

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ НОВОЇ СТРУКТУРИ ЕКОЛОГІЧНОЇ МАШИНИ ДЛЯ ОЧИСТКИ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ ВІД ТВЕРДИХ ВІДХОДІВ

О.В. Березюк

Вступ

На сьогоднішній день збирання твердих побутових відходів (ТПВ), підмітання вулиць, доріг та тротуарів здійснюється окремими комунальними машинами: сміттєвозами та підмітально-прибиральними машинами відповідно [1-3].

Використання підмітально-прибиральних машин є вкрай неефективним (низький коефіцієнт завантаження) оскільки вони використовуються рідко в основному в осінній та весняний періоди [4]. Решту часу підмітання вулиць та тротуарів здійснюється дворниками, які працюють в шкідливих умовах. Тому пропонується вирішувати ці проблеми в комплексі, створивши на базі сміттєвоза екологічну машину шляхом розробки навісного підмітального обладнання (НПО), яким могли б оснащуватись сміттєвози. Це розширить функціональні можливості сміттєвоза та значно знизить витрати комунальних служб. Особливо це актуально для невеликих міст та селищ міського типу, де утримання кількох комунальних машин, які виконують різні функції, лягає важким тягарем на місцеві бюджети.

Розробка нової конструкції навісного підмітального обладнання для сміттєвоза

В якості приводів робочих органів НПО доцільно застосувати гідропривод, використавши як джерело живлення насосну станцію сміттєвоза, а в якості бункера-сміттєзбиральника – кузов сміттєвоза.

Оскільки НПО повинне містити два робочих органи з обертальним рухом: циліндричну щітку та шнековий транспортер, то постає необхідність здійснити вибір між основними схемами гідролікації робочих органів мобільних машин: з послідовним та паралельним з'єднанням гідромоторів групового гідроприводу. Як вказують автори [5-9] послідовне з'єднання в порівнянні з паралельним дозволяє: зменшити продуктивність насосної установки й металоємність приводу; забезпечити високу синхронність обертання вихідних валів гідромоторів; виключити застосування пристроїв, що запобігають псуванню гідромоторів через неузгодженість навантаження, спростити компонування гідроагрегатів і схему розведення трубопроводів. Тому прийнято рішення про приведення в рух циліндричної щітки та шнекового транспортера НПО за допомогою послідовно з'єднаних гідромоторів.

В результаті аналізу існуючих конструкцій сміттєвозів та підмітально-прибиральних машин розроблена конструктивна схема навісного підмітального обладнання для сміттєвоза (рис. 1), яка захищена патентом України № 57936 А [10].

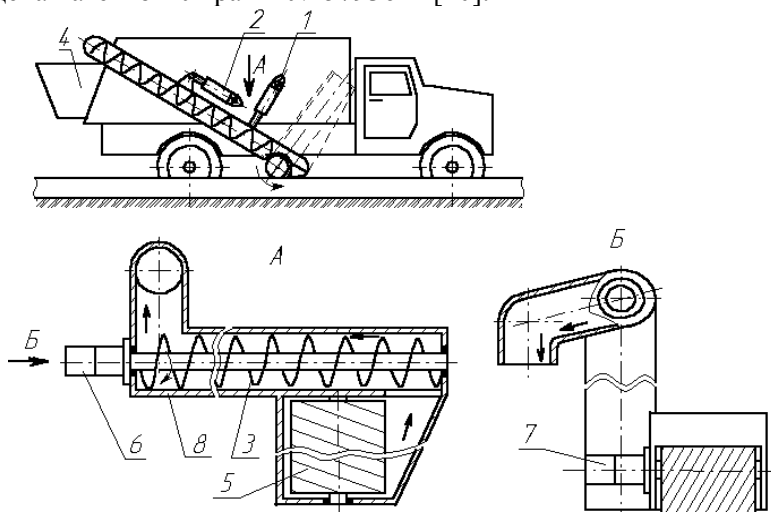


Рис. 1. Конструктивна схема навісного підмітального обладнання для сміттєвоза

НПО містить гідроциліндр повороту щітки 1; гідроциліндр шнека 2; шнековий транспортер 3, циліндричну щітку 5, які розміщені у єдиному корпусі 8; гідромотор шнекового транспортера 6 та гідромотор циліндричної щітки 7. Приймальний бункер 4 розташований у задній частині кузова прибиральної машини.

