

УДК 621.28

С. Сергєєв<sup>1</sup>; Л. Козлов<sup>2</sup>, канд. техн. наук; М. Харченко<sup>1</sup>;  
Д. Лозінський<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ВАТ «Борекс»

<sup>2</sup>Вінницький національний технічний університет

## ПРО ЕНЕРГЕТИЧНІ ВТРАТИ В НАВАНТАЖУВАЧІ «БОРЕКС 2271»

*Резюме.* У роботі досліджено можливості зменшення енергетичних втрат у гідроприводі навантажувача «БОРЕКС 2271» унаслідок використання пропорційного електрогідравлічного розподільника, чутливого до навантаження, з незалежним керуванням потоків.

*Ключові слова:* енергетичні втрати, навантажувач, пропорційний електрогідравлічний розподільник із незалежним керуванням потоків.

S. Sergeev, L. Kozlov, M. Kharchenko, D. Lozinsky

## ABOUT POWER LOSSES IN LOADER «BOREX 2271»

*The summary.* Research has been conducted on the possibility of diminishment of power losses in hydraulic drive of loader «BOREX 2271» due to the use of proportional electro-hydraulic load-sensing directional control valve with the independent flow control.

*Key words:* power losses, loader, proportional electro-hydraulic directional control valve with the independent flows control.

**Постановка проблеми.** У мобільних машинах на основі гідропривода (ГП), які використовують у будівельній та сільськогосподарській галузях (наприклад, у крано-маніпуляторних установках та навантажувачах, де більшість технологічних операцій пов'язана із опусканням та підняттям вантажів різного призначення), існує потреба забезпечити точність переміщення гідродвигунів (ГД) та утримувати їх у робочому стані тривалий проміжок часу.

Вищевказані вимоги зумовлюють розроблення та використання у ГП розподільчої гідроапаратури, що забезпечує високі показники герметичності порожнин ГД, пропорційність керування потоком рідини, що надходить до ГД, а також стійку роботу гідропривода в усіх режимах роботи [1–3].

На рис.1 зображено модернізовану схему ГП навантажувача «БОРЕКС 2271» на базі пропорційного електрогідравлічного розподільника [4]. Його основні елементи: насос 1, насос для живлення системи керування 2, робоча секція 3 та переливна секція 4, гідроциліндри (ГЦ) 5 та 6.

У робочій секції розміщені два розподільчі золотники 7, 8, якими керують пропорційні клапани першого каскаду 11, 12. Застосування двох золотників, замість одного, дозволяє виконувати незалежне керування потоками рідини на вході та виході ГЦ. Для забезпечення герметизації порожнин ГЦ у робочій секції розміщено керовані зворотні клапани 9, 10 із сервоклапаном керування 13.

У переливній секції розміщений запобіжно-переливний клапан 14, який забезпечує можливість регулювання та стабілізацію потоку, що надходить до ГЦ незалежно від

технологічного навантаження (принцип Load Sensing (LS) – чутливість до навантаження). Запобіжні клапани 15, 16 та 19 призначені для захисту гідропривода від перенавантажень.

