму, що споживається електродвигуном без навантаження починаючи з моменту пуску електродвигуна і до встановлення його номінальної частоти обертання;

- масштабування отриманих експериментальних даних і приведення до нульового рівня в програмному забезпеченні «Microsoft Office Excel 2007»;

- побудова графічних залежностей кутової швидкості обертання валу ротора та сили струму по часу з моменту пуску електродвигуна і до встановлення його номінальної частоти обертання;

- порівняльний аналіз отриманих графічних залежностей.

Графіки залежностей зміни кутової швидкості обертання валу ротора та зміни сили струму, що споживається електродвигуном без навантаження, починаючи з моменту пуску електродвигуна і до встановлення його номінальної частоти обертання представлено на рис. 3, 4.

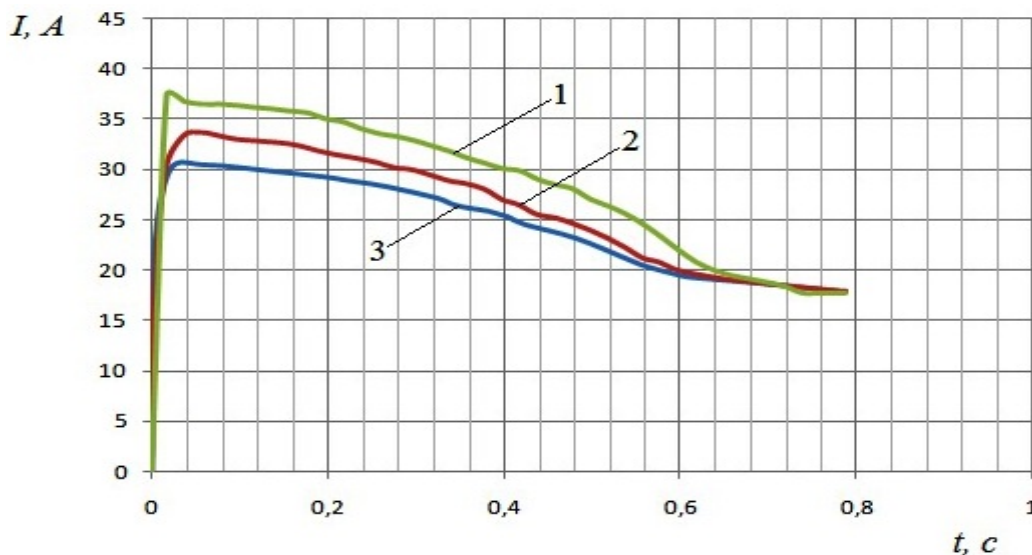


Рис. 3. Експериментально отримані графіки залежності зміни сили струму, що споживається електродвигуном в момент його пуску і до встановлення номінальної частоти обертання: 1 - без використання в приводі пружної муфти; 2 - з використанням в приводі пружної муфти жорсткістю 41,99 Н·м/рад; 3 - з використанням в приводі пружної муфти жорсткістю 106,1 Н·м/рад