НПО працює таким чином: в робочому положенні циліндрична щітка 5, при обертанні, змітає сміття в шнековий транспортер 3, яке через хобот транспортера потрапляє до приймального бункера 4 і періодично ущільнюється плитою для пресування сміттєвоза.

Аналізуючи відомі схеми групового гідроприводу, розроблено гідравлічну схему НПО, показану на рис. 2.

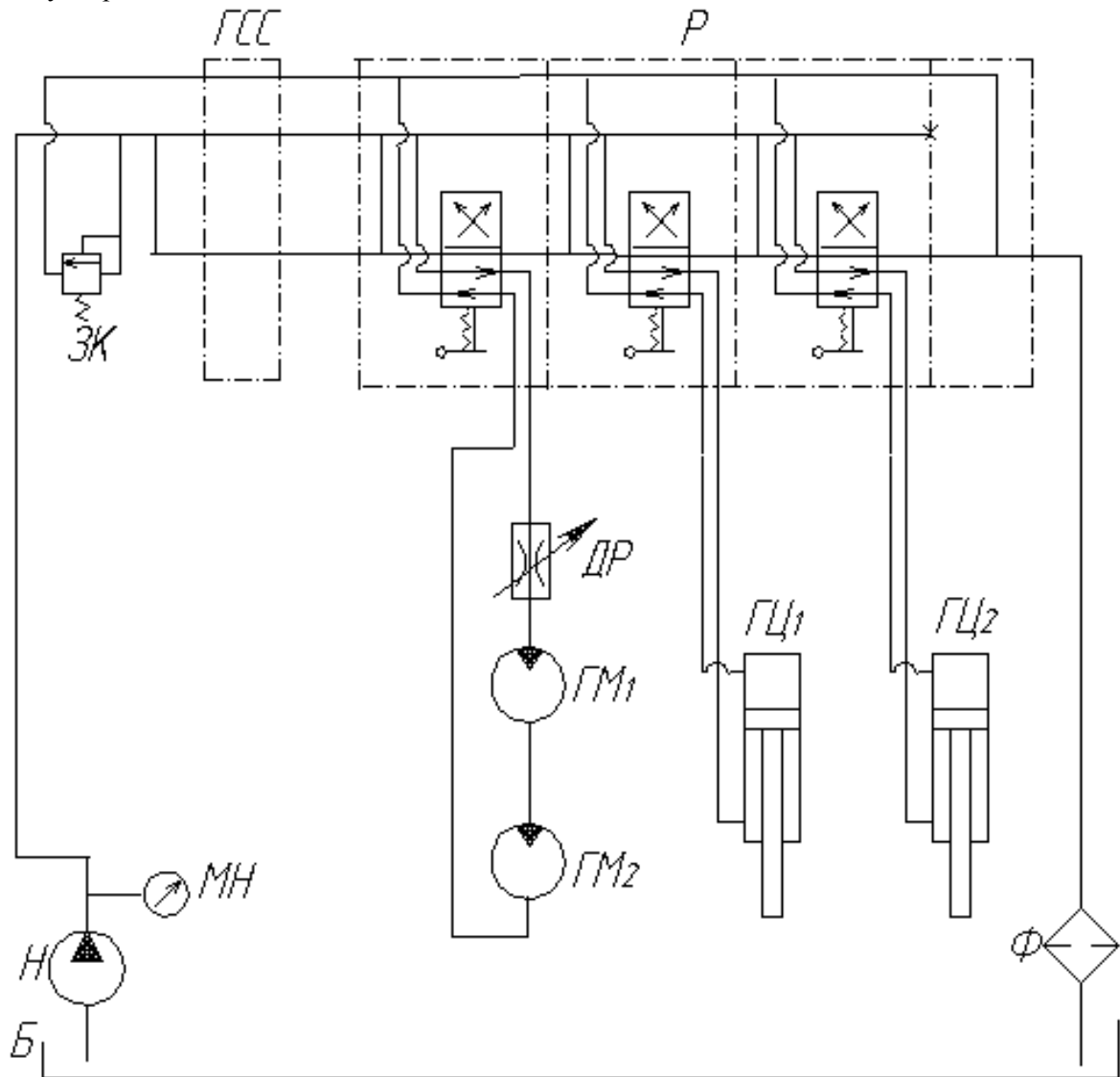


Рис. 2. Гідравлічна схема навісного підмітального обладнання

Гідросистема НПО складається з: гідророзподільника Р (рис. 2), гідронасоса Н, фільтра Ф, маслобака Б, запобіжного клапану ЗК, гідроциліндра шнека ГЦ₂, гідроциліндра повороту щітки ГЦ₁, гідромотора циліндричної щітки ГМ₁, гідромотора шнекового транспортера ГМ₂, дроселя ДР. З'єднується гідросистема НПО з гідросистемою сміттєвоза ГСС.

Привод робочих органів НПО здійснюється за допомогою гідромоторів ГМ₁ і ГМ₂. Робоче положення НПО над поверхнею дороги (тротуару) забезпечується гідроциліндром шнека ГЦ₂. Переведення щітки у транспортне положення здійснюється за допомогою гідроциліндра ГЦ₁. При цьому повертається корпус і хобот транспортера, що дає змогу безперешкодно здійснювати вивантаження сміття.