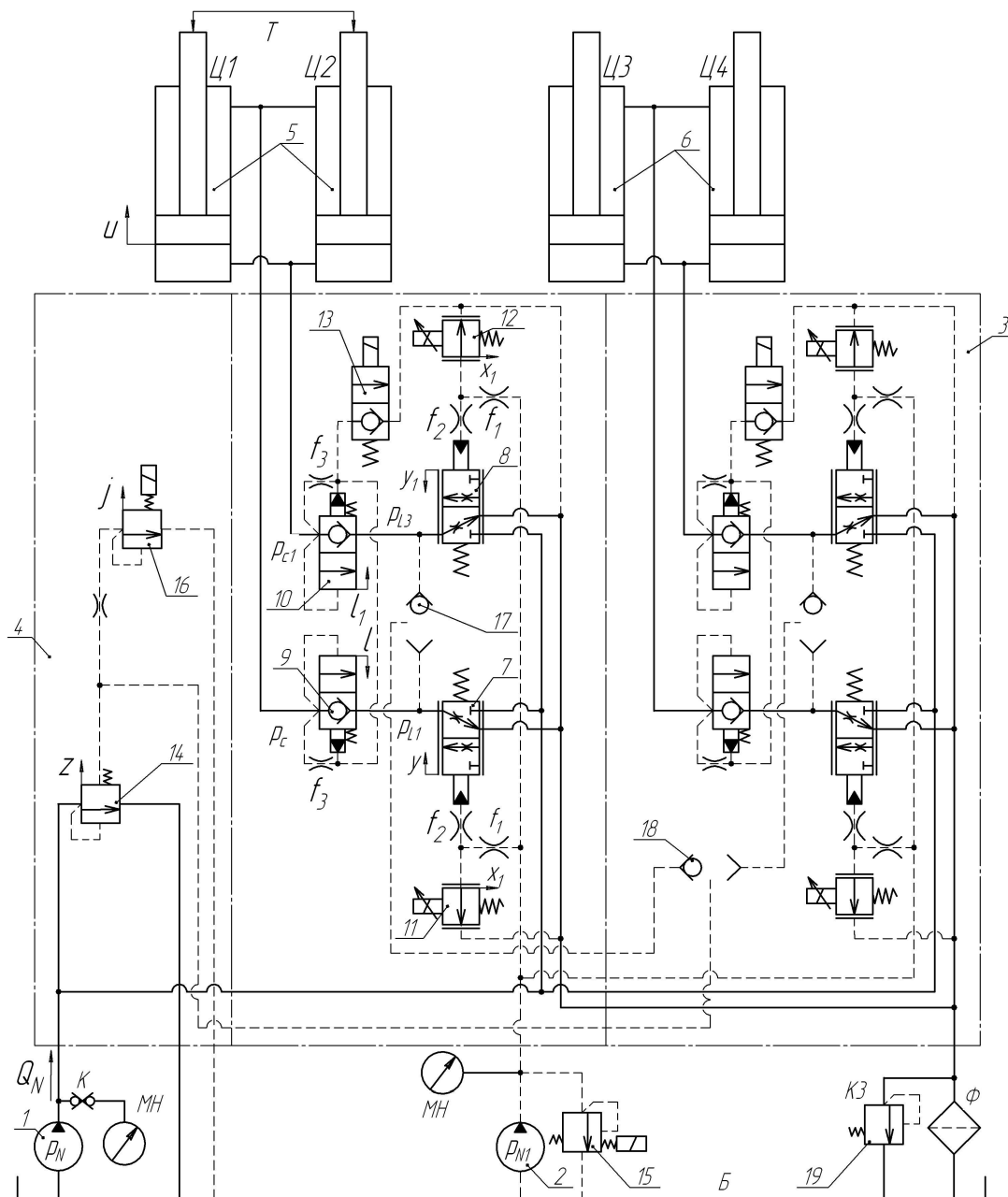


Рис. 1. Гідралічна схема модернізованого ГП навантажувача «БОРЕКС 2271»

**Аналіз останніх досліджень.** Ефективність використання ГП навантажувача можна проаналізувати на прикладі аналізу енергетичних втрат.

Автори робіт [5, 6] довели, що під час виконання операцій, які потребують максимальної потужності ГП мобільної машини (режими із максимальними потоками, що пропускає розподільник), спостерігається максимальний ККД гідравлічного устаткування. При виконанні операцій, що потребують малих значень керуючих потоків (при точному позиціонуванні робочих органів або ж при виконанні операцій з опускання вантажів), виникають непродуктивні витрати потужності, що обґрунтував автор у роботі [5]. Питання ж доцільності застосування незалежного керування потоками та його впливу на енергетичні характеристики ГП потребує додаткових досліджень.

**Постановка завдання.** Основне завдання – поліпшити енергетичні характеристики ГП навантажувача унаслідок використання пропорційного електрогідравлічного розподільника з LS – регулюванням та незалежним керування потоків на вході та виході ГД, яке реалізується

через два золотники 7, 8 (рис.1). Дані особливості забезпечують стабілізацію швидкості руху робочого органу незалежно від технологічного навантаження та дозволяють виконувати операції з опускання вантажу завдяки власній накопиченій потенціальній енергії, зменшуючи, таким чином, непродуктивні витрати потужності в ГП.

**Виклад основного матеріалу.** Дослідження роботи модернізованого ГП виконано на основі математичної моделі, що містить рівняння нерозривності потоків у (1 – 11) та рівняння сил, що діють на золотники другого каскаду 7, 8 (11, 12), керовані зворотні клапани 9, 10 (14, 15), переливний клапан 14 (16) та клапан 16 (17) [7].

$$\mu \cdot f_1 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_{N1} - p_2|}{\rho}} \cdot \text{sgn}(p_{N1} - p_2) = \mu \cdot f_2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_2 - p_1|}{\rho}} \cdot \text{sgn}(p_2 - p_1) + \quad ; \quad (1)$$

$$\mu \cdot \left[ \frac{\pi}{2} \cdot ((x_0 - x) \cdot \sin \beta_1 + 2 \cdot d_{s1}) \cdot (x_0 - x) \cdot \sin \frac{\beta}{2} \right] \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p_2}{\rho}} + \beta \cdot W_A \cdot \frac{dp_2}{dt}$$

$$\mu \cdot f_2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_2 - p_1|}{\rho}} \cdot \text{sgn}(p_2 - p_1) = F_3 \cdot \frac{dy}{dt} + \beta \cdot W_D \cdot \frac{dp_1}{dt}; \quad (2)$$

$$Q_N = \mu \cdot \left[ \frac{\pi}{2} \cdot (z \cdot \sin \lambda + 2 \cdot d_{z1}) \cdot z \cdot \sin \frac{\lambda}{2} \right] \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p_N}{\rho}} + \beta \cdot W_C \cdot \frac{dp_N}{dt} + \quad ; \quad (3)$$

$$+ \mu \cdot \pi \cdot d_3 \cdot y \cdot \sin \alpha \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_N - p_{L1}|}{\rho}} \cdot \text{sgn}(p_N - p_{L1})$$

$$\mu \cdot \pi \cdot d_3 \cdot y \cdot \sin \alpha \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_N - p_{L1}|}{\rho}} \cdot \text{sgn}(p_N - p_{L1}) = F_Z \cdot \frac{dz}{dt} +$$

$$+ \mu \cdot \left[ \frac{\pi}{2} \cdot (j \cdot \sin \varphi + 2 \cdot d_{z2}) \cdot j \cdot \sin \frac{\varphi}{2} \right] \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p_{L1}}{\rho}} + \beta \cdot W_D \cdot \frac{dp_{L1}}{dt} + \quad ; \quad (4)$$

$$\mu \cdot \left[ \frac{\pi}{2} \cdot (l \cdot \sin \gamma + 2 \cdot d_{L1}) \cdot y' \cdot \sin \frac{\gamma}{2} \right] \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_{L1} - p_C|}{\rho}} \cdot \text{sgn}(p_{L1} - p_C)$$

$$\mu \cdot \left[ \frac{\pi}{2} \cdot (l_1 \cdot \sin \gamma + 2 \cdot d_{L1}) \cdot l_1 \cdot \sin \frac{\gamma}{2} \right] \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_{C1} - p_{L3}|}{\rho}} \cdot \text{sgn}(p_{C1} - p_{L3}) = \quad ; \quad (5)$$

$$= \beta \cdot W_K \cdot \frac{dp_{L3}}{dt} + \mu \cdot \pi \cdot d_3 \cdot y \cdot \sin \alpha \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_{L3}|}{\rho}}$$

$$\mu \cdot f_3 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_C - p_{L2}|}{\rho}} \cdot \text{sgn}(p_C - p_{L1}) = \mu \cdot \left[ \frac{\pi}{2} \cdot (s \cdot \sin \delta + 2 \cdot d_{L2}) \cdot s \cdot \sin \frac{\delta}{2} \right] \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p_{L2}}{\rho}} + \quad ; \quad (6)$$

$$+ \beta \cdot W_E \cdot \frac{dp_{L2}}{dt}$$

$$\mu \cdot \left[ \frac{\pi}{2} \cdot (l \cdot \sin \gamma + 2 \cdot d_{L1}) \cdot l \cdot \sin \frac{\gamma}{2} \right] \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_{L1} - p_C|}{\rho}} \cdot \text{sgn}(p_{L1} - p_C) = \frac{du}{dt} \cdot \frac{\pi \cdot D_C^2}{4} + \quad ; \quad (7)$$

$$+ \mu \cdot f_3 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_C - p_{L2}|}{\rho}} \cdot \text{sgn}(p_C - p_{L1}) + \beta \cdot W_F \cdot \frac{dp_C}{dt}$$

$$F_{C1} \cdot \frac{du}{dt} = \mu \cdot \left[ \frac{\pi}{2} \cdot (l_1 \cdot \sin \gamma + 2 \cdot d_{L1}) \cdot l_1 \cdot \sin \frac{\gamma}{2} \right] \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p_{C1}}{\rho}} + \beta \cdot W_G \cdot \frac{dp_{C1}}{dt} + \quad ; \quad (8)$$

$$+ \mu \cdot f_3 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_{C1} - p_{L4}|}{\rho}} \cdot \text{sgn}(p_C - p_{L1}) + \mu \cdot f_3 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_{C1} - p_{L3}|}{\rho}} \cdot \text{sgn}(p_{C1} - p_{L3})$$

$$\mu \cdot f_3 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_{C1} - p_{L4}|}{\rho}} \cdot \text{sgn}(p_{C1} - p_{L4}) = \mu \cdot \left[ \frac{\pi}{2} \cdot (s \cdot \sin \delta + 2 \cdot d_{L2}) \cdot s \cdot \sin \frac{\delta}{2} \right] \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p_{L4}}{\rho}} + \beta \cdot W_G \cdot \frac{dp_{L4}}{dt}; \quad (9)$$

$$\mu \cdot f_1 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_{N1} - p_4|}{\rho}} \cdot \text{sgn}(p_{N1} - p_4) = \mu \cdot f_2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_4 - p_3|}{\rho}} \cdot \text{sgn}(p_4 - p_3) + \mu \cdot \left[ \frac{\pi}{2} \cdot ((x_0 - x_1) \cdot \sin \beta_1 + 2 \cdot d_{S1}) \cdot (x_0 - x_1) \cdot \sin \frac{\beta}{2} \right] \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p_4}{\rho}} + \beta \cdot W_L \cdot \frac{dp_4}{dt}; \quad (10)$$

$$\mu \cdot f_2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_4 - p_3|}{\rho}} \cdot \text{sgn}(p_4 - p_3) = F_3 \cdot \frac{dy_1}{dt} + \beta \cdot W_M \cdot \frac{dp_3}{dt}; \quad (11)$$

$$m_3 \frac{dV_y}{dt} = p_1 \cdot F_3 - c \cdot (H + y) - b \frac{dy}{dt} - T \cdot \text{sgn} \frac{dy}{dt} - R_{h3}; \quad (12)$$

$$m_3 \frac{dV_{y1}}{dt} = p_3 \cdot F_3 - c \cdot (H + y_1) - b \frac{dy_1}{dt} - T_1 \cdot \text{sgn} \frac{dy_1}{dt} - R_{h3}; \quad (13)$$

$$m_L \frac{dV_l}{dt} = p_{L1} \cdot F_{L1} - p_{L2} \cdot F_L + p_C (F_L - F_{L1}) - c_L \cdot (H_L + l) - b_L \frac{dl}{dt} - T_L \cdot \text{sgn} \frac{dl}{dt}; \quad (14)$$

$$m_L \frac{dV_{l1}}{dt} = p_{L3} \cdot F_{L1} - p_{L4} \cdot F_L + p_{C1} (F_L - F_{L1}) - c_L \cdot (H_L + l_1) - b_L \frac{dl_1}{dt} - T_{L1} \cdot \text{sgn} \frac{dl_1}{dt}; \quad (15)$$

$$m_Z \frac{dV_Z}{dt} = p_H \cdot F_{Z1} - p_K \cdot F_Z - c_Z \cdot (H_Z + z) - b_Z \frac{dz}{dt} - T_Z \cdot \text{sgn} \frac{dz}{dt} - R_{hZ}; \quad (16)$$

$$p_K \cdot F_{Z2} = c_{Z1} \cdot (H_{Z1} + j + j_0) - b_{Z1} \frac{dj}{dt}. \quad (17)$$

Математичну модель опрацьовано за допомогою програмного пакета MatLAB Simulink, який є інтерактивним інструментом для моделювання, імітації та аналізу динамічних систем, окрім того, під час моделювання можна слідкувати за процесами, що відбуваються у системі [7, 8].

Основну блок-схему розв'язання системи диференціальних рівнянь зображено на рис. 2.

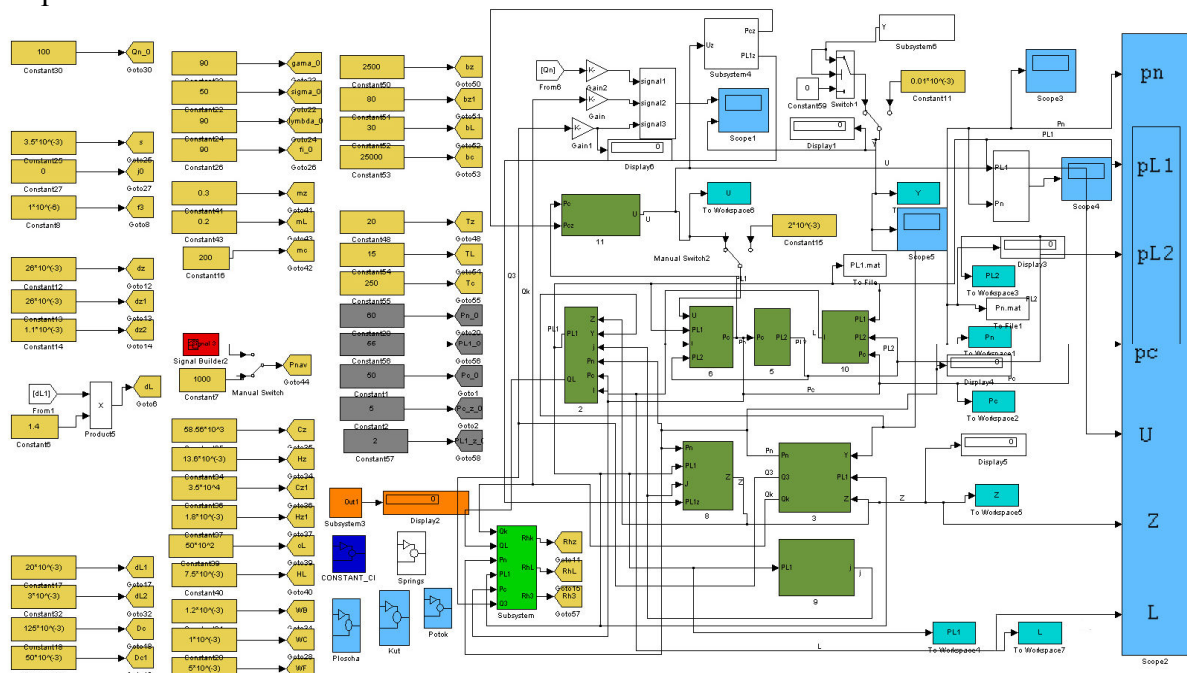


Рис. 2. Блок-схема розв'язання системи диференціальних рівнянь

Втрати потужності в ГП навантажувача до та після модернізації можна обчислити за формулою

$$N_V = \sum_0^i \Delta q_i \cdot \Delta p_i, \quad (18)$$

де  $\Delta q_i$  – потік, що проходить через  $i$ -ий агрегат гідропривода,  $\Delta p_i$  – втрати тиску на  $i$ -ому агрегаті гідропривода.

Діаграми втрат потужності, отримані в результаті математичного моделювання, зображено на рис. 3 – 6.

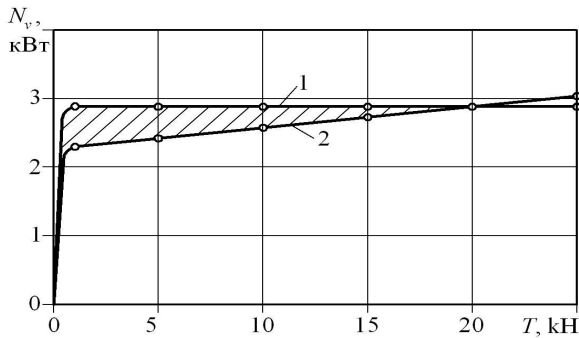


Рис. 3. Залежність втрат потужності при виконанні операцій піднімання вантажу від навантаження на штокові ГЦ: 1 – ГП навантажувача «БОРЕКС 2271», 2 – модернізований ГП навантажувача «БОРЕКС 2271»

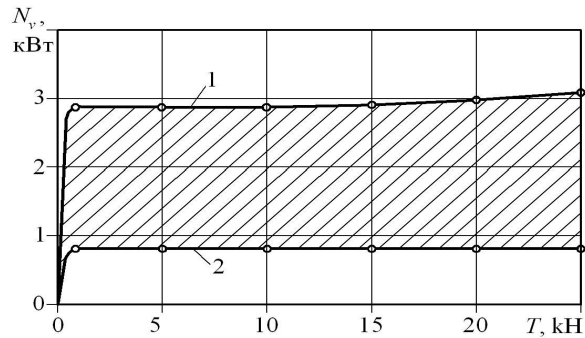


Рис. 4. Залежність втрат потужності при виконанні операцій опускання вантажу від навантаження на штокові ГЦ: 1 – ГП навантажувача «БОРЕКС 2271», 2 – модернізований ГП навантажувача «БОРЕКС 2271»

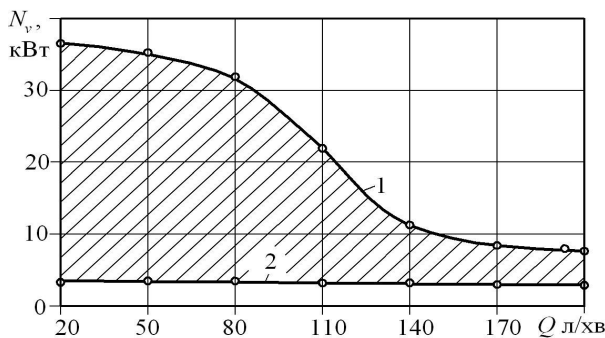


Рис. 5. Залежність втрат потужності при виконанні операцій піднімання вантажу від потоку пропускання розподільником: 1 – ГП навантажувача «БОРЕКС 2271», 2 – модернізований ГП навантажувача «БОРЕКС 2271».

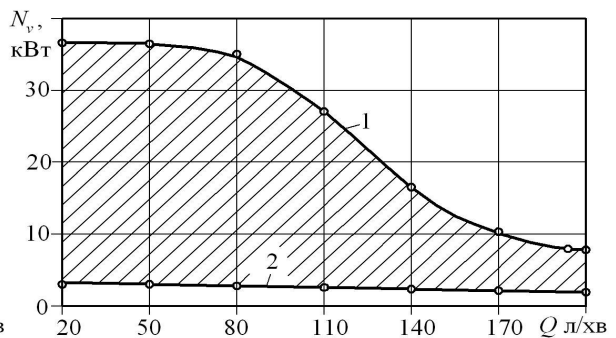
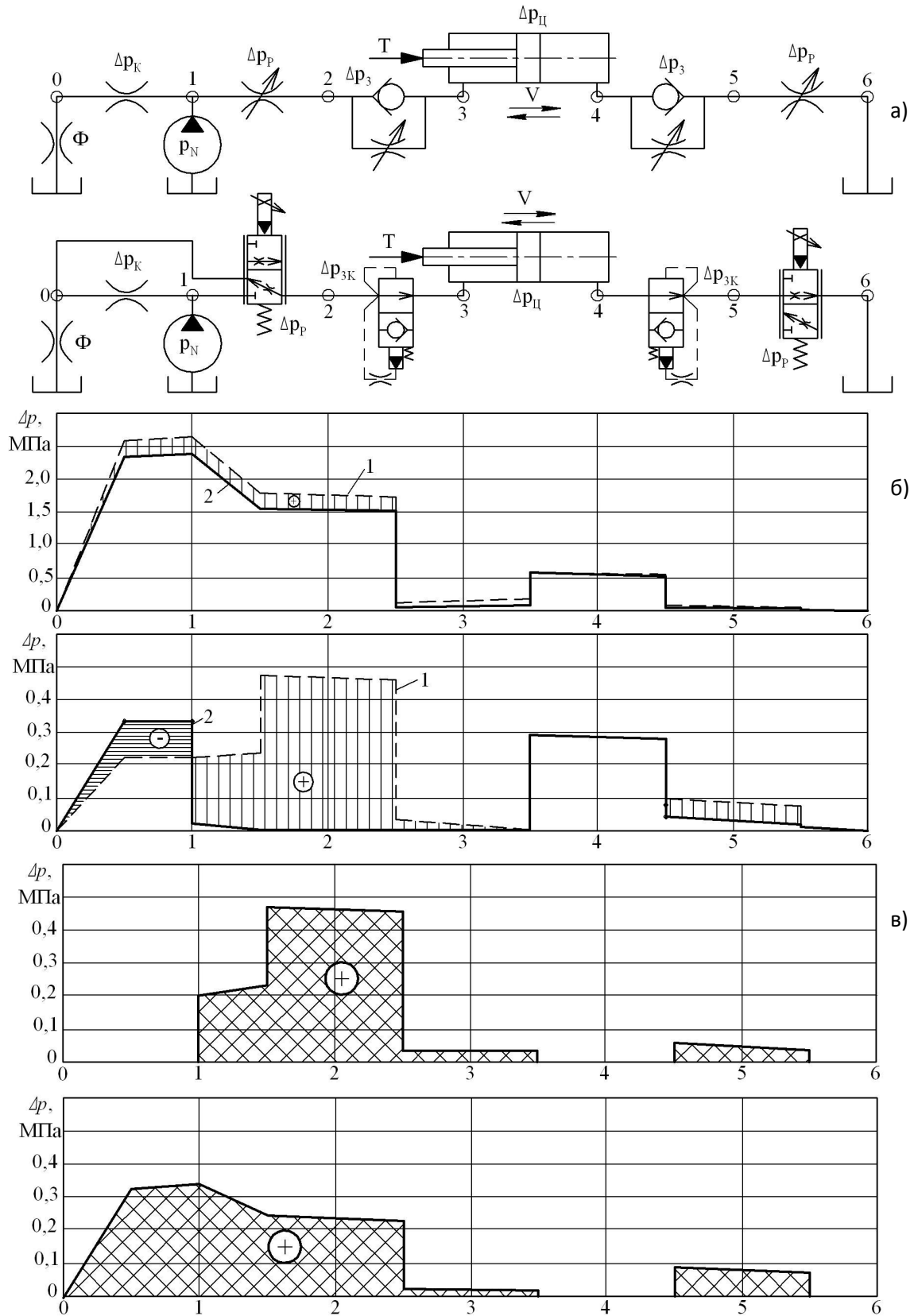


Рис. 6. Залежність втрат потужності при виконанні операцій опускання вантажу від потоку пропускання розподільником: 1 – ГП навантажувача «БОРЕКС 2271», 2 – модернізований ГП навантажувача «БОРЕКС 2271».

Як бачимо на рис. 3 – 6, застосування модернізованого ГП дозволяє значно знизити втрати потужності, а отже, й енергетичні втрати в ГП навантажувача «БОРЕКС 2271». Оскільки більшу частину технологічних операцій навантажувач виконує при потоках близьких до максимальної витрати насоса, модернізація ГП дозволяє знизити енергетичні втрати до 87,3% (при опусканні вантажу) та до 25,7% (при підніманні вантажу) залежно від технологічного навантаження.

На рис. 7 зображено діаграму втрат тиску для ГП навантажувача «БОРЕКС 2271» до та після модернізації, під час виконання операції опускання та піднімання вантажу.

На даній діаграмі бачимо, що модернізований привод під час виконання операцій опускання вантажу внаслідок накопиченої потенціальної енергії має більші втрати тиску на переливному клапані, проте втрати тиску в гідролініях та агрегатах від насоса до ГЦ значно більші, ніж у ГП до модернізації; при виконанні операцій піднімання вантажу модернізований ГП має менші втрати тиску на усіх агрегатах ГП.



**Рис. 7. Аналіз втрат тиску в гідроприводі навантажувача «БОРЕКС 2271»:**

а) ГП до модернізації; б) модернізований ГП; в) втрати тиску в ГП до (2) та після модернізації (1) при підніманні вантажу; г) втрати тиску в ГП до (2) та після модернізації (1) при опусканні вантажу; д) позитивна різниця втрат тиску до та після модернізації при опусканні вантажу; е) при підніманні вантажу

### **Висновки**

Застосування у ГП мобільних машин, зокрема навантажувачів, пропорційних електрогідравлічних (чутливих до навантаження) розподільників – на основі двох розподільчих елементів золотникового типу та керованих зворотних клапанів – дозволяє виконувати незалежне керування потоками рідини на вході й виході ГД.

Це надає можливість виконувати операції опускання вантажу завдяки накопиченій потенціальній енергії та зменшити непродуктивні витрати енергії, підвищуючи гідравлічний ККД: до 87,3% (при опусканні вантажу) та до 25,7% (при підніманні вантажу) залежно від технологічного навантаження на ГЦ.

### **Література**

1. Скворчевский Е.А. Исследование функциональных возможностей гидроаппаратуры с электрическим пропорциональным управлением и областей ее применения в приводах / Е.А. Скворчевский // Вестник машиностроения. — 1988. — № 6. — С. 26 – 30.
2. Дорошко В.И. Гидрооборудование с дистанционным пропорциональным управлением / В.И. Дорошко, А.А. Гинзбург // Приводная техника. — 1996. — № 0. — С. 26 – 28.
3. Рустанович А.В. Развитие гидросистем одноковшовых экскаваторов: Обзорная инф. Серия 1. / А.В. Рустанович, А.А. Акинфиев // «Строительные машины». – Выпуск 3. – М.: ЦНИИТЭИ стройдормаш, 1988. – 56с.
4. Пат. 41887 України, МПК<sup>8</sup> F15B 11/00. Гідропривод з пропорційним електрогідравлічним управлінням / Козлов Л.Г., Лозінський Д.О., заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. університет. – №u200900907; заявл. 06.02.2009; опубл. 10.06.2009. Бюл. №11.
5. Козлов Л.Г. Вдосконалення системи керування гідроприводів з LS-регулюванням: дис. канд. тех. наук: 05.02.03/ Л.Г. Козлов. – Вінниця, 2000р. – 320 с.
6. Буренников Ю.А. Пропорциональный распределитель для гидросистемы, чувствительной к нагрузке / Ю.А. Буренников, Л.Г. Козлов // Вестник НТУУ „КПИ”: Машиностроение. – Киев, 2002. – Вып. 42. – Т.2 – С.37–39.
7. Козлов Л.Г. Моделювання робочих процесів в гідроприводі із клапанно-золотниковим розподільником з пропорційним електрогідравлічним управлінням / Л.Г. Козлов, Д.О. Лозинський // Вісник Донецького університету, Сер. А: Природничі науки. – 2008. – № 2. – С. 156 – 161.
8. Черных И.В. Simulink: среда создания инженерных приложений / И.В. Черных. – Диалог-МИФИ, 2004. – 496с.

*Одержано 10.08.2009р.*