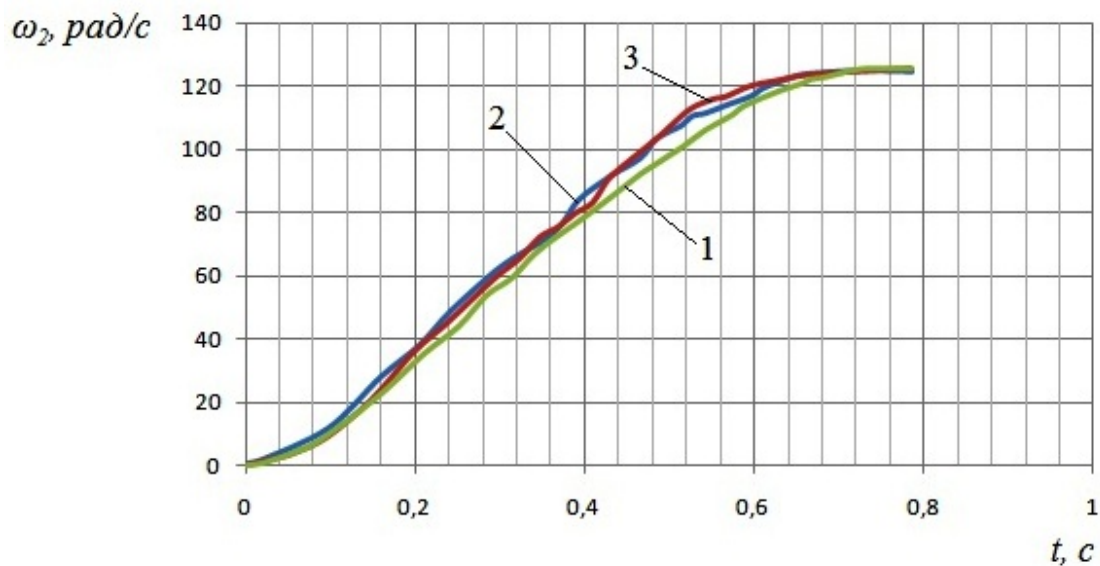


Рис. 4. Експериментально отримані графіки залежності зміни кутової швидкості валу ротора починаючи з моменту пуску електродвигуна і до встановлення його номінальної частоти обертання: 1 - без використання в приводі пружної муфти; 2 - з використанням в приводі пружної муфти жорсткістю 41,99 Н·м/рад; 3 - з використанням в приводі пружної муфти жорсткістю 106,1 Н·м/рад

Проаналізувавши графіки (рис. 3, 4), можна зробити висновок, про доцільність використання в приводі роторної дробарки пружної муфти, що дозволяє суттєво знизити енерговитрати роботи даного обладнання. Оснащення приводу роторної дробарки пружною муфтою дозволяє зменшити імпульс сили струму в момент пуску електродвигуна до 20% в залежності від жорсткості пружної муфти, при цьому характер зміни кутової швидкості на валу ротора практично не змінюється.

В ході проведення експериментальних досліджень динаміки приводу роторної дробарки при переробці відходів легкої промисловості знімали показники значення сили струму, що споживалася двигуном та відповідні значення частоти обертання валу ротора варіюючи наступними технологічними параметрами:

- момент опору на валу ротора, який можна змінювати шляхом переробки різних видів відходів легкої промисловості, що мають відповідні фізико-механічні властивості та геометричні розміри поперечного перерізу;

- жорсткість пружного зв'язку, яку можна змінювати шляхом використання в пружній муфті, що увійшла до складу приводу роторної дробарки, різних комплектів гвинтових циліндричних пружин розтягу.

В якості відходів матеріалів легкої промисловості, що перероблялися під час даних експериментальних досліджень було вибрано гуму ОСТ 17-44-82, поліетилен ТУ 6-05-1853-78 і ПВХ пластикат ТУ 6-05-2074-84.

По кожному виду відходів було підготовлено дванадцять квадратних плоских шматків 100×100 мм, товщиною 3 мм і 5 мм.

Значення моменту опору роторної дробарки [6] при переробці шматків кожного виду відходів відповідних геометричних розмірів наведено в таблиці 1.

Результати експериментальних досліджень були оброблені за допомогою персонального комп'ютера з використанням програмного забезпечення «Microsoft Office Exel 2007», «Graphical analysis» і «Mathcad 14», в такій послідовності:

- експорт отриманих даних випробувань записаних програмою «Disco Application», та збережених у вигляді текстових документів у форматі (.txt) в табличну форму програмного забезпечення «Microsoft Office Exel 2007» та подальше збереження у форматі (.xlsx); данні являють собою значення кутової швидкості обертання ротора та сили струму, що споживається електродвигуном під навантаженням при переробці відходів легкої промисловості з різними фізико-механічними властивостями та розмірами поперечного перерізу, записані через рівні проміжки часу;
- масштабування отриманих експериментальних даних і приведення до нульового рівня в програмному забезпеченні «Microsoft Office Exel 2007»;
- експорт даних в програмне забезпечення «Graphical analysis»;
- побудова графічних залежностей споживаної потужності електродвигуном приводу роторної дробарки по часу при переробці відходів легкої промисловості;
- побудова графічних залежностей різниць кутових швидкостей ротора від жорсткості пружного зв'язку при умові, коли момент опору величина постійна;
- побудова графічних залежностей різниць кутових швидкостей ротора від моменту опору при умові, коли жорсткість пружного зв'язку величина постійна;
- порівняння результатів експерименту з проведеними розрахунками за математичною моделлю [3];
- підтвердження адекватності математичної моделі динаміки роторної дробарки [3] реальним процесам при переробці відходів легкої промисловості.

