

**МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА**

**МР.АТ - 70.00.00.000 ПЗ**

**Група АТм – 24-1**

**Костенюк Іван**

**2025**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
Міністерство освіти і науки України  
Інститут інженерної механіки та робототехніки  
Кафедра автомобільного транспорту

Костенюк Іван Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 653.13.07

(індекс)

## МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Тема: «Оптимізація параметрів управління переключення передач нафтогазового технологічного транспорту з гідромеханічною трансмісією»

(назва роботи)

Автомобільний транспорт

(назва освітньої програми)

274-Автомобільний транспорт

(шифр і назва спеціальності)

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Криштопа Святослав Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

**Допущено до захисту**

Завідувач кафедри

Криштопа С.І.

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Інститут інженерної механіки  
Кафедра автомобільного транспорту  
Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр  
Спеціальність: „Автомобільний транспорт”

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завкафедрою АТ

\_\_\_\_\_ С.І. Криштопа  
„\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2025 р.

## ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

Магістр \_\_\_\_\_ Костенюк Іван Сергійович  
(прізвище, ім'я, по-батькові)

- Тема проекту:** «Оптимізація параметрів управління переключення передач нафтогазового технологічного транспорту з гідромеханічною трансмісією»  
затверджена наказом по університету від \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_
- Термін здачі студентом закінченого проекту (роботи) 21.12.2025 р.
- Вихідні дані до проекту «Оптимізація параметрів управління переключення передач нафтогазового технологічного транспорту з гідромеханічною трансмісією»:
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)  
Вступ. 1. АНАЛІЗ РОБОТИ ГІДРОМЕХАНІЧНОЇ ТРАНСМІСІЇ НАФТОГАЗОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТРАНСПОРТУ. 2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ БЕЗРОЗРИВНОГО ПЕРЕМИКАННЯ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ НАФТОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ. 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕМИКАННЯ ПЕРЕДАЧ НА ІМІТАЦІЙНІЙ МОДЕЛІ. 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМИКАННЯ ПЕРЕДАЧ ГМТ. 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ НА ПАТ. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.
- Перелік аркушів презентаційного графічного матеріалу:
  - Тема МР
  - 3 Існуючі системи управління гідромеханічних коробок передач НГТТ
  - 4 Організація перемикання передач існуючих ГМ КП
  - 5 Моделювання ГМ КП.
  - 6 Організація процесу перемикання передач
  - 7 Імітаційна модель переключення передач нафтогазової установки
  - 8 Зміна швидкості нафтогазової установки залежно від передачі
  - 9 Оптимізація перемикання передач
  - 10-13 Результати моделювання перемикання передач
  - 14 Загальний вигляд кп нафтогазової установки на шасі МЗКТ-7413
  - 15-17 Експериментальні дослідження
  - 18-20 Результати експериментальних досліджень
  - 21 Висновки

Керівник \_\_\_\_\_ /С. Криштопа/  
Особистий підпис Розшифровка підпису

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_  
Особистий підпис Розшифровка підпису



## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи на тему: «Оптимізація параметрів управління переключення передач нафтогазового технологічного транспорту з гідромеханічною трансмісією» складається із 99 аркушів формату А4, на яких містяться 5 розділів, 11 таблиць, 29 рисунків.

У магістерській роботі на підставі результатів моделювання основних параметрів процесу перемикавання передач встановлено, що перемикавання передач за рахунок управління тиском в гідропідтискних фрикційних муфтах НГТТ, може супроводжуватися короткочасною негативною дією циркуляції потужності та виникненням динамічних навантажень на елементи трансмісії залежно від відносної швидкості ковзання фрикційних дисків муфт.

На підставі результатів моделювання основних параметрів процесу перемикавання передач НГТТ на шасі МЗКТ-7413 встановлено, що раціональні значення інтенсивності зміни тиску в бустері фрикційної муфти, яка включається, залежно від навантаження на причіпному пристрої лежатимуть на лінії перетину побудованих у відносних одиницях поверхонь роботи буксування фрикційної муфти, яка включається, та максимального прискорення НГТТ під час перемикавання на вищу передачу.

Експериментальні дослідження НГТТ на шасі МЗКТ-7413 показали, що відсутність перекриття передач за наявності підготовчого етапу для ФМ, яка включається, не зумовлює погіршення роботи муфт. При подачі команди на миттєве скидання тиску до нуля в муфті, що виключається, час перекриття для «передачі» моменту від муфти, що вимикається, до тієї, що включається становить 0,1-0,2 с.

**Ключові слова:** нафтогазовий технологічний транспорт, гідромеханічна трансмісія, фрикційна муфта, температура робочої рідини, динамічні навантаження.

## THE ABSTRACT

Explanatory note to the master's thesis on the topic: "Optimization of gear shifting control parameters of oil and gas technological transport with hydromechanical transmission" consists of 99 sheets of A4 format, which contain 5 sections, 11 tables, 29 figures.

In the master's thesis, based on the results of modeling the main parameters of the gear shifting process, it was established that gear shifting by controlling the pressure in the hydraulically pressurized friction clutches of the NGTT may be accompanied by a short-term negative effect of power circulation and the occurrence of dynamic loads on the transmission elements depending on the relative sliding speed of the clutch friction discs.

Based on the results of modeling the main parameters of the gear shifting process of the NGTT on the MZKT-7413 chassis, it was established that the rational values of the intensity of the pressure change in the booster of the friction clutch that is being engaged, depending on the load on the towing device, will lie on the line of intersection of the surfaces of the slippage of the friction clutch that is being engaged and the maximum acceleration of the NGTT during shifting to a higher gear, constructed in relative units.

Experimental studies of the NGTT on the MZKT-7413 chassis have shown that the absence of gear overlap in the presence of a preparatory stage for the FM that is being engaged does not lead to a deterioration in the operation of the clutches. When a command is given to instantly release the pressure to zero in the disengaged clutch, the overlap time for the "transfer" of torque from the disengaged clutch to the engaged one is 0.1-0.2 s.

Keywords: oil and gas technological transport, hydromechanical transmission, friction clutch, working fluid temperature, dynamic loads.

## ЗМІСТ

с.

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ РОБОТИ ГІДРОМЕХАНІЧНОЇ ТРАНСМІСІЇ НАФТОГАЗОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТРАНСПОРТУ .....	7
2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ БЕЗРОЗРИВНОГО ПЕРЕМИКАННЯ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ НАФТОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ .....	25
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕМИКАННЯ ПЕРЕДАЧ НА ІМІТАЦІЙНІЙ МОДЕЛІ .....	39
4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМИКАННЯ ПЕРЕДАЧ ГМТ .....	57
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ НА ПАТ.....	71
ВИСНОВКИ.....	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	84
ДОДАТКИ. ПРЕЗЕНТАЦІЯ.....	86

					MP.AT-70.00.00.000 ПЗ			
Змін	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Оптимізація параметрів управління переключення пере- дач нафтогазового технологічного транспорту з гідромеханічною трансмісією	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Костенюк І.				5	99	
Перевір.		Криштопа С.І.						
Реценз.								
Н. контр.		Прунько І.Б.				ІФНТУНГ, АТм-24-1		
Затверд.		Криштопа С.І.						

## ВСТУП

Не дивлячись на серійне виробництво безступневих трансмісій, в світовому виробництві технологічного транспорту зберігається практична необхідність застосування механічних ступневих коробок передач (КП) з шестернями постійного зачеплення та використанням гідروпідтискних фрикційних муфт (ФМ). Як правило, в них перемикання передач відбувається без розриву потоку потужності за рахунок відповідного управління тиском в бустерах ФМ, які паралельно виключаються та включається.