Математичне моделювання роботи навісного підмітального обладнання для сміттєвоза

Для дослідження динаміки гідроприводу НПО проведено моделювання його роботи. На рис. 3 представлена розрахункова схема роботи сміттєвоза на операції підмітання.

На схемі позначені такі структурні елементи: ГМ₁, ГМ₂ – гідромотори, ДР – дросель, Н – гідронасос, ЗК – запобіжний клапан, Ф – фільтр, Б – бак із робочою рідиною. На схемі також представлені такі основні геометричні, кінематичні та силові параметри: p_1, p_2, p_3, p_4 – тиски відповідно на виході насоса, на вході гідромотора ГМ₁, на вході гідромотора ГМ₂, на виході гідромотора ГМ₂; W_1, W_2, W_3, W_4 – об'єми трубопроводів між насосом та дроселем, дроселем та гідромотором ГМ₁, гідромотором ГМ₁ та гідромотором ГМ₂, гідромотором ГМ₂ та фільтром; Q_H – фактична подача насоса; S_{DR} – площа прохідного отвору дроселя; S_ϕ – площа поверхні фільтруючого елемента; q_{M1}, q_{M2} – робочі об'єми гідромоторів; J_1, J_2 – моменти інерції на валах гідромоторів; M_{KP1}, M_{KP2} – крутні моменти технологічного навантаження на валах гідромоторів; ω_1, ω_2 – кутові швидкості валів гідромоторів.