Таблиця 1

**Момент опору роторної ножової дробарки при переробці відходів легкої промисловості**

Матеріал	Геометричні розміри подрібнюваних шматків матеріалів, мм	Руйнуюче напруження при зрізі, МПа	Момент опору дробарки при подрібненні даного матеріалу, Нм
Гума	100×100×3	3,45	7,35
	100×100×5	3,45	20,42
Поліетилен	100×100×3	5,25	11,19
	100×100×5	5,25	31,08
ПВХ пластикат	100×100×3	2,75	5,86
	100×100×5	2,75	16,28

Графічні залежності різниць кутових швидкостей ротора від жорсткості пружного зв'язку при переробці одиничних шматків гуми представлено на рис. 5, 6, поліетилену на рис. 7, 8 та ПВХ пластикату на рис. 9, 10; різниці кутових швидкостей ротора від моменту опору під час подрібнення одиничних шматків ПВХ пластикату, гуми та поліетилену при різних значеннях жорсткості пружного зв'язку представлено на рис. 11-18.

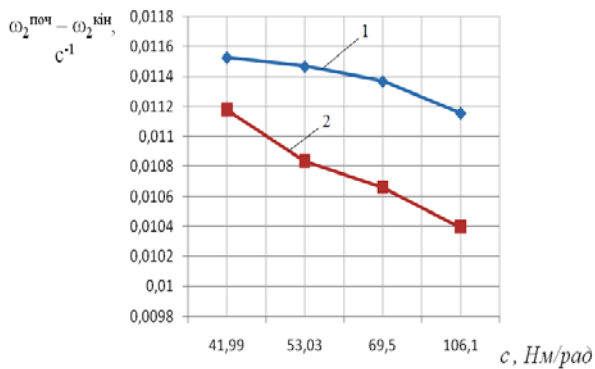


Рис. 5. Графік залежності різниці куткових швидкостей ротора від жорсткості пружного зв'язку при подрібненні шматка гуми розміром 100×100×5 мм (тривалість робочого ходу 0,00053 с): 1 – згідно математичної моделі; 2 – згідно даних експерименту

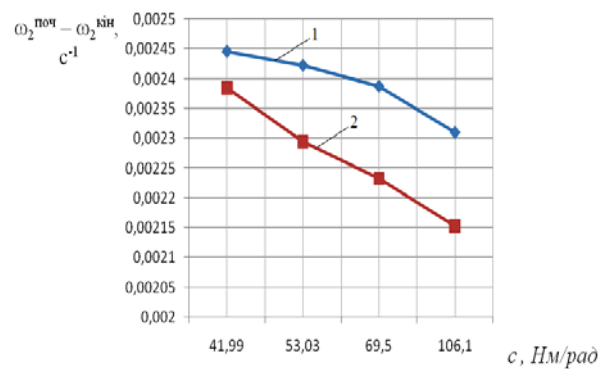


Рис. 6. Графік залежності різниці куткових швидкостей ротора від жорсткості пружного зв'язку при подрібненні шматка гуми розміром 100×100×3 мм (тривалість робочого ходу 0,00032 с): 1 – згідно математичної моделі; 2 – згідно даних експерименту

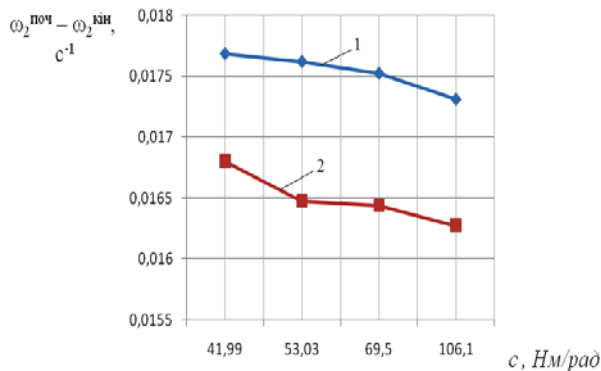


Рис. 7. Графік залежності різниці куткових швидкостей ротора від жорсткості пружного зв'язку при подрібненні шматка поліетилену розміром 100×100×5 мм (тривалість робочого ходу 0,00053 с): 1 – згідно математичної моделі; 2 – згідно даних експерименту

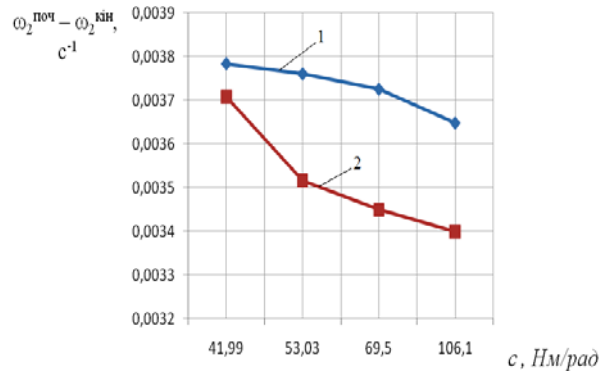


Рис. 8. Графік залежності різниці куткових швидкостей ротора від жорсткості пружного зв'язку при подрібненні шматка поліетилену розміром 100×100×3 мм (тривалість робочого ходу 0,00032 с): 1 – згідно математичної моделі; 2 – згідно даних експерименту

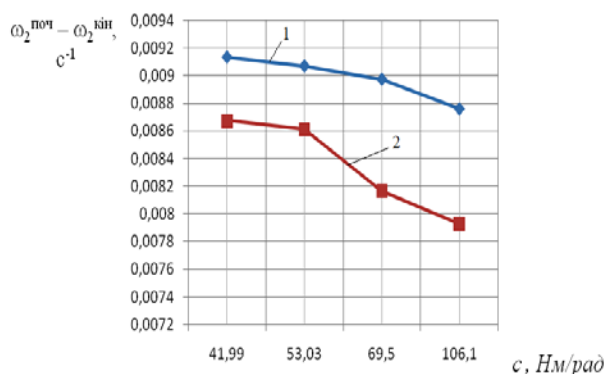


Рис. 9. Графік залежності різниці куткових швидкостей ротора від жорсткості пружного зв'язку при подрібненні шматка ПВХ пластикату розміром 100×100×5 мм (тривалість робочого ходу 0,00053 с): 1 – згідно математичної моделі; 2 – згідно даних експерименту

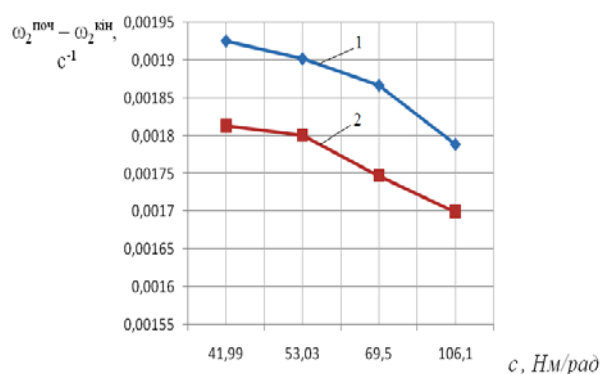


Рис. 10. Графік залежності різниці куткових швидкостей ротора від жорсткості пружного зв'язку при подрібненні шматка ПВХ пластикату розміром 100×100×3 мм (тривалість робочого ходу 0,00032 с): 1 – згідно математичної моделі; 2 – згідно даних експерименту

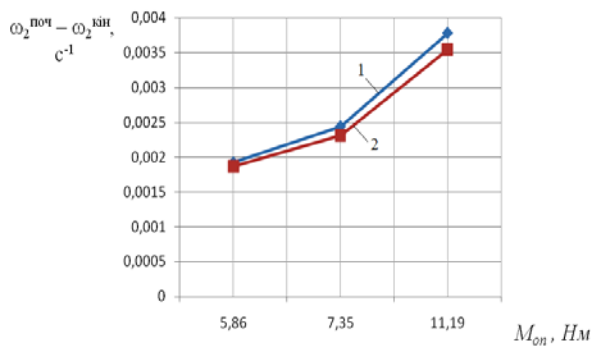


Рис. 11. Графік залежності різниці кутових швидкостей ротора від моменту опору під час переробки шматків ПВХ пластикату, гуми та поліетилену розміром  $100 \times 100 \times 3$  мм при жорсткості пружного зв'язку  $41,99$   $Нм/рад$ : 1 – згідно математичної моделі; 2 – згідно даних експерименту

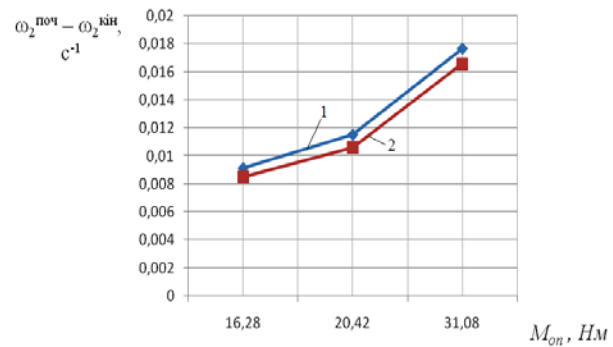


Рис. 12. Графік залежності різниці кутових швидкостей ротора від моменту опору під час переробки шматків ПВХ пластикату, гуми та поліетилену розміром  $100 \times 100 \times 5$  мм при жорсткості пружного зв'язку  $41,99$   $Нм/рад$ : 1 – згідно математичної моделі; 2 – згідно даних експерименту

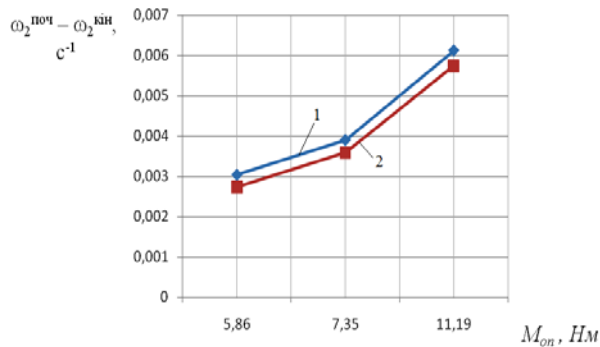


Рис. 13. Графік залежності різниці кутових швидкостей ротора від моменту опору під час переробки шматків ПВХ пластикату, гуми та поліетилену розміром  $100 \times 100 \times 3$  мм при жорсткості пружного зв'язку  $53,04$   $Нм/рад$ : 1 – згідно математичної моделі; 2 – згідно даних експерименту

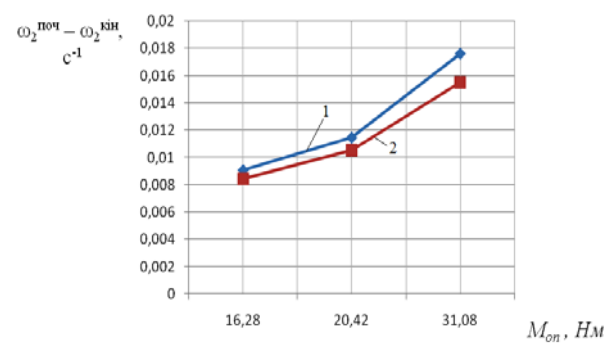


Рис. 14. Графік залежності різниці кутових швидкостей ротора від моменту опору під час переробки шматків ПВХ пластикату, гуми та поліетилену розміром  $100 \times 100 \times 5$  мм при жорсткості пружного зв'язку  $53,04$   $Нм/рад$ : 1 – згідно математичної моделі; 2 – згідно даних експерименту

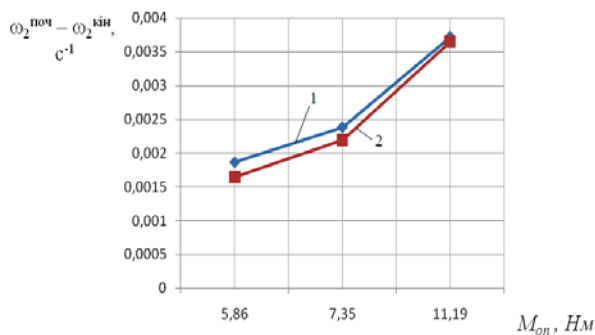


Рис. 15. Графік залежності різниці кутових швидкостей ротора від моменту опору під час переробки шматків ПВХ пластикату, гуми та поліетилену розміром  $100 \times 100 \times 3$  мм при жорсткості пружного зв'язку  $69,5$   $Нм/рад$ : 1 – згідно математичної моделі; 2 – згідно даних експерименту

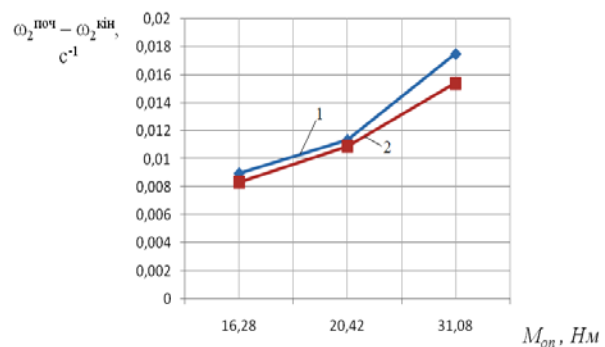


Рис. 16. Графік залежності різниці кутових швидкостей ротора від моменту опору під час переробки шматків ПВХ пластикату, гуми та поліетилену розміром  $100 \times 100 \times 5$  мм при жорсткості пружного зв'язку  $69,5$   $Нм/рад$ : 1 – згідно математичної моделі; 2 – згідно даних експерименту



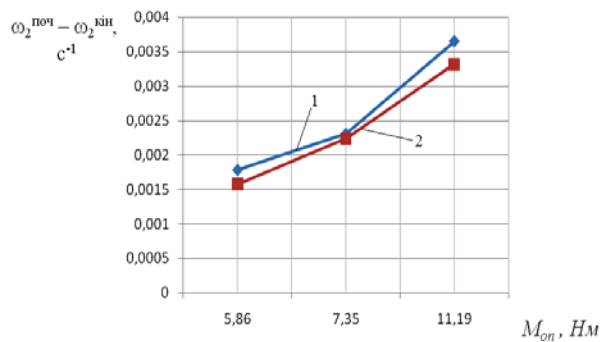


Рис. 17. Графік залежності різниці куткових швидкостей ротора від моменту опору під час переробки шматків ПВХ пластикату, гуми та поліетилену розміром 100×100×3 мм при жорсткості пружного зв'язку 106,1Нм/рад: 1 – згідно математичної моделі; 2 – згідно даних експерименту

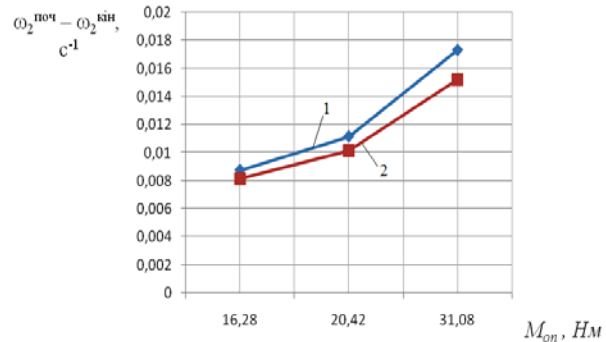


Рис. 18. Графік залежності різниці куткових швидкостей ротора від моменту опору під час переробки шматків ПВХ пластикату, гуми та поліетилену розміром 100×100×5 мм при жорсткості пружного зв'язку 106,1Нм/рад: 1 – згідно математичної моделі; 2 – згідно даних експерименту

Після обробки даних встановлено, що відхилення розрахункових значень величин отриманих на основі математичної моделі [3] від експериментальних даних, при переробці одиничних шматків подрібнювальних матеріалів, не перевищують 12%.

Можна зробити висновок про адекватність математичної моделі динаміки роторної дробарки реальним процесам, що відбуваються при переробці відходів легкої промисловості.

**Висновки.** Виконані експериментальні дослідження підтверджують наступне:

- доцільність використання в приводі роторної дробарки пристрою для зниження динамічних навантажень, зокрема пружної муфти з гвинтовими циліндричними пружинами розтягу, що дозволяє суттєво знизити енерговитрати роботи даного обладнання;
- адекватність математичної моделі динаміки приводу роторної дробарки для переробки відходів легкої промисловості, а саме при подрібненні відходів гуми, поліетилену та ПВХ пластикату.

Отримані результати можуть бути використані інженерами при проектуванні роторних дробарок та вибору раціональних параметрів приводу.

#### Список використаних джерел

1. Рубанка М.М. Доцільність використання в приводі роторної ножової дробарки пружної запобіжної муфти / М.М. Рубанка, Б.Ф. Піпа, Ю.А. Ковальов // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2014. – № 2 (76). – С. 97 – 102.
2. Піпа Б.Ф. Аналіз доцільності використання пристрою з пружиною кручення для зниження динамічних навантажень в приводі технологічного обладнання та вибір його параметрів / Б.Ф. Піпа, М.М. Рубанка, С.В. Музичишин // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2014. – № 3 (77). – С. 209 – 215.
3. Рубанка М.М. Математичне моделювання динаміки роторної дробарки для переробки відходів легкої промисловості / М.М. Рубанка // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2015. – № 6 (92). – С. 107 – 114.
4. Місяць В.П. Експериментальна установка для дослідження динамічних характеристик роторної ножової дробарки / В.П. Місяць, М.М. Рубанка // Праці Одеського політехнічного університету: Науковий та науково-виробничий збірник. – Одеса, 2014. – Вип. 1 (43). – С. 78 – 82.



5. Рубанка М.М. Система для експериментального дослідження динаміки перехідних процесів в роторних дробарках / М.М. Рубанка, В.П. Місяць // Наукові розробки молоді на сучасному етапі : XIV Всеукраїнська наукова конференція молодих вчених та студентів, 23 – 24 квітня 2015 р. : тези доповідей. – Київ, 2015. – Т. 2. – С. 172.

6. Рубанка М.М. Визначення моменту опору роторної ножової дробарки, що виникає при переробці відходів легкої промисловості / М.М. Рубанка, В.П. Місяць // Технічна творчість: збірник наукових праць. – Хмельницький: ХНУ, 2015. – № 1. – С. 155-156.

### References

1. Rubanka M.M. Docil'nist' vykorystannja v pryvodi rotornoj' nozhovoi' drobarky pruzhnoi' zapobizhnoi' mufty / M.M. Rubanka, B.F. Pipa, Ju.A. Koval'ov // Visnyk Kyi'vs'kogo nacional'nogo universytetu tehnologij ta dyzajnu. – 2014. – № 2 (76). – S. 97 – 102.

2. Pipa B.F. Analiz docil'nosti vykorystannja prystroju z pruzhynuju kruchennja dlja znyzhennja dynamichnyh navantazhen' v pryvodi tehnologichnogo obladnannja ta vybir jogo parametriv / B.F. Pipa, M.M. Rubanka, S.V. Muzychshyn // Visnyk Kyi'vs'kogo nacional'nogo universytetu tehnologij ta dyzajnu. – 2014. – № 3 (77). – S. 209 – 215.

3. Rubanka M.M. Matematyчне modeljuvannja dynamiky rotornoj' drobarky dlja pererobky vidhodiv legkoj' promyslovosti / M.M. Rubanka // Visnyk Kyi'vs'kogo nacional'nogo universytetu tehnologij ta dyzajnu. – 2015. – № 6 (92). – S. 107 – 114.

4. Misjac' V.P. Eksperymental'na ustanovka dlja doslidzhennja dynamichnyh harakterystyk rotornoj' nozhovoi' drobarky / V.P. Misjac', M.M. Rubanka // Praci Odes'kogo politehničnogo universytetu: Naukovyj ta naukovo-vyrobnychyj zbirnyk. – Odesa, 2014. – Vyp. 1 (43). – S. 78 – 82.

5. Rubanka M.M. Systema dlja eksperymental'nogo doslidzhennja dynamiky perehidnyh procesiv v rotornyh drobarkah / M.M. Rubanka, V.P. Misjac' // Naukovi rozrobky molodi na suchasnomu etapi : XIV Vseukrai'ns'ka naukova konferencija molodyh vchenyh ta studentiv, 23 – 24 kvitnja 2015 r. : tezy dopovidej. – Kyi'v, 2015. – Т. 2. – S. 172.

6. Rubanka M.M. Vyznachennja momentu oporu rotornoj' nozhovoi' drobarky, shho vynykaje pry pererobci vidhodiv legkoj' promyslovosti / M.M. Rubanka, V.P. Misjac' // Tehnichna tvorchist': zbirnyk naukovyh prac'. – Hmel'nyč'kyj: HNU, 2015. – № 1. – S. 155-156.

*Рекомендовано до публікації д.т.н., проф. Бурмістенковим О.П.*

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ РОТОРНОЙ ДРОБИЛКИ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

РУБАНКА Н.Н., МИСЯЦЬ В.П.

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

**Цель.** Экспериментально определить кинематические и силовые характеристики привода роторной дробилки в момент пуска электродвигателя и при переработке отходов легкой промышленности.

**Методика.** Используются современные методы исследований, которые базируются на теории электропривода, теории динамических процессов в механических системах и статистических методах обработки результатов экспериментальных исследований.

**Результаты.** Выполнены экспериментальные исследования динамики привода роторной дробилки для переработки отходов легкой промышленности.

**Научная новизна.** Представлены результаты экспериментального исследования динамики привода роторной дробилки во время переходных процессов работы: в момент

пуска электродвигателя и при переработке отходов легкой промышленности, которые подтверждают целесообразность использования устройства для снижения динамических нагрузок, в частности упругой муфты с винтовыми цилиндрическими пружинами растяжения соответствующей жесткости.

**Практическая значимость.** Выполненные экспериментальные исследования дают возможность оценить эффективность работы привода роторной дробилки для переработки отходов легкой промышленности, оснащенного упругой муфтой с винтовыми цилиндрическими пружинами растяжения соответствующей жесткости и выбрать его рациональные параметры.

**Ключевые слова:** роторная ножесвая дробилка, экспериментальные исследования, математическая модель, динамика привода, рациональные параметры оборудования, отходы легкой промышленности.

## **EXPERIMENTAL RESEARCHES OF ROTOR CRUSHER DYNAMICS ARE FOR RECYCLING OF LIGHT INDUSTRY WASTES**

RUBANKA M.M., MISIATS V.P.

*Kiev National University of Technology and Design*

**Purpose.** Experimentally to define kinematics and power descriptions of rotor crusher drive in the moment of starting of electric motor and at recycling of light industry wastes.

**Method.** The modern methods of researches which are based on the theory of electric drive are used, theories of dynamic processes in the mechanical systems and statistical methods of treatment of results of experimental researches.

**Results.** Experimental researches of dynamics of rotor crusher drive are for recycling of light industry wastes are executed.

**Scientific novelty.** The results of experimental researches of dynamics of rotor crusher drive are presented during the transients of work: in the moment of starting of electric motor and at recycling of light industry wastes, which confirm expedience of the use of device for the decline of the dynamic loadings, in particular resilient muff with screw cylindrical springs of stretching of the corresponding rigidity.

**Practical meaningfulness.** Executed experimental researches enable to estimate efficiency of work of rotor crusher drive for recycling of light industry wastes, equipped a resilient muff with screw cylindrical springs of stretching of the corresponding rigidity and to choose rational parameters.

**Keywords.** rotor knife crusher, experimental researches, mathematical model, dynamics of drive, rational parameters of equipment, light industry wastes.