Одною з найбільш поширених коробок передач вважають Powershift або спрощені преселектронні (зокрема роботизовані). Залежно від кінематики в КП типу Powershift перемикання передач можуть відбуватися без розриву потоку потужності як усередині діапазонів, так і між діапазонами. Як правило, особливість управління такими КП вимагає наявності двохпарного перемикання (Full Powershift), тобто одночасного перемикання як діапазонів, так і швидкостей. В той же час роботу системи управління КП можна збудувати так, щоб двохпарне перемикання послідовно відбувалось в дві стадії: спочатку проводилося однопарне перемикання між діапазонами, а потім - однопарне перемикання між передачами. Такий алгоритм управління дозволяє відносно просто забезпечити роботу двох фрикційних муфт: що вимикається і вмикаються (однопарне перемикання).

Тягові машини в порівнянні з транспортними працюють з широким діапазоном навантажень і агрегатовані зі знаряддями не допускають перемикань передач з розривом потоку потужності, тобто неможливий рух за інерцією, як у автомобілів. Тому потрібні спеціальні заходи, здатні зменшити, наприклад, час процесу перемикання передач за якого не передається силовий потік. Суть питання зводиться до застосування систем управління, що коректують тиск в бустерах ФМ на основі даних про частоти обертання валів КП. Причому як параметри перемикання, на які необхідно орієнтуватися при корекції тиску, вибираються плавність перемикання і робота буксування фрикційної муфти.

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



тільки тиск в тій ФМ, що включається, перевищить тиск, створований гідроаккумулятором, то він від'єднується від цієї ФМ, яка вимикається і з'єднується з магістраллю включається.

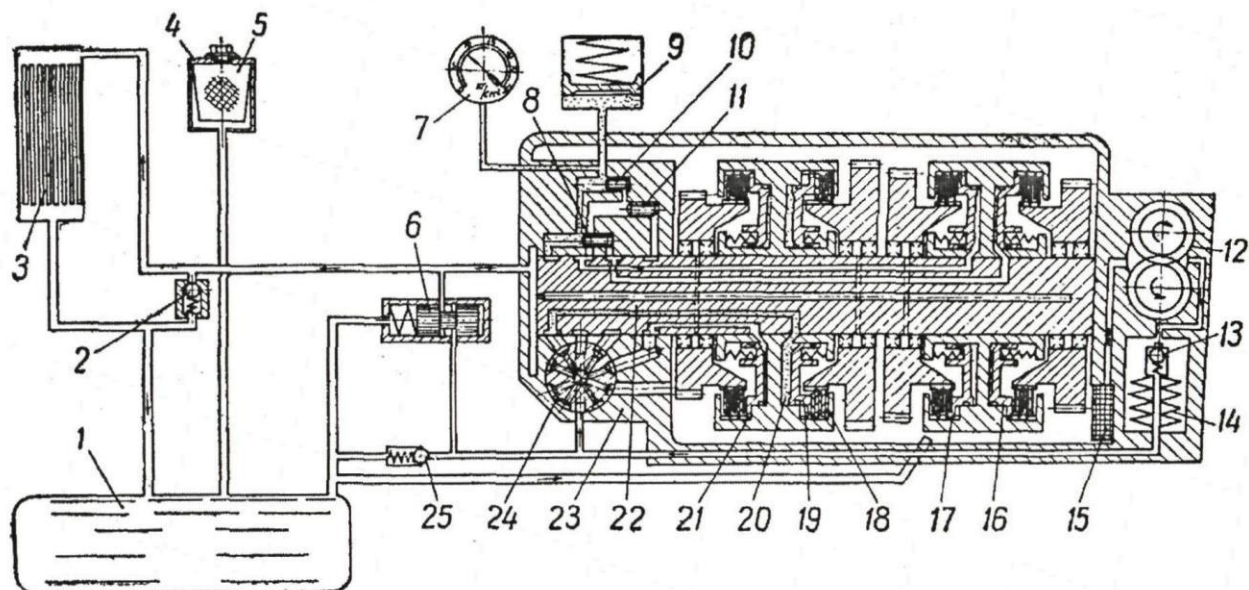


Рисунок 1.1. Схема гідравлічної системи КП шасі МЗКТ-7413 [1]:

1 - бак; 2 - запобіжний клапан радіатора; 3 - радіатор; 4 - заливна горловина; 5 - сітчастий фільтр; 6 - перепусчний розподільник; 7 - манометр; 8, 10, 11 - перепусчні клапани; 9 - гідроаккумулятор; 12 - насос; 13 – запобіжний клапан фільтру, 14 - фільтр лінії нагнітання; 15 - фільтр насосу; 16, 17, 20, 21 - гідропідтискні муфти; 18 - набір дисків; 19 - поршень гідропідтискної муфти; 22 - вторинний вал КП; 23 - розподільник; 24 - золотник розподільника; 25 - запобіжний клапан.

Аналогічні схеми застосовуються на нафтогазових установках К-700, К-701. Серйозним недоліком даної схеми є неможливість коректувати характер зміни тиску в бустерах обох фрикційних муфт залежно від навантаження на гаку, що може викликати такі небажані явища, як динамічні навантаження на елементи трансмісії та незадовільна плавність перемикання під час роботи з різними знаряддями.

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У зв'язку з появою електронно-логічних пристроїв та пропорційних електромагнітних клапанів з'явилася можливість в значній мірі автоматизувати процес перемикання передач.

На нафтогазових установках John Deere 7720 застосовується КП типу PowrQuad-Plus, яка має двадцять передач переднього ходу та двадцять передач заднього [2]. Конструкція цієї коробки включає чотирьох швидкісний планетарний модуль та п'яти швидкісний синхронізований діапазонний модуль. КП PowrQuad-Plus дозволяє перемикатися під навантаженням без розриву потоку потужності усередині діапазонів. У гідравлічній схемі цієї КП (рис. 1.2) для управління чотирма фрикційними елементами (R, Q, N, O) використовуються три трьох позиційні клапани (K, I, F), перемикання між позиціями кожного з клапанів здійснюються за рахунок зміни тиску управління від відповідного пропорційного електрогідравлічного клапана (J, H G).

На нафтогазових установках Massey Ferguson серій 6400 з коробкою передач Дуна-6 перемикання без розриву потоку потужності можливі між шістьма передачами в чотирьох діапазонах на передньому та задньому ходах. Ця КП складається з чотирьох модулів: синхронізований модуль діапазонів; редукційний модуль (планетарна КП з двома ступенями свободи - включення передач здійснюється замиканням фрикційної муфти або гальма); модуль реверсу (двох вальна КП з фрикційними муфтами переднього і заднього ходів); модуль перемикання передач під навантаженням (планетарна КП з трьома ступенями свободи - включення передач здійснюється попарним замиканням різних комбінацій фрикційних муфт і гальм). До особливості гідравлічної схеми системи управління такої коробки передач (рис. 1.3) відносять те, що ФМ управляються механічно, включаючись тарілчастими пружинами та вимикаючись тиском в бустері гальма, розміщеного в тому ж модулі, а керування гальмами здійснюються пропорційними електрогідравлічними клапанами 5. Часто на нафтогазових установках використовуються трансмісії, які складаються з основної та діапазонної частин зі встановленими в них ФМ [3]. У таких КП для того, щоб включити яку-небудь передачу, необхідно замкнути відразу дві муфти:

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



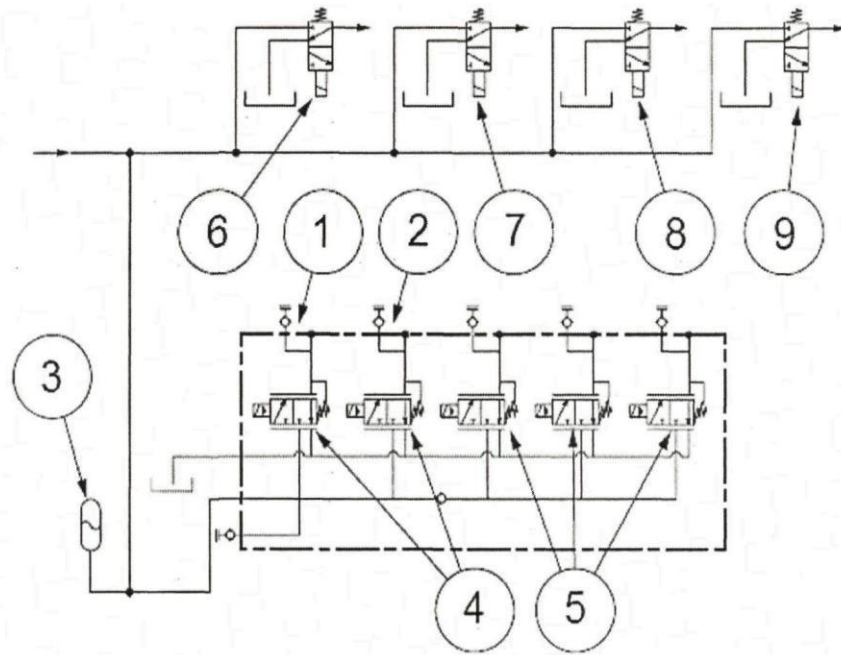


Рисунок 1.3. Гідравлічна схема системи управління КП нафтогазової установки Massey Ferguson серії 6400 [2]:

1 - ФМ переднього ходу; 2 - ФМ заднього ходу; 3 - гідроаккумулятор; 4 - пропорційні клапани муфт переднього та заднього ходів; 5 - пропорційні клапани включення модуля перемикачів під навантаженням та гальм редукційного модуля; 6,7,8,9 - дискретні клапани включення синхронізаторів модуля діапазонів

Механічна КП з трьома валами забезпечує перемикач без розриву потоку потужності на шістнадцяти передачах переднього ходу (чотири діапазони по чотири передачі в кожному) та чотирьох передачах заднього ходу. На рис. 1.4 представлена схема її гідравлічної системи, на якій для прикладу показані одна муфта діапазонів та муфта передач, для всіх інших ФМ коробки передач - схема буде аналогічною.

Перед бустером кожній фрикційної муфти встановлений свій двокаскадний пропорційний електрогідравлічний клапан (С, D на рис. 1.4). Перед кожним клапаном встановлено пружинний гідроаккумулятор (AA, AR). Ці клапани дозволяють керувати тиском в бустері кожної ФМ залежно від електричних сигналів, що подаються на них. Ці сигнали формуються електронним логічним пристроєм (контролером трансмісії).

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При цьому рух нафтогазової установки здійснюється за рахунок замикання муфти передач і управління тиском в бустері муфти діапазонів педаллю плавного рушення 11. Ця схема технічно дозволяє спростити організацію перемикування передач. Аналогічна схема застосовується на нафтогазових установках John Deere серії 8000, Challenger серій MT700C і MT800C, New Holland серії T8000, Challenger Terra Gator 3244.

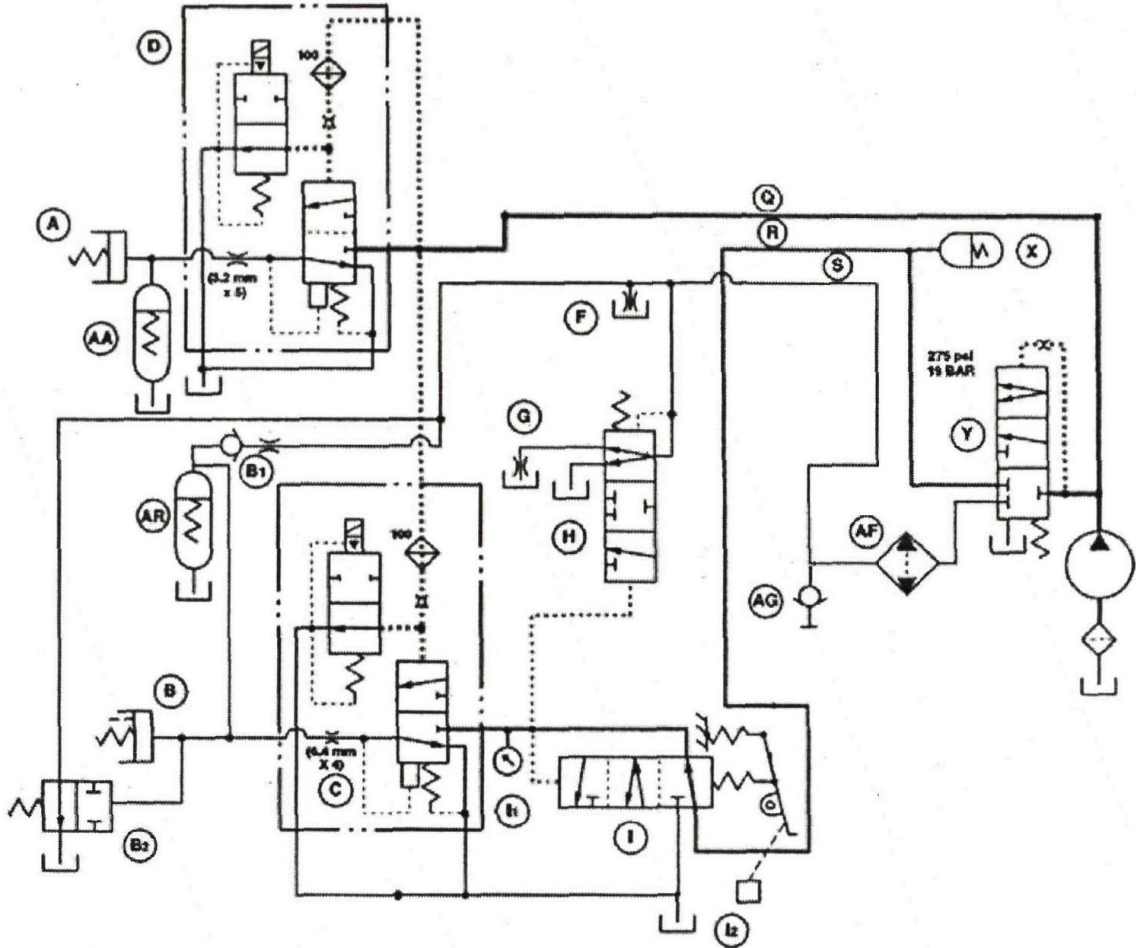


Рисунок 1.4. Гідравлічна схема системи управління КП нафтогазової установки John Deere 8520T [2]:

A - фрикційна муфта передач; B - фрикційна муфта діапазонів; B1 - зворотний клапан; C - пропорційний клапан муфти діапазонів; D - пропорційний клапан муфт передач; G - олива для вхідного і проміжного валів; F - олива вихідного валу; H - відсічної клапан оливи вхідного валу; I - клапан педалі плавного рушення; 11 - давач тиску муфти зчеплення; 12 - педаль плавного рушення; J - сітчастий фільтр; Q - система 1 ФМ передач; R - система 2 ФМ

					Арк.	
					MP.AT-70.00.00.000 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
					12	

діапазонів; X - пружинний гідроаккумулятор перемикачів передач; Н - запобіжний клапан; АА - пружинний гідроаккумулятор муфт передач; АF - охолоджувач; АG - контрольна точка тиску оливи; АR - гідроаккумулятор муфт діапазонів

Згідно проведеного аналізу гідравлічних схем систем управління можна зробити висновок, що найгнучкішою є система із застосуванням пропорційних клапанів, коли тиск в кожній муфті регулюється за допомогою подачі управляючих сигналів на відповідний пропорційний клапан. З метою отримання раціональних параметрів плавності перемикачів і роботи буксування муфт така система вимагає детальнішого вивчення перехідних процесів, що протікають в ході перемикачів, а також чіткої алгоритмізації її роботи.

## **1.2. Аналіз варіантів організації однопарних перемикачів передач нафтогазового технологічного транспорту**

Існує два основні параметри, які визначають процес перемикачів: буксування ФМ та плавність перемикачів, що визначається зміною прискорення МТА і величиною його максимального значення. Прискорення МТА залежить від надмірного моменту, що передається муфтою по відношенню до моменту, необхідного для подолання моменту інерції МТА та моменту опору, приведенного до муфти.

Момент, який передає буксуюча муфта, залежить від тиску оливи в її бустері. Тоді необхідної плавності перемикачів можна добитися, управляючи тиском в муфтах, що включаються і вимикаються. Так на перемикачів до вищих передач за буксування вимикається низький тиск в тій ФМ, що включається.

Це може привести до уповільнення МТА, тоді як дуже високий тиск - до жорсткого ривка та динамічних навантажень на елементи трансмісії. Загалом плавність в значній мірі залежить від тривалості процесу перемикачів. Тому важливо знайти

					<b>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

«золоту середину» між плавністю перемикання передач та роботою буксування ФМ.

Один з перших способів організації однопарних перемикачів передач детально описаний в роботах В.П. Тарасика, В.Ф. Бялоцкого, Н.А. Щельцина, К.Я. Львівського. Безперервність перемикачів досягалася за рахунок одночасної роботи фрикційних муфт, які одночасно включаються та вимикаються з навмисним перекриттям передач, коли ФМ одночасно передають моменти на вторинний вал КП. Така робота ФМ спочатку забезпечувалася використанням різних гідравлічних пристроїв (рис. 1.1) [1]. Впродовж тривалого часу дана схема організації перемикачів була найчастіше вживаною у вітчизняному та зарубіжному тракторобудуванні, не дивлячись на всі її недоліки (надмірне буксування ФМ, незадовільна плавність перемикачів під час роботи з різними знаряддями). У зв'язку з появою електрогідравлічних пропорційних клапанів і автоматичних систем управління стало можливим реалізувати інші способи [4, 5, 6].

За останні роки велике число робіт присвячене дослідженню однопарних перемикачів в КП транспортних машин і легкових автомобілів, зокрема роботи Ф.Ф. Курочкина, О.І. Гируцкого, А.С. Хомічева, С.В. Абдулова, І.А. Фісенко, А.А. Надь, Ю.І. Чередніченко та інших авторів. Порівнюючи тягові машини з транспортними можна зробити висновок, що перші працюють з широким діапазоном навантажень та агреговані зі знаряддями не допускають перемикачів передач з розривом потоку потужності. Тому застосовані у транспортних машинах механізми переключення, не цілком підходять для нафтогазового технологічного транспорту та вимагають значної доробки.

Більшість досліджень по перемикачів передач на нафтогазових установках була проведена ще в період 2000-2010 років [3, 6]. У подальші роки кількість досліджень з даного питання значно скоротилася. Останніми роботами по однопарних перемикачів передач на нафтогазових установках, є роботи В.М. Шаріпова, М.И. Дмитрієва, Д.Г. Никулова.

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зокрема робота Д.Г. Никулова [7] присвячена структурі автоматики перемикачів передач на прикладі мобільної нафтогазової установки ВТ-130. Встановлено, що для автоматизації перемикачів робота системи автоматичного перемикачів передач (САПП) повинна ґрунтуватися на трьох вхідних параметрах: положення педалі подачі палива, швидкість та прискорення машини. Автор надає велику увагу алгоритму САПП по управлінню двигуном під час автоматичного перемикачів з міркувань паливної економічності та оптимального використання тягово-швидкісних можливостей нафтогазової установки. В цій роботі мало розглядається питання про способи вибору та розрахунку характеристик законів зміни тиску в ФМ.

У роботі М. І. Дмитрієва [8] описується методика розрахунку параметрів буксування ФМ за різного ступеня перекриття передач. Проте сучасний рівень розвитку техніки дозволяє відмовитись від схеми з навмисним перекриттям передач. Автор представив математичну модель розгону та перемикачів передач з нижчої на вищу, але не розглядаються перемикачів в зворотному напрямі. Також для цієї моделі характерне допущення про роботу двигуна під час етапу перекриття тільки на регуляторній гілці його зовнішньої швидкісної характеристики, коли частота обертання колінвалу на даному етапі не змінюється. Загалом математична модель двигуна схемна та не відображає повною мірою реальної характеристики двигуна.

З аналізу розглянутих моделей можна стверджувати, що у них не враховується вплив потужності, яка витрачається на паразитне буксування ФМ, на зміну швидкості колінчастого валу двигуна. Відсутність обліку зміни швидкості колінвалу зумовлює отримання некоректних результатів моделювання, особливо під час перемикачів передач на транспортному діапазоні за умови руху нафтогазової установки з причепом. Розглянемо однопарні перемикачів передач в трансмісіях, які мають не менше двох фрикційних муфт, тиск в яких регулюється контролером трансмісії за допомогою пропорційних електрогідравлічних клапанів, і оснащених сенсорами тиску і сенсорами обертів первинного та вторинного валів КП.

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дані з сенсорів поступають безпосередньо в контролер трансмісії, де здійснюється їх обробка і зберігання. Такі трансмісії, як правило, працюють разом з двигуном оснащеним електронним управлінням.

З огляду сучасної технічної інформації за цією темою можна виділити три основні способи організації процесу перемикаць по зв'язку контролера трансмісії з сенсорами коробки передач: 1) без зворотного зв'язку з сенсорами; 2) зі зворотним зв'язком тільки з сенсорами обертів валів КП; 3) зі зворотним зв'язком з сенсорами тиску у ФМ і сенсорами обертів. Для муфти, що включається, характерна наявність підготовчого етапу, на якому відбувається заповнення бустера ФМ.

Цей етап характеризується постійною подачею невеликого тиску, достатнього для подолання її поршнем зусилля віджимання з боку пружин і заповнення перед поршневої порожнини оливою. При цьому в муфту, яка вимикається, продовжує подаватися повний тиск, що забезпечує запас обертового моменту по відношенню до моменту опору.

В цілому наявність підготовчого етапу не є обов'язковою складовою процесу перемикаць передач, оскільки заповнення бустера ФМ, яка включається, може здійснюватися на етапі перекриття моментів від тієї, що вимикається [6, 9]. Також тривалість підготовчого етапу можна значно скоротити, якщо імпульсно на нетривалий час подати повний тиск в ту ФМ, що включається [10]. Проте це може привести до одночасного включення обох ФМ, динамічним навантаженням на елементи трансмісії та циркуляції потужності в контурі КП .

Важливо відзначити, що, як правило, провідні виробники тракторної техніки не публікують дані про особливості управління процесом перемикаць передач. Тому поточний огляд проводився в основному по зарубіжних патентах і на представлених рисунках зображена суть методів, висловлених в даних патентах [11, 12].

Існує безліч методів отримання відомостей про навантаження на трактор шляхом визначення навантаження на двигуні. Наприклад один з них заснований на моніторингу роботи турбокомпресора. Збільшення

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

кількості вихлопних газів приводить до збільшення кількості повітря, всмоктуваного турбокомпресором, що забезпечує підвищення тиску в впускному колекторі двигуна. Це приводить до збільшення моменту на колінчастому валу двигуна. Таким чином, момент опору, приведений до колінвала, може бути оцінений за даними про тиск у впускному колекторі двигуна.

У іншому випадку момент опору можна визначити на основі порівняння частоти обертання колінвала двигуна з сенсора обертів первинного валу зі встановленої важелем подачі палива оператором, положення якого також контролюється сенсором.

За відомого моменту опору можлива організація перемикачів передач тільки за рахунок однієї фрикційної муфти. Проте трактори працюють із знаряддями та причепами, значно відмінними між собою за масою і, як наслідок, мають різні інерційні параметри. Тому з метою отримання плавності на перемикачях передач вгору для нафтогазового технологічного транспорту характерним є поступове збільшення тиску в тій ФМ, що включається, на етапі зміни швидкості МТА.

За відомого навантаженні на гаку перемикачів на вищу передачу доцільно здійснювати як відображено на рис. 1.5. а, де розгін МТА здійснюється тільки за рахунок муфти, що включається. Перемикачів на нижчу передачу - по рис. 1.5. б з уповільненням за рахунок муфти, що вимикається [3]. Відомий момент опору дозволяє визначити початкові значення тиску, необхідні для забезпечення портівної тяги із швидкістю передачі, яка вимикається.

Знаючи момент опору, бажану потужність буксування муфти, що включається, або бажане прискорення МТА. можна сформулювати характер подальшої зміни тиску в муфті, що включається. Перемикачів на нижчу передачу відповідно до рис. 1.6. б ефективніше застосовувати при роботах зі знаряддями, а при русі з причепом - організацію процесу перемикачів краще здійснювати за аналогією з рис. 1.6, а з поступовим збільшенням тиску в муфті, яка включається. Дані про навантаження на гаку дозволяють організувати перемикачів з необхідною плавністю при допустимому

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пробуксовувані ФМ. Але потрібно зауважити, що такі методи визначення моменту опору мають загальні недоліки. Зокрема за умови роботи нафтогазової установки з валом відбору потужності (ВОМ) дані про реальний момент опору можуть бути спотворені. Це пов'язано з тим, що на двигун діятимуть одночасно навантаження на ВОМ та навантаження на гаку, причому остання може бути значно меншим першої. Також для визначення навантаження на гаку необхідний зв'язок контролера двигуна з контролером трансмісії або додаткова установка сенсора положення важеля подачі палива.

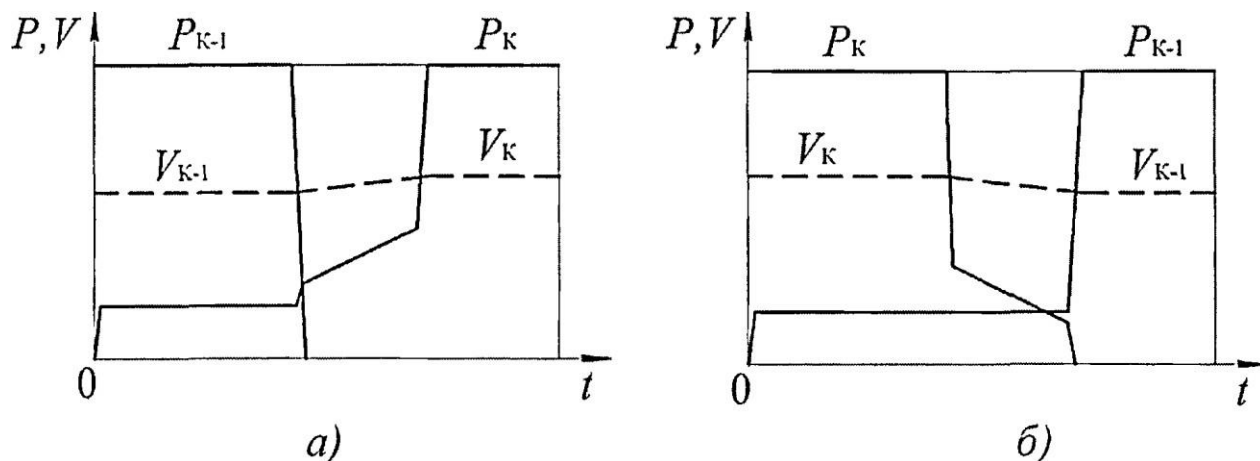


Рисунок 1.5. Організація процесу перемикання передач за відомого моменту опору: а) з нижчої на вищу; б) з вищої на нижчу

У тих випадках, коли немає можливості визначити момент опору по описаних вище варіантах, для отримання допустимої плавності весь діапазон навантажень нафтогазової установки можна розбити на піддіапазони. Таке розділення доцільно проводити у відсотках від максимального моменту двигуна (наприклад 0-40% - низьке навантаження; 40-70% - середнє навантаження; 70- 100 % - високе навантаження). Залежно від навантаження на причіпному пристрої оператор вибирає один з трьох режимів роботи, кожний з яких відповідає своєму піддіапазону. Кожному перемиканню відповідають три закони зміни тиску, який зберігається в пам'яті контролера трансмісії.

У цьому випадку за рахунок роботи ФМ незалежно від навантаження з піддіапазону забезпечити плавність одним законом. Під час перемикання передач тиск в муфті, що включається, поступово збільшується, а тій, що

					<b>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

вимикається - зменшується (рис. 1.6). У разі роботи нафтогазової установки за мінімального навантаження з піддіапазону при перемиканні на вищу передачу відповідно до рис 1.6 надмірна частина моменту, що передається на вторинний вал КП муфтою, яка включається, в порівнянні з моментом, необхідним для подолання моменту опору руху, відводиться через муфту, яка виключається, на первинний вал.

При цьому виникає циркуляція потужності, яка продовжуватиметься до тих пір, поки муфта нижчої передачі не буде повністю вимкнена. Працюючи з максимальним навантаженням моменти від обох муфт передаються вторинному валу, забезпечуючи рух МТА із швидкістю передачі, що вимикається, і до часу скидання тиску в муфті, яка вимикається. Одночасно та ФМ, яка включається повинна бути здатна одна передавати момент опору і забезпечувати подальше прискорення МТА. Даний спосіб дозволяє забезпечити плавність перемикання без врахування моменту опору, але при неправильних законах зміни тиску у ФМ може привести до швидкого спрацювання ФМ та значної циркуляції потужності.

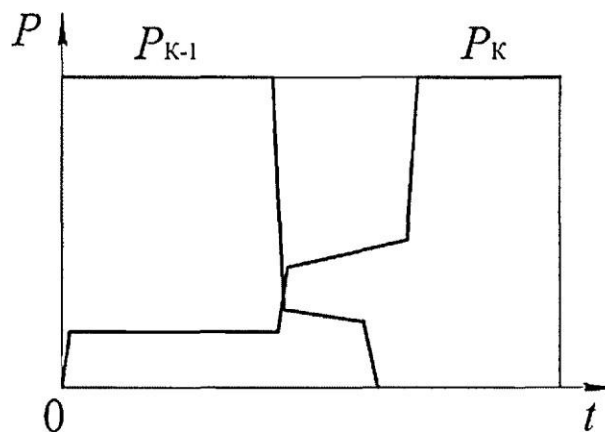


Рисунок 1. 6. Організація процесу перемикання передач з нижчої на вищу за умови розділення діапазону навантаження

Спільна робота декількох муфт дозволяє зменшити потужність буксування муфти, яка включається. Це можливо тільки при перемиканнях на вищу передачу для муфт вищих передач, а на перемиканнях вниз - муфт нижчих передач [8]. Проте застосування підключення муфт в процесі перемикання на нижчі передачі доцільно застосовувати тільки при русі нафтогазової установки з причепом.

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

У роботі [2] для трьохвальної КП типу Powershift описується спосіб однопарного перемикавання передач між муфтами основної частини КП за рахунок буксування муфти діапазонів. За цим методом тиск в муфті, яка вимикається, скидається до нуля, одночасно з цим скидається тиск в муфті діапазонів до значення, при якому вона починає буксувати, забезпечуючи швидкість передачі, що вимикається, і подається повний тиск в муфту, що включається.

Така організація перемикавання дозволяє практично повністю виключити спрацювання муфти, яка включається, завдяки усунення пробуксовування. За аналогією з цим способом можна організувати перемикавання, за якого одночасно буксують муфта передач основної частини КП, що включається, і муфта діапазонної, зменшуючи роботу буксування. Схожим чином можна збудувати однопарне перемикавання між муфтами діапазонної частини при буксуванні муфти основної частини КП. Обидва ці методи дозволяють значно зменшити спрацювання муфти, яка включається, але ускладнюють процес керування, оскільки виникає необхідність управління трьома муфтами.

В наукових роботах С.В. Абдулова для гідромеханічних трансмісій транспортних машин та Ф.Ф. Курочкина для автоматичної КП легкового автомобіля описаний метод перемикавання передач за рахунок управління швидкістю колінвала двигуна зміною подачі палива. Було встановлено, що при однакових законах зміни тиску у фрикційних муфтах, час буксування і температура нагріву дисків ФМ завдяки управління подачею палива двигуна зменшилися приблизно в 2 рази в порівнянні з варіантом без задіювання двигуна.

Згідно цього способу, для застосування на нафтогазових установках тиск в муфті, яка вимикається, скидається до нуля. Тиск в муфту, яка включається, подається з невеликим перекриттям по відношенню до тиску в тій, що вимикається та поступово збільшується до заданого значення, після чого різко виходить на повний тиск.

При перемикаваннях передач з нижчої на вищу (рис. 1.7, а) у момент часу, коли відбудеться скидання тиску в муфті, яка вимикається,

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контролер двигуна подає команду на різке зменшення його швидкості до величини, меншої  $n_{двз}/q$  (де  $n_{двз}$  – швидкість обертання колінвалу двигуна, встановлена оператором до початку перемикавання,  $q$  - співвідношення передавальних чисел передач, які виключаються і включаються), після чого відбувається поступове збільшення швидкості двигуна аж до моменту, коли в муфту, яка включається, подається повний тиск. На перемиканнях на нижчу передачу (рис. 1.7, б) необхідно спочатку забезпечити різке збільшення швидкості колінвалу двигуна до величини, більшої  $n_{двз}/q$ , а потім її поступове зменшення по аналогії з перемиканням на вищу передачу.

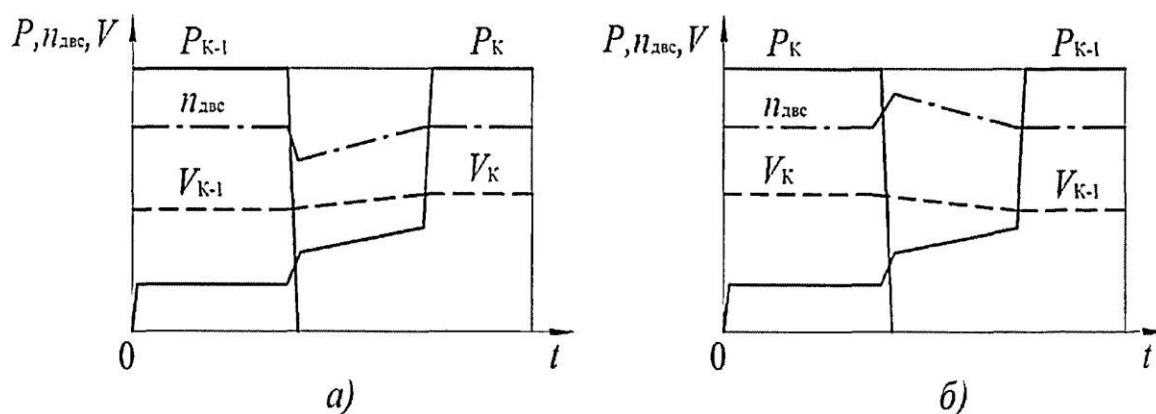


Рисунок 1. 7. Організація перемикання передач з використанням двигуна:

а) з нижчої на вищу; б) з вищої на нижчу

Даний спосіб менше залежить від тиску в муфті, яка включається, і дозволяє повністю або частково управляти швидкістю МТА за рахунок зміни швидкості двигуна. Такий метод управління вимагає взаємозв'язку контролерів трансмісії та двигуна, що дещо ускладнює процес перемикавання. Запропоновано метод визначення моменту опору [13] на основі сигналів з сенсорів тиску ФМ та сенсорів обертів валів КП. Метод заснований на поступовому зменшенні тиску в муфті, яка вимикається, до тих пір, поки почнеться буксування, після чого тиск в ній скидається до нуля. Буксування цієї муфти визначається на основі даних з сенсорів обертів первинного та вторинного валів шляхом порівняння фактичного передавального числа КП з передавальним числом передачі, яка вимикається. На основі тиску в муфті, яка вимикається, на початку буксування, контролер розраховує момент

										Арк.
										21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	MP.AT-70.00.00.000 ПЗ					

опору. По розрахованому моменту опору формується характер подальшої зміни тиску в муфті, яка включається. Перевагою цього методу є незалежність від двигуна у визначенні моменту опору. Недоліком є те, що у разі низького навантаження може ФМ, яка вимикається, зірвати в буксування через порівняно тривалий час, що в свою чергу приведе до тимчасової затримки перемикавання по відношенню до моменту часу, коли оператор подав команду. Цей спосіб перемикавання на вищу передачу супроводжується невеликим уповільненням перед прискоренням, що може викликати дискомфорт у оператора.

Можна уникнути цих недоліків завдяки спільної роботи муфт, які виключаються та включаються, визначаючи момент часу зриву в буксування муфти, що вимикається. Даний спосіб має на увазі використання даних про навантаження на двигуні для формування початкового тиску в обох ФМ та одночасно з цим управління подачею палива в двигун під час перемикавання передач.

Якщо відсутня можливість визначення навантаження на двигуні, момент опору може бути визначений відповідно до способу представленому в роботі [14]. Одночасно з поступовим зменшенням тиску в муфті, яка виключається, збільшується тиск в тій, що включається. Початкове значення тиску в муфті, яка включається, вище за тиск в тій, що виключається, а сума моментів по початковому тиску в обох ФМ повинна відповідати максимальному навантаженню на причіпному пристрої зі всього діапазону. момент опору визначають на основі швидкостей валів КП та відомому тиску в муфтах. Як тільки фіксується зрив в буксування вимикається ФМ, тиск в ній скидається до нуля.

Одночасно тиск в муфті, яка включається, скидається до відповідного розрахунковому моменту опору, а потім поступово збільшується до моменту, який забезпечує комфортне прискорення або уповільнення МТА. Після цього процесу у включену ФМ подається повний тиск. За умови дії невеликого моменту опору при однаковій інтенсивності зміни тиску в обох ФМ для всього діапазону навантажень нафтогазової установки може привести на цьому етапі до нетривалої циркуляції потужності в контурі КП.

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ця потужність створює ривок МТА та велике динамічне навантаження на елементи трансмісії, але цього вдається уникнути за рахунок скидання тиску в ФМ, яка включається, до відповідного моменту опору.

Розрахувавши за даними з сенсорів оборотів первинного та вторинного валів КП, фактичне передавальне число, можна використовувати як параметр зворотного зв'язку, по якому визначається помилка між його поточним значенням та значенням включеної передачі. За величиною цієї помилки на поточному кроці контролер виробляє сигнал для корегування тиску у ФМ на наступному кроці. Величина цього сигналу визначається прогнозованим контролером часом буксування а також величиною допустимого прискорення МТА. Початкове значення тиску в ФМ, яка включається, визначається за моментом опору, отриманому від контролера двигуна або за даними з сенсорів тиску. Цей спосіб є найперспективнішим, оскільки дозволить створити повністю адаптивну систему, адекватну зовнішнім умовам, які змінюються, навіть в процесі перемикавання.

Представлений огляд основних варіантів організації перемикань передач дозволяє зробити висновок, що процес перемикавання включає від двох до чотирьох етапів, які залежить від технічних можливостей системи управління нафтогазової установки (рис. 1.8):

1) підготовчий етап - подача тиску в бустер муфти, яка включається, для подолання зусилля віджимання пружин і його заповнення;

2) етап визначення моменту опору – за зворотнім зв'язком контролера трансмісії з сенсорами оборотів і тиску;

3) етап управління швидкістю – за зворотнім зв'язком з сенсорами оборотів (шляхом порівняння фактичного передавального числа КП з тим, що задається). Також цей етап можна класифікувати за засобами реалізації: перемикавання за рахунок буксування однієї муфти, обох муфт, третьої муфти, з підключенням муфт, зі зміною швидкості колінвалу двигуна під час перемикавання.

4) етап подачі повного тиску в ту фрикційну муфту, яка включається.

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Завдяки комбінації етапу визначення моменту опору та етапу управління швидкістю з різними засобами реалізації можна організувати різні процеси перемикання передач. Але кожний з вище описаних способів організації перемикань має свої переваги та недоліки. Тому у магістерській роботі буде обґрунтовано оптимальний варіант.

### 1.3. Завдання магістерської роботи

Згідно проведеного огляду науково-технічної літератури, на даний час відсутні чітко сформульовані рекомендації по вибору характеру зміни тиску в фрикційних муфтах та методу організації перемикань гідромеханічної трансмісії. Існуючі математичні моделі перемикання передач мають багато допущень для розрахунку трансмісії нафтогазового технологічного транспорту. Також виявлено, що процес організації перемикань з вищої на нижчу передачі недостатньо вивчений.

У магістерській роботі для підтвердження ефективності тих або інших законів зміни тиску та способів їх реалізації необхідно проводити експерименти або відпрацьовувати їх на математичній моделі застосовуючи програмне середовище Matlab Simulink, що значно зменшує матеріальні витрати. На основі цього сформульовано основні завдання даної роботи:

1. Завдяки математичному моделюванню дослідити процес однопарного перемикання передач з урахуванням зміни швидкості колінвалу двигуна під час перемикання, та розділення перемикання передач на етапи залежно від стану муфт.
2. Провести порівняння результатів моделювання і експериментальних даних з метою уточнення та перевірки отриманих даних.
3. Обґрунтувати оптимальні методи управління перемиканням передач.
4. На основі результатів моделювання перемикань КП нафтогазової установки на шасі МЗКТ-7413 сформулювати рекомендації по вибору методів управління перемиканням та законів зміни тиску, які забезпечать поєднання «мінімальне буксування ФМ - допустима плавність перемикання».

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

## 2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ БЕЗРОЗРИВНОГО ПЕРЕМИКАННЯ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ НАФТОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

### 2.1. Особливості однопарних перемикань в коробках передач

Буксування фрикційної муфти під час перемикань передач є головним, але не єдиним параметром, на який необхідно орієнтуватися вибираючи закон зміни тиску в ФМ. Зарубіжні виробники нафтогазового технологічного транспорту (Fendt, Challenger, John Deere, New Holland і ін.) давно надають велику увагу плавності перемикань передач, яка забезпечує комфортніші умови для роботи оператора за допустимого спрацювання ФМ. В умовах сучасної конкуренції вітчизняні машини не повинні поступатися зарубіжним, щоб утриматися на ринку. Забезпечення плавності перемикань передач на вітчизняних нафтогазових установках дозволить підвищити їх конкурентоспроможність та привабливість для споживача. При цьому необхідно розуміти процеси, які відбуваються під час перемикань.

У роботі М.І. Дмитрієва [8] пропонується ділити процес перемикання на два етапи перекриття та розгону, причому перший з них іще розділити на два періоди: оптимального та надмірного перекриття. Період перекриття є оптимальним, якщо у момент повного виключення фрикційної муфти попередньої передачі момент на тій ФМ, яка включається, досяг величини моменту опору руху. Надмірним - якщо момент на ФМ, яка включається досяг величини моменту опору руху, а фрикційна муфта попередньої передачі ще не вимкнена. За надмірного перекриття можливий розгін вторинного валу КП, що робить дане розділення не зовсім коректним. Тому залежно від варіанту стану муфт запропоновано проводити розділення процесу перемикання на три етапи.

Для однопарних перемикань, як на вищій передачі, так і навпаки можливі три варіанти взаємного стану муфт. При цьому умовою, що визначає знак моменту, який муфта передає на вторинний вал, є: якщо частота обертання ведучих дисків ФМ більше частоти обертання ведених, то муфта передає момент на вторинний вал; у іншому випадку - відбирає.

					<b>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Для коробки передач з трьома розташованими на первинному валу муфтами  $\Phi_{K-1}$ ,  $\Phi_K$  та  $\Phi_{K+1}$  з передавальними числами  $i_{K-1}$ ,  $i_K$  та  $i_{K+1}$  відповідно (рис. 2.1) розглянемо перемикання на вищу передачу з  $\Phi_{K-1}$  на  $\Phi_K$  (рис. 2.2,а). Моменти  $M_K$  та  $M_{K-1}$ , які передаються муфтами  $\Phi_K$  та  $\Phi_{K-1}$  відповідно, визначатимуться тиском в їх бустерах і їх технічним станом.

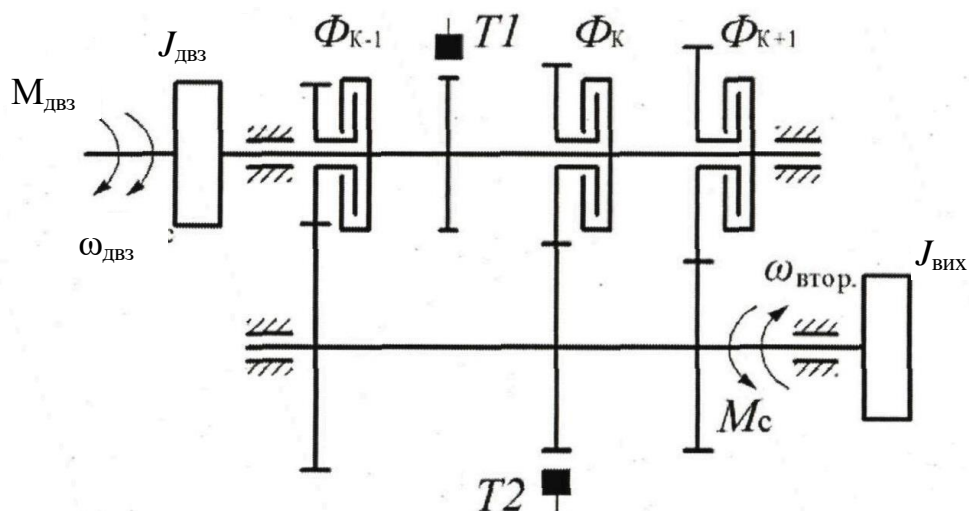


Рисунок 2.1. Двохмасова динамічна модель МТА з трьома розташованими на первинному валу КП фрикційними муфтами:

$M_{двз}$  - момент від двигуна;  $\omega_{двз}$  - кутова швидкість валу двигуна;  $J_{двз}$  - момент інерції двигуна, приведений до первинного валу;  $\Phi_{K-1}$ ,  $\Phi_K$  та  $\Phi_{K+1}$  - фрикційні муфти включення передачі K-1, K та K+1 відповідно;  $M_c$  - момент опору, приведений до вторинного валу КП;  $\omega_{втор}$  - кутова швидкість вторинного валу;  $J_{вих}$  - момент інерції тракторного агрегату, приведений до вторинного валу; T1, T2 - сенсори обертів первинного та вторинного валів

На першому етапі муфта, яка вмикається буксує, а та що виключається, замкнута; рух зі швидкістю  $V_{K-1}$  (період часу  $t_1$  на рис. 2.2, а).

Момент від муфти, яка включається, приведений до вторинного валу, менший моменту опору руху  $M_K i_K \leq M_c$  (моменти від муфт додаються). У зв'язку з тим, що частота обертання ведучих дисків муфти вищої передачі більша частоти обертання ведених, то, як тільки почне подаватися тиск в муфту, вона починає передавати на вторинний вал момент,

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

гальмуючи на цей же момент вал двигуна. В цьому випадку з боку двигуна на муфту нижчої передачі поступатиме менший момент. Муфта, яка включається, розвантажує ту, що вимикається, тому момент  $M = M_{K-1} i_{K-1} + M_K i_K - M_c$  характеризуватиме запас по моменту від зриву муфти, яка вимикається, в буксування. У цій фазі циркуляція потужності відсутня.

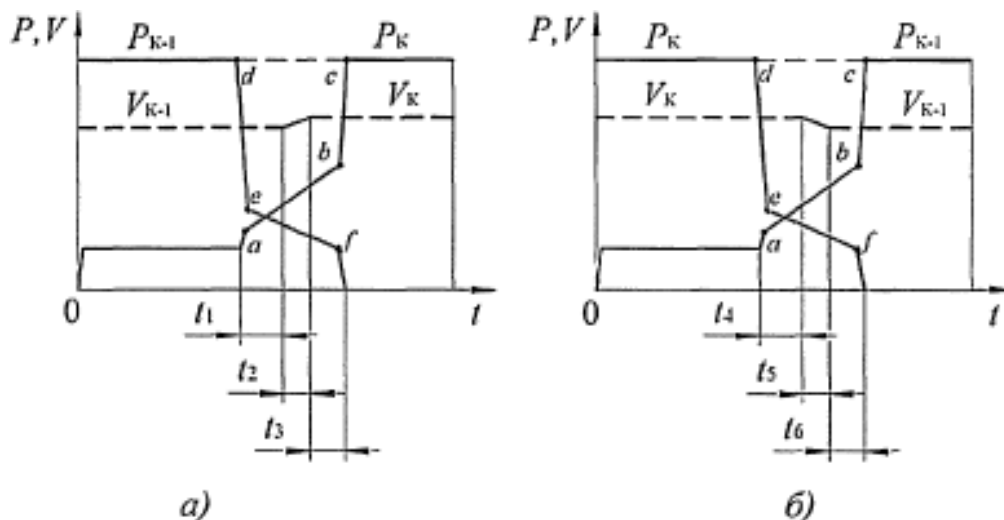


Рисунок 2.2. Організація процесу перемикання передач з перекриттям:

а) з нижчої на вищу; б) з вищої на нижчу;  $P_{K-1}$  та  $P_K$  - тиск в бустерах муфт  $\Phi_{K-1}$  та  $\Phi_K$  відповідно;  $V_{K-1}$  та  $V_K$  швидкості руху МТА на передачі K-1 та K відповідно

Під час другої фази момент від муфти, яка включається, приведений до вторинного валу, більше моменту опору  $M_K i_K > M_c$  (моменти від муфт віднімаються). Від вторинного валу починає відбирати момент муфта, яка вимикається, зберігаючи на ньому момент, рівний моменту опору. Зокрема муфта  $\Phi_{K-1}$  відбирає надмірний момент  $M_{нд.}/i_{K-1} = M_K i_K - M_c$  від муфти  $\Phi_K$ . Причому муфта  $\Phi_{K-1}$  не може відбирати момент, більший забезпечуваного тиском в її бустері.

До муфти, яка включається, підводиться тільки момент від двигуна, рівний моменту опору, приведені до первинного валу, оскільки вторинний вал на цій фазі не розгониться. Муфта, яка в цей момент включається, здатна пропустити через себе момент від двигуна та надмірний момент  $M_{нд.}/i_{K-1}$ , який зняла з вторинного валу муфта,

					<b>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

що вимикається. Під час другої фази виникає циркуляція потужності.

Під час другого етапу обидві муфти буксують. Відбувається розгін МТА до швидкості  $V_k$  (період часу  $t_2$  на рис. 2.2, а; моментів з муфт віднімаються).

Муфта нижчої передачі, яка вимикається, відбиратиме момент від вторинного валу, перешкоджаючи його розгону. В кожен момент часу періоду розгону за рахунок однієї муфти вищої передачі забезпечується на вторинному валу момент, рівний сумі моменту опору  $M_c$  та моменту  $M_{in}$  від сил інерції МТА. За спільної роботи обох муфт для розгону з тим же прискоренням, муфта що включається на вторинному валу повинна забезпечувати вже  $M = M_{k-1} i_{k-1} + M_c + M_{in}$ . У результаті на цьому етапі циркуляція потужності визначатиметься моