

БЕЗСТУПІНЧАСТА ГІДРООБ'ЄМНО–МЕХАНІЧНА ТРАНСМІСІЯ, ЩО ПРАЦЮЄ ЗА СХЕМОЮ «ДИФЕРЕНЦІАЛ НА ВХОДІ», У СКЛАДІ АВТОМОБІЛЯ ДЛЯ РЕМОНТУ НАФТОГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН

Островець Олександр Олегович,
к. т. н., доцент кафедри
«Автомобіле – і тракторобудування»
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

Вступ. При виконанні ремонту на нафтогазовій свердловині близько 80–90% часу витрачається на спуск та підйом колони труб (КТ), що виконується автомобілями для ремонту нафтогазових свердловин (РНГС).

На території України розробниками і виробниками даних машин є Харківський завод транспортного устаткування (ХЗТУ), що випускає на шасі автомобілів КраЗ установки підйомні автомобільні типу УПА-60, УПА-80ПХ, які здійснюють підйом і опускання колони з труб вагою 60 і 80 тон. Автомобіль для ремонту свердловин є самохідна машина, яка може пересуватися по всіх видах дорожнього покриття з максимальною швидкістю до 40 км/год, а також для освоєння поточного і капітального ремонту нафтових і газових свердловин і забезпечує проведення наступних операцій: переїзд від свердловини до свердловини; монтаж - демонтаж на свердловині; спуско-підйомні операції.

Основною проблемою автомобілів для РНГС, є складність конструкції трансмісії, а також втрата працездатності стрічкових гальм, які забезпечують регулювання швидкості спуску КТ, що входять до складу трансмісії.

Мета роботи. Підвищення працездатності автомобілів для РНГС, при застосуванні безступінчастої гідрооб'ємно–механічної трансмісії (ГОМТ), що працює за схемою «диференціал на вході».

Матеріали та методи. Аналіз механічної трансмісії мобільної установки УПА, показав, що установка має вісім швидкісних діапазонів передач при

виконанні транспортного режиму руху, і технологічного режиму роботи, які забезпечуються ступінчастою механічною трансмісією.

Пропонується внести зміни до штатної трансмісії установки, а саме замінити механічну коробку передач шасі автомобіля КрАЗ–63221–02, на безступінчастий ГОМТ який працює за схемою «диференціал на вході».

Результати та обговорення. Спроекована безступінчаста ГОМТ встановлюється замість штатної коробки передач автомобіля КрАЗ 63221–02.

Кінематична схема безступінчастої ГОМТ з диференціалом на вході (рис. 1) складається з двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) 13; гідрооб'ємної передачі, а саме: з регульованих гідронасоса 1 і гідромотора 2, об'ємом 160 см³ і 250 см³ виробництва фірм Rexroth або Sauer–Danfoss; планетарних механізмів 3, 5, 6; редукторів 7, 8, 9, 10; муфти перемикачання 4; вихідного валу (ВВ) 12. В запропонованій конструкції загальний потік потужності від двигуна на планетарному механізмі 3 розподіляється між двома паралельними гілками: гідравлічною – через водило, епіциклічну шестерню планетарного механізму 3 через редуктор 9 на вхідний вал гідронасоса 1 і далі до вихідного валу гідромотора 2 гідрооб'ємної передачі; механічною гілкою – через водило, сонячну шестерню планетарного механізму 3 на валу якої відбувається з'єднання обох потоків потужності, і далі через редуктор 8 та планетарні механізми 5, 6 на ВВ. ГОМТ з диференціалом на вході має по три швидкісні двохпотоківі безступінчасті діапазони передач, як в транспортному режимі руху так і при виконанні спуско–підйомної операції.

Для операції "спуск" переміщуємо муфту 4 та замикаємо вхідний вал гідронасосу 1 з шестернею редуктора 10, таким чином у гідрооб'ємній передачі насос стає мотором, а мотор – насосом, при цьому момент від ВВ потрапляє до редуктору 7 на гідравлічні складові, при цьому розкручення колінчастого валу ДВЗ у зворотний бік виключено за рахунок роботи планетарного механізму 3.

Для компоновки ГОМТ на шасі автомобіля КрАЗ в відведених габаритних розмірах, спроековано «3D – модель» безступінчастої ГОМТ з

диференціалом на вході (рис. 2) з урахуванням передавальних чисел трансмісії, модулів зубчастих зачеплень, робочих об'ємів гідромашин.

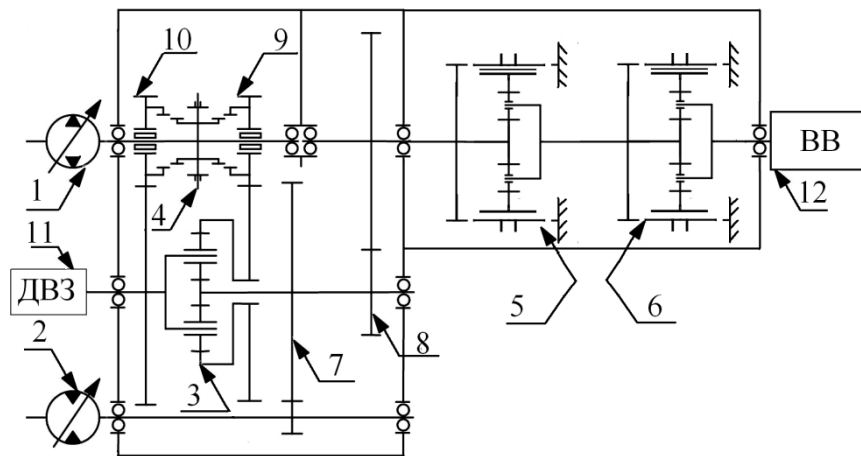


Рис. 1. Кінематична схема безступінчастої ГОМТ з диференціалом на вході

1 – регульований гідронасос; 2 – регульований гідромотор;

3, 5, 6 – планетарні механізми; 4 – муфта перемикання;

7, 8, 9, 10 – редуктори; 11 – ДВЗ; 12 – ВВ

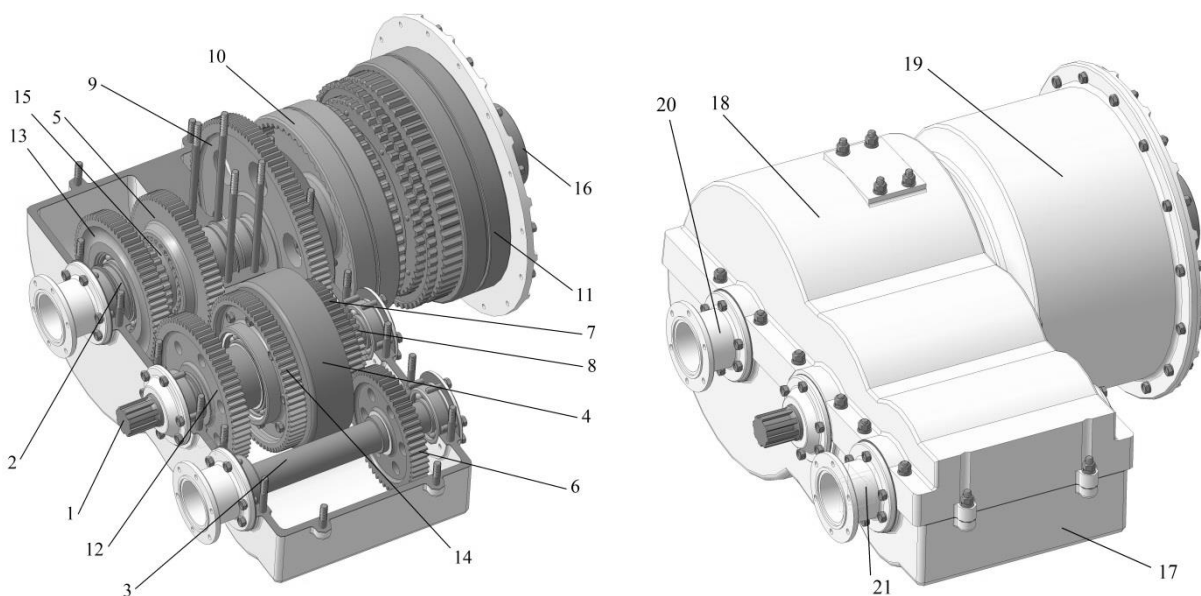


Рис. 2. «3D – модель» ГОМТ з диференціалом на вході:

1 – вхідний вал; 2 – вал гідронасоса; 3 – вал гідромотору;

4 – планетарний механізм; 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 14 – шестерні;

10, 11, 15 – муфти; 16 – вихідний вал, 17, 18, 19 – корпус; 20 – фланець

гідронасосу; 21 – фланець гідромотору

Аналізуючи безступінчасту схему ГОМТ з диференціалом на вході (рис. 3) складена її математична модель трансмісії автомобіля при транспортному режимі руху.

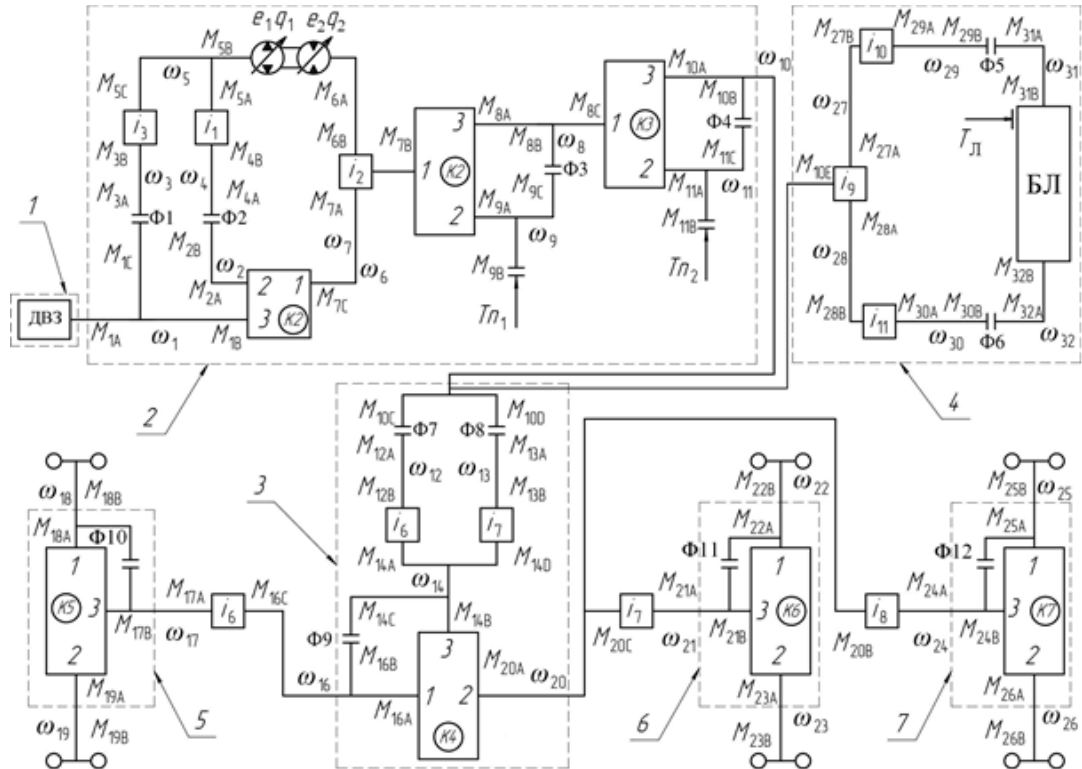


Рис. 3. Структурна схема ГОМТ з диференціалом на вході

- 1 – ДВЗ; 2 – ГОМТ; 3 – РК автомобіля КрАЗ; 4 – лебідка;**
5, 6, 7 – передній, центральний, задній ведучі мости автомобіля КрАЗ;
 ω_i – кутова швидкість ланки; k_f – планетарний механізм ($f=1\dots7$);
 q_1, q_2 – максимальна продуктивність гідромашин; i_j – передавальне відношення редуктора; M_i – моменти на вході і виході редукторів;
 T_{n1}, T_{n2} – параметр, що описує гальмо; Φ_n – параметр, що описує фрикціон ($n=1\dots12$)

Для визначення силових і кінематичних параметрів трансмісії створена програмна реалізація, яка розроблена в системі MATLAB за допомогою підсистеми моделювання процесів Simulink.

$$\left. \begin{aligned}
& \omega_7 - k_1 \cdot \omega_2 + (k_1 - 1) \cdot \omega_1 = 0; \\
& S_{1_1} \cdot \omega_7 - S_{1_1} \cdot \omega_1 - \omega_{S1} = 0; \\
& S_{1_1} = \frac{\omega}{\omega_7}; \\
& \omega_2 - \omega_4 = 0; \\
& \omega_4 \cdot i_1 - \omega_5 = 0; \\
& -e_1 \cdot q_1 \cdot \omega_5 - e_2 \cdot q_2 \cdot \omega_6 = (\lambda_1 + \lambda_2) \cdot \Delta P; \\
& \omega_6 \cdot i_2 - \omega_7 = 0; \\
& \omega_7 - k_2 \cdot \omega_9 + (k_2 - 1) \cdot \omega_8 = 0; \\
& S_{1_2} \cdot \omega_7 - S_{1_2} \cdot \omega_8 - \omega_{S2} = 0; \\
& S_{1_2} = \frac{\omega}{\omega_7}; \\
& \omega_9 = 0; \\
& \omega_8 - \omega_{11} = 0; \\
& \omega_{11} - \omega_{10} = 0; \\
& \omega_{10} - \omega_{12} = 0; \\
& \omega_{12} \cdot i_4 - \omega_{14} = 0;
\end{aligned} \right\} \begin{aligned}
& \omega_{16} - k_4 \cdot \omega_{14} + (k_4 - 1) \cdot \omega_{20} = 0; \\
& S_{1_4} \cdot \omega_{16} - S_{1_4} \cdot \omega_{20} - \omega_{S4} = 0; \\
& S_{1_4} = \frac{\omega}{\omega_{16}}; \\
& \omega_{16} \cdot i_6 - \omega_{17} = 0; \\
& \omega_{18} - k_5 \cdot \omega_{19} + (k_5 - 1) \cdot \omega_{17} = 0; \\
& S_{1_5} \cdot \omega_{18} - S_{1_5} \cdot \omega_{17} - \omega_{S5} = 0; \\
& S_{1_5} = \frac{\omega}{\omega_{18}}; \\
& \omega_{20} \cdot i_7 - \omega_{21} = 0; \\
& \omega_{22} - k_6 \cdot \omega_{23} + (k_6 - 1) \cdot \omega_{21} = 0; \\
& S_{1_6} \cdot \omega_{22} - S_{1_6} \cdot \omega_{21} - \omega_{S6} = 0; \\
& S_{1_6} = \frac{\omega}{\omega_{22}}; \\
& \omega_{20} \cdot i_8 - \omega_{24} = 0; \\
& \omega_{25} - k_7 \cdot \omega_{26} + (k_7 - 1) \cdot \omega_{24} = 0; \\
& S_{1_7} \cdot \omega_{25} - S_{1_7} \cdot \omega_{24} - \omega_{S7} = 0; \\
& S_{1_7} = \frac{\omega}{\omega_{25}},
\end{aligned} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned}
& M_{7C} \eta_{13}^{\Theta \text{sign}(M_{7C} \omega_7)} + M_{2A} \eta_{23}^{\Theta \text{sign}(M_{2A} \omega_2)} + M_{1B} = 0; \\
& M_{7C} k_1 \eta_{13}^{\Theta \text{sign}(M_{7C} \omega_7)} + M_{2A} \eta_{23}^{\Theta \text{sign}(M_{2A} \omega_2)} = 0; \\
& M_{2B} + M_{4A} = 0; \\
& M_{4B} \eta_{11}^{\Theta \text{sign}(M_{4B} \omega_4)} + i_1 M_{5A} = 0; \\
& M_{5B} - e_1 q_1 \Delta P = -\Delta M_1 \text{sign}(\omega_5); \\
& M_{6A} - e_2 q_2 \Delta P = -\Delta M_2 \text{sign}(\omega_6); \\
& M_{6B} \eta_2^{\Theta \text{sign}(M_{6B} \omega_4)} + i_2 M_{7A} = 0; \\
& M_{7B} \eta_{13}^{\Theta \text{sign}(M_{7B} \omega_7)} + M_{9A} \eta_{23}^{\Theta \text{sign}(M_{9A} \omega_9)} + M_{8A} = 0; \\
& M_{7B} k_2 \eta_{13}^{\Theta \text{sign}(M_{7B} \omega_7)} + M_{9A} \eta_{23}^{\Theta \text{sign}(M_{9A} \omega_9)} = 0; \\
& M_{9A} + M_{9C} + M_{9B} T_{n1} = 0; \\
& M_{8C} \eta_{13}^{\Theta \text{sign}(M_{8C} \omega_8)} + M_{11A} \eta_{23}^{\Theta \text{sign}(M_{11A} \omega_{11})} + M_{10A} = 0; \\
& M_{8C} k_3 \eta_{13}^{\Theta \text{sign}(M_{8C} \omega_8)} + M_{11A} \eta_{23}^{\Theta \text{sign}(M_{11A} \omega_{11})} = 0; \\
& M_{11C} + M_{8B} = 0; \\
& M_{10C} + M_{12B} = 0; \\
& M_{12B} \eta_4^{\Theta \text{sign}(M_{12B} \omega_{12})} + i_4 M_{14A} = 0; \\
& M_{16A} \eta_{13}^{\Theta \text{sign}(M_{16A} \omega_{16})} + M_{14A} \eta_{23}^{\Theta \text{sign}(M_{14A} \omega_{14})} + M_{20A} = 0; \\
& M_{16A} k_4 \eta_{13}^{\Theta \text{sign}(M_{16A} \omega_{16})} + M_{14A} \eta_{23}^{\Theta \text{sign}(M_{14A} \omega_{14})} = 0; \\
& M_{16C} \eta_6^{\Theta \text{sign}(M_{16C} \omega_{16})} + i_6 M_{17A} = 0; \\
& M_{18A} \eta_{13}^{\Theta \text{sign}(M_{18A} \omega_{18})} + M_{19A} \eta_{23}^{\Theta \text{sign}(M_{19A} \omega_{19})} + M_{17B} = 0; \\
& M_{18A} k_5 \eta_{13}^{\Theta \text{sign}(M_{18A} \omega_{18})} + M_{19A} \eta_{23}^{\Theta \text{sign}(M_{19A} \omega_{19})} = 0; \\
& M_{20C} \eta_7^{\Theta \text{sign}(M_{20C} \omega_{20})} + i_7 M_{21A} = 0; \\
& M_{22A} \eta_{13}^{\Theta \text{sign}(M_{22A} \omega_{22})} + M_{23A} \eta_{23}^{\Theta \text{sign}(M_{23A} \omega_{23})} + M_{21B} = 0; \\
& M_{22A} k_6 \eta_{13}^{\Theta \text{sign}(M_{22A} \omega_{22})} + M_{23A} \eta_{23}^{\Theta \text{sign}(M_{23A} \omega_{23})} = 0; \\
& M_{20B} \eta_8^{\Theta \text{sign}(M_{20B} \omega_{20})} + i_8 M_{24A} = 0; \\
& M_{25A} \eta_{13}^{\Theta \text{sign}(M_{25A} \omega_{25})} + M_{26A} \eta_{23}^{\Theta \text{sign}(M_{26A} \omega_{26})} + M_{24B} = 0; \\
& M_{25A} k_7 \eta_{13}^{\Theta \text{sign}(M_{25A} \omega_{25})} + M_{26A} \eta_{23}^{\Theta \text{sign}(M_{26A} \omega_{26})} = 0; \\
& M_{18B} + M_{19B} + M_{22B} + M_{23B} + M_{25B} + M_{26B} = G_{3a2} \cdot f \cdot r;
\end{aligned} \right\} \begin{aligned}
& M_{1A} + M_{1B} = 0; \\
& M_{2A} + M_{2B} = 0; \\
& M_{4A} + M_{4B} = 0; \\
& M_{5A} + M_{5B} = 0; \\
& M_{6A} + M_{6B} = 0; \\
& M_{7A} + M_{7B} + M_{7C} = 0; \\
& M_{8A} + M_{8B} + M_{8C} = 0; \\
& M_{10A} + M_{10B} = 0; \\
& M_{11A} + M_{11B} = 0; \\
& M_{12A} + M_{12B} = 0; \\
& M_{13A} + M_{13B} = 0; \\
& M_{14A} + M_{14B} = 0; \\
& M_{16A} + M_{16B} = 0; \\
& M_{17A} + M_{17B} = 0; \\
& M_{18A} + M_{18B} = 0; \\
& M_{19A} + M_{19B} = 0; \\
& M_{20A} + M_{20B} + M_{20C} = 0; \\
& M_{21A} + M_{21B} = 0; \\
& M_{22A} + M_{22B} = 0; \\
& M_{23A} + M_{23B} = 0; \\
& M_{24A} + M_{24B} = 0; \\
& M_{25A} + M_{25B} = 0; \\
& M_{26A} + M_{26B} = 0; \\
& M_{18B} = M_{19B}; \quad M_{22B} = M_{23B}; \\
& M_{25B} = M_{26B}; \\
& M_{18B} + M_{19B} = 0, 24 \cdot G_{3a2} \cdot f \cdot r; \\
& M_{22B} + M_{23B} = 0, 38 \cdot G_{3a2} \cdot f \cdot r; \\
& M_{25B} + M_{26B} = 0, 38 \cdot G_{3a2} \cdot f \cdot r,
\end{aligned} \quad (2)$$

Під час подолання підйому автомобіля в транспортному режимі руху на кут 30° (коефіцієнт опору руху дорівнює 0,65) параметри роботи трансмісії змінюються таким чином: параметр регулювання гідронасоса (e_1) на початку руху дорівнює 0 і збільшується в ході руху до 1, а параметр регулювання гідромотора в цей час залишається незмінним. Параметр регулювання гідромотора змінюється після того, як гідронасос дорівнюватиме 1, після чого гідромотор змінюється з 1 до 0,8, при цьому гідронасос залишається рівний 1. В результаті підйому автомобіля на кут в 30° максимальна швидкість складає 3,06 км/год, при цьому потужність двигуна дорівнює 200 кВт. При швидкості 3,06 км/год ККД трансмісії дорівнює 0,81.

Під час руху автомобіля на сухому піску в транспортному режимі руху (коефіцієнт опору руху дорівнює 0,25) параметри роботи трансмісії змінюються таким чином: у коробці передач відключається планетарний механізм з $k=2,5$. При цьому параметр регулювання гідронасоса (e_1) на початку руху дорівнює 0 і збільшується в ході руху до 0,86, а параметр регулювання гідромотора в цей час залишається незмінним рівний 1. Максимальна швидкість руху автомобіля на ґрунті складає 8,08 км/год, при цьому потужність двигуна дорівнює 200 кВт. При швидкості 8,08 км/год ККД трансмісії дорівнює 0,83.

Під час руху автомобіля на ґрунтовій дорозі в транспортному режимі руху (коефіцієнт опору руху дорівнює 0,05) параметри роботи трансмісії змінюються наступним чином: у коробці передач відключаються два планетарні механізми з $k=2,5$ і $k=3$. При цьому параметр регулювання гідронасоса (e_1) на початку руху дорівнює 0 і збільшується в ході руху до 1, а параметр регулювання гідромотора в цей час залишається незмінним дорівнює 1. Параметр регулювання гідромотора змінюється після того як гідронасос буде дорівнює 1, після чого гідромотор змінюється з 1 до 0,845, при цьому гідронасос дорівнює 1. Максимальна швидкість руху автомобіля на асфальтобетоні становить 41,36 км/год, при цьому потужність двигуна дорівнює 200 кВт, ККД трансмісії дорівнює 0,85.

Результати моделювання безступінчастої ГОМТ при транспортному режимі руху автомобіля зображена на (рис. 4).

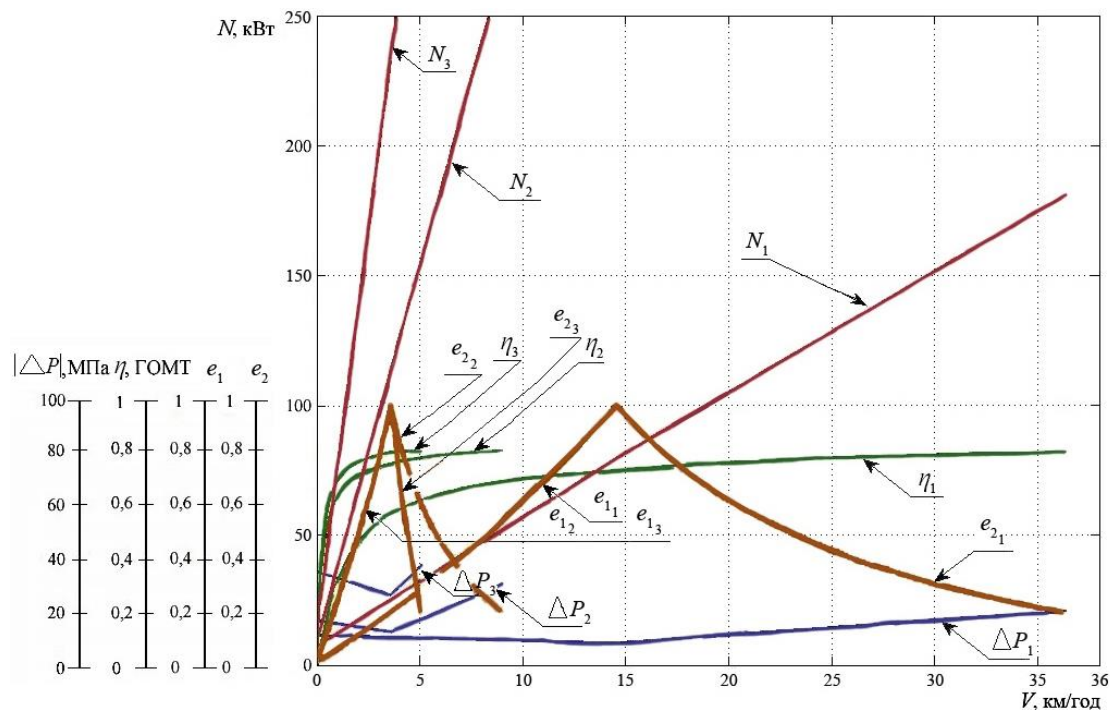


Рис. 4. Кінематичні і силові параметрів ГОМТ з диференціалом на вході при транспортному режимі руху автомобіля

**1 – коефіцієнт опору руху 0,05; 2 – коефіцієнт опору руху 0,25;
 3 – коефіцієнт опору руху 0,65; N – потужність двигуна; ΔP – тиск гідросистеми; η – ККД; e_1, e_2 – параметр регулювання гідромашин;
 V – швидкість**

Висновки. Запропонована, як більш перспективна, кінематична схема безступінчастої ГОМТ, яка працює за схемою диференціал на вході, для автомобіля, що виконує ремонтні операції на нафтогазових свердловинах. Спроектовано «3D – модель» ГОМТ з диференціалом на вході, для компоновки ГОМТ на шасі автомобіля КрАЗ. Розроблена математична модель дозволила визначити основні кінематичні і силові параметри трансмісії, при транспортному режимі руху автомобіля для ремонту РНГС, при різних коефіцієнт опору руху.