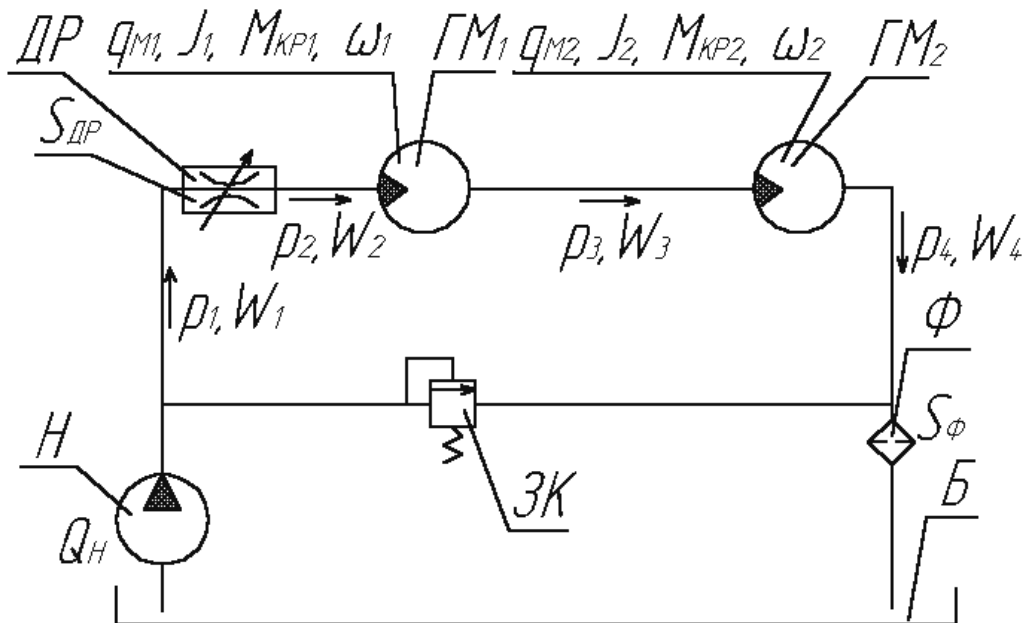


Рис. 3. Розрахункова схема роботи сміттєвоза на операції підмітання

При розробці математичної моделі роботи гідроприводу сміттєвоза на операції підмітання були прийняті такі припущення:

- робоча рідина прийнята стисливою і характеризується коефіцієнтом стисливості K ;
- коефіцієнт стисливості робочої рідини змінюється несуттєво зі зміною тиску і тому вважається постійним;
- витрати робочої рідини на перетікання з області високого тиску в область низького тиску прямо пропорційно залежать від перепаду тисків на межі цих областей характеризується коефіцієнтом перетікання робочої рідини σ ;
- величина тиску в магістралі між фільтром і маслобаком є незначною і до уваги не приймається;
- момент сухого тертя в гідромоторі залежить тільки від тисків, які притискають поверхні, які труться.

З врахуванням припущень операція підмітання може бути описана відповідною системою диференціальних (1-6) та алгебраїчних рівнянь (7) з відповідними граничними умовами (8).

Диференціальне рівняння (1) описує витрати РР на ділянці насос-гідророзподільник і враховує фактичну подачу насоса, витрати РР через розподільник, втрати РР на перетікання з області високого тиску в область низького тиску та деформацію трубопроводів. Диференціальне рівняння (2) описує витрати РР на ділянці гідророзподільник-вхід 1-го гідромотора і враховує витрати РР через розподільник, витрати РР на роботу 1-го гідромотора, втрати РР на перетікання з області високого тиску в область низького тиску та деформацію трубопроводів. Диференціальне

рівняння (3) описує витрати РР на ділянці вихід 1-го гідромотора-вхід 2-го гідромотора і враховує витрати РР на роботу двох гідромоторів, втрати РР на перетікання з області високого тиску в область низького тиску та деформацію трубопроводів. Диференціальне рівняння (4) описує витрати РР на ділянці вихід 2-го гідромотора-вхід фільтра й враховує витрати РР на роботу 2-го гідромотора, витрати РР через фільтр, втрати РР на перетікання з області високого тиску в область низького тиску та деформацію трубопроводів.

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_H = \mu S_{DP} \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}} + \sigma(p_1 - p_2) + KW_1 \dot{p}_1; \quad (1) \\ \mu S_{DP} \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}} = q_{MX1} \omega_1 + \sigma(p_2 - p_3) + KW_2 \dot{p}_2; \quad (2) \\ q_{MX1} \omega_1 = q_{MX2} \omega_2 + \sigma(p_3 - p_4) + KW_3 \dot{p}_3; \quad (3) \\ q_{MX2} \omega_2 = k_\phi \frac{p_4}{\mu_D} S_\phi + \sigma p_4 + KW_4 \dot{p}_4; \quad (4) \\ q_{MX1} (p_2 - p_3) = J_1 \dot{\omega}_1 + \beta \omega_1 + \alpha q_{MX1} (p_2 + p_3) + M_{KP1}; \quad (5) \\ q_{MX2} (p_3 - p_4) = J_2 \dot{\omega}_2 + \beta \omega_2 + \alpha q_{MX2} (p_3 + p_4) + M_{KP2}; \quad (6) \\ q_{MX} = \frac{q_M}{2\pi}; \quad (7) \\ 0 \leq \{p_1, p_2, p_3, p_4\} \leq p_{зк}; \quad 0 \leq \omega_1; \quad 0 \leq \omega_2, \quad (8) \end{array} \right.$$

де $p_{зк}$ – тиск спрацювання запобіжного клапана.

Диференціальне рівняння (5) описує обертання вала 1-го гідромотора і враховує момент, що розвиває 1-й гідромотор; момент сил інерції рухомих елементів; моменти сил в'язкого та сухого тертя; момент сил корисного опору. Диференціальне рівняння (6) описує обертання вала 2-го гідромотора і враховує момент, що розвиває 2-й гідромотор; момент сил інерції рухомих елементів; моменти сил в'язкого та сухого тертя; момент сил корисного опору.

Результати дослідження динаміки приводу

Система диференціальних рівнянь (1-6), що описують динаміку гідроприводу НПО, є системою нелінійних звичайних диференціальних рівнянь нерозв'язних відносно старших похідних. Крім того, дана математична модель містить суттєві нелінійності. Нелінійність цих рівнянь полягає в тому, що шукані функції p_1, p_2 входять в диференціальні рівняння у вигляді виразів з дробовими степенями. Крім того, деякі із розглянутих рівнянь містять складні залежності, які не можна лінеаризувати звичайним розкладанням в ряд Тейлора. Нерозв'язність рівнянь відносно старших похідних та суттєві нелінійності дозволяють зробити висновок про необхідність застосування числових методів розв'язання систем диференціальних рівнянь. Тому для розв'язання системи диференціальних рівнянь (1-6) використано метод Рунге-Кутта-Фельберга, який автоматично змінює крок інтегрування при виявленні похибки обчислень, що підвищує точність розрахунків. Цей числовий метод реалізовано за допомогою ЕОМ в середовищі програмування Delphi, що дає змогу чисельно розв'язати систему диференціальних рівнянь (1-6) і отримати результати у вигляді графіків та таблиць. Загальний вигляд діалогового вікна програми "Матмодель" для дослідження динаміки гідроприводу НПО сміттєвоза показано на рис. 4.

При дослідженні чисельні розрахунки проводились з кроком інтегрування $h=10^{-4}$ с і відносною похибкою $\varepsilon=10^{-16}$. Стійкість розв'язку систем диференціальних рівнянь забезпечувалась перевіркою на ідентичність результатів, отриманих при значеннях кроків інтегрування h та половинних кроків інтегрування $h/2$.

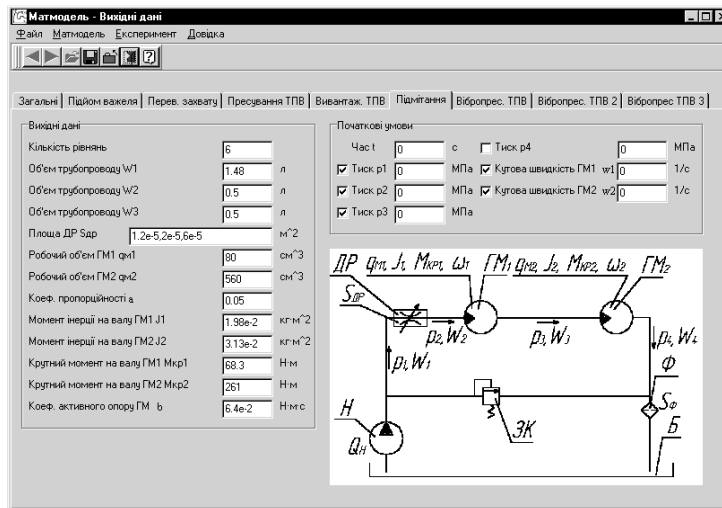


Рис. 4. Загальний вигляд діалогового вікна програми "Матмодель" для дослідження динаміки гідроприводу НПО сміттевоза

Зміна основних параметрів гідроприводу НПО під час пуску показана на рис. 5, де цифрами 1-3 позначено криві, які відповідають таким значенням площі відкриття регульованого дроселя $S_{др}$: 12, 20, 60 мм^2 відповідно.

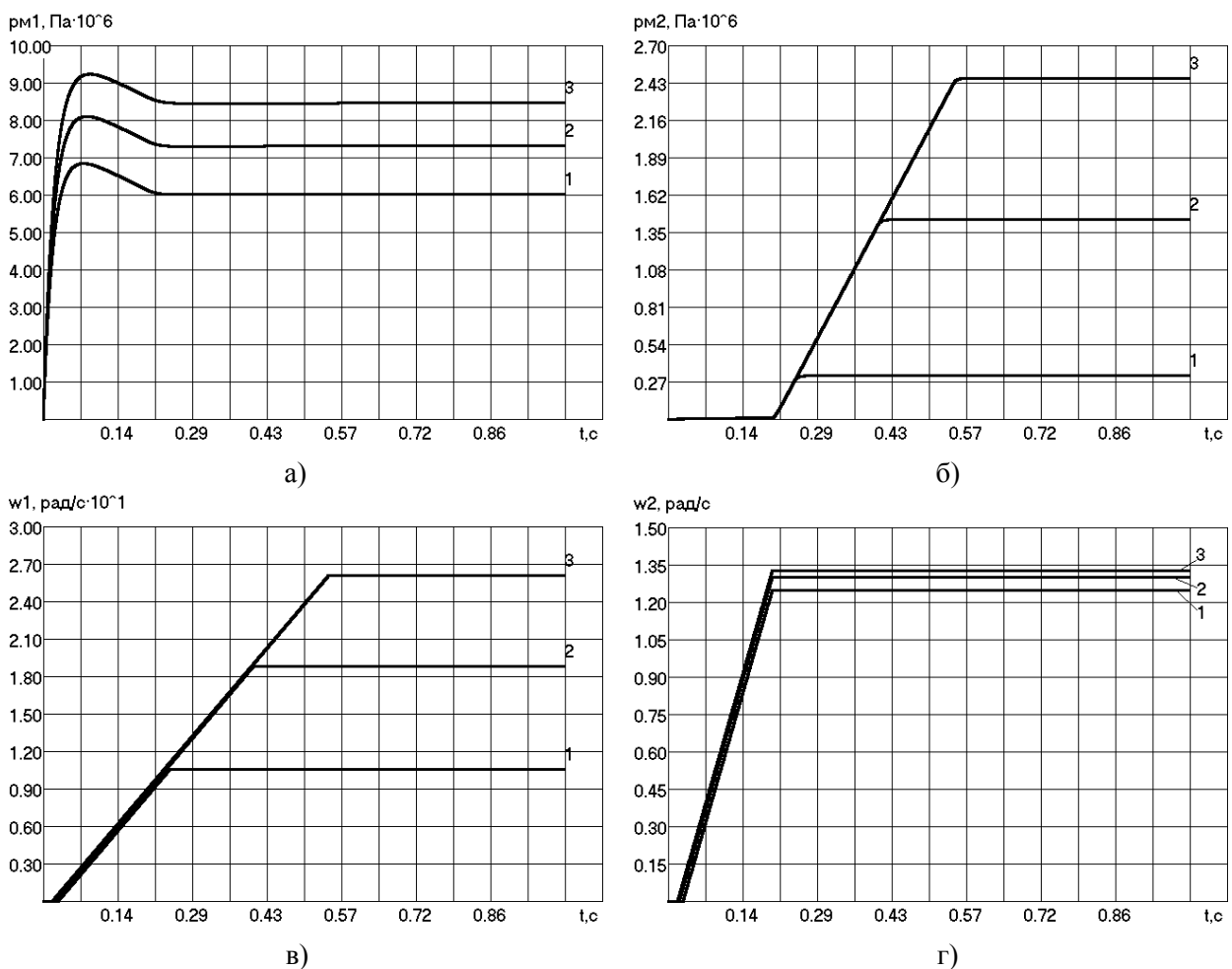


Рис. 5. Зміна основних параметрів гідроприводу НПО під час пуску: а) тиску на вході гідромотора ГМ₁; б) тиску на вході гідромотора ГМ₂; в) кутової швидкості гідромотора ГМ₁; г) кутової швидкості гідромотора ГМ₂

Аналіз результатів математичного моделювання динаміки гідроприводу НПО (рис. 5) показав, що даний привод під час пуску працюватиме стійко з якісними перехідними процесами. Також виявлено, що збільшення площі відкриття регульованого дроселя $S_{ДР}$ суттєво впливає на підвищення номінальних значень тисків обох гідромоторів та кутової швидкості гідромотора ГМ₁, а на підвищення номінальних значень кутової швидкості гідромотора ГМ₂ впливає не в значній мірі. Також встановлено, що зі збільшенням площі відкриття регульованого дроселя $S_{ДР}$ час виходу гідромотора ГМ₁ на номінальні режими кутової швидкості суттєво зростає, а час виходу гідромотора ГМ₂ на номінальні режими кутової швидкості майже не зростає.

За допомогою проведення регресійного аналізу отримано такі рівняння регресії для номінальних значень тисків та кутової швидкості обох гідромоторів:

$$P_{M1н} = \frac{S_{ДР}}{0,505 + 0,111S_{ДР}}; \quad (10)$$

$$P_{M2н} = 2,92 - \frac{30,6}{S_{ДР}}; \quad (11)$$

$$\omega_{1н} = 30,4 - \frac{229}{S_{ДР}}; \quad (12)$$

$$\omega_{2н} = \frac{S_{ДР}}{0,449 + 0,758S_{ДР}}. \quad (13)$$

При цьому коефіцієнт кореляції для рівнянь регресії (10-13) склав: 0,99973; 0,99638; 0,99606; 0,99999 відповідно, що свідчить про адекватність отриманих рівнянь. Регресійні криві, які відповідають рівнянням (10-13), показані на рис. 6.

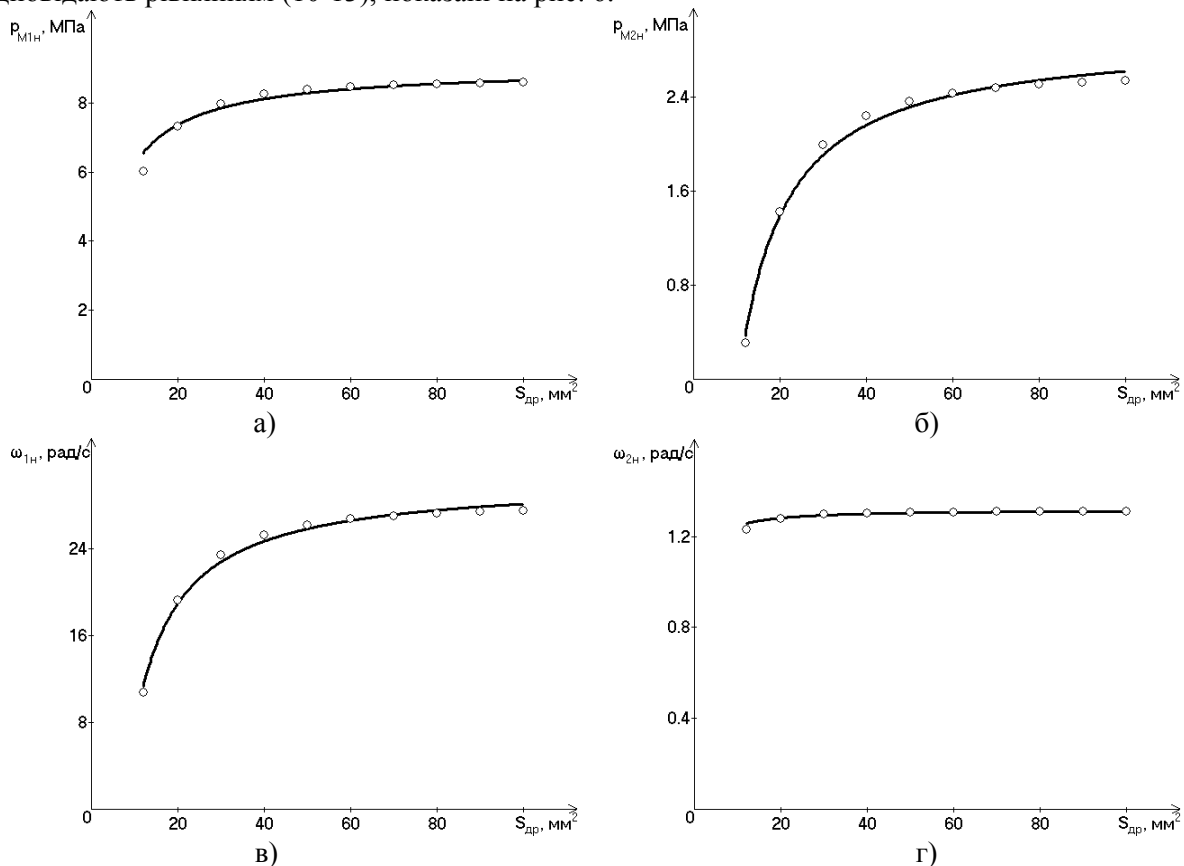


Рис. 6. Регресійні криві номінальних значень основних параметрів НПО:
а) тиску на вході гідромотора ГМ₁; б) тиску на вході гідромотора ГМ₂;
в) кутової швидкості гідромотора ГМ₁; г) кутової швидкості гідромотора ГМ₂

Встановлені залежності (10-13) можуть бути використані під час розробки методики інженерних розрахунків параметрів НПО.

Висновки

- Створено нову конструктивну схему навісного підмітального обладнання для сміттєвоза, яка дозволяє розширити функціональні можливості сміттєвозів та значно знизити витрати комунальних служб і захищена патентом України № 57936 А.
- Запропонована математична модель гідроприводу навісного підмітального обладнання для сміттєвоза, яка дає змогу досліджувати динаміку вказаного гідроприводу для вибору більш раціональних його конструктивних параметрів.
- В результаті проведення чисельного дослідження математичної моделі виявлено, що запропонований гідропривод навісного підмітального обладнання для сміттєвоза під час пуску працюватиме стійко з якісними перехідними процесами.
- Встановлено, що збільшення площі відкриття регульованого дроселя суттєво впливає на підвищення номінальних значень тисків обох гідромоторів та кутової швидкості гідромотора циліндричної щітки, а на підвищення номінальних значень кутової швидкості гідромотора шнекового транспортера впливає не в значній мірі.
- Визначено, що зі збільшенням площі відкриття регульованого дроселя час виходу гідромотора циліндричної щітки на номінальні режими кутової швидкості суттєво зростає, а час виходу гідромотора шнекового транспортера на номінальні режими кутової швидкості майже не зростає.
- Отримано адекватні рівняння регресії для номінальних значень тисків та кутової швидкості гідромоторів циліндричної щітки та шнекового транспортера в залежності від площі відкриття регульованого дроселя, які можуть бути використані під час розробки методики інженерних розрахунків параметрів навісного підмітального обладнання для сміттєвоза.

Список літератури

1. Мусоровоз [Текст]: а. с. 793891: МКИ В 65 F 3/00. / Баловнев В. И., Белоцерковский Г. М., Букреев Е. М. и др. – № 2794198, Бюл. № 1. – 2 с. : іл.
2. Устройство для загрузки мусора в кузов мусоровоза [Текст]: а. с. 1012795: МКИ В 65 F 3/20. / Марсель К. – № 3291952, Бюл. № 14. – 3 с. : іл.
3. Уборочная машина [Текст]: а. с. 1557239: МКИ Е 01 Н 1/04. / Бакуменко В. П., Ваил М. И. – № 4457407, Бюл. № 14. – 3 с. : іл.
4. Савуляк В. І. Технічне забезпечення збирання, перевезення та підготовки до переробки твердих побутових відходів: [монографія] / В.І. Савуляк, О.В. Березюк. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 218 с. – ISBN 966-641-194-6 (в пер.).
5. Групповой гидропривод [Текст]: а. с. 1135941: МКИ F 16 Н 39/50. / Дядькович В. Т., Немировський І. А., Савуляк В. И. - № 3526720, Бюл. №3. – 4 с. : іл.
6. Башта Т. М. Гидропривод и гидропневмоавтоматика / Т. М. Башта – М.: Машиностроение, 1972. – 320 с.
7. Богданович Л. Б. Объемные гидроприводы / Богданович Л. Б. – К.: Техніка, 1971. – 172 с.
8. Иванов М. Дослідження стійкості групового гідропривода сільгоспмашин / Иванов Микола, Гунько Ірина // Вісник ВПІ. – 1998. – № 4. – С. 70-74.
9. Гунько І. В. Груповий гідропривод робочих органів машин сільськогосподарського призначення з послідовним з'єднанням гідромоторів: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / І. В. Гунько. – Вінниця, 1999. – 274 с.
10. Обладнання прибиральної машини [Текст]: патент 57936 А, МПК6 Е 01 Н 1/04. / Березюк О. В., Савуляк В. І.; власник патенту Вінницький національний технічний університет. - № 2001074690; заявл. 05.07.01; опубл. 15.07.03. – 6 с.: іл.

Березюк Олег Володимирович – к.т.н., старший викладач кафедри менеджменту у будівництві, охорони праці та безпеки життєдіяльності Вінницького національного технічного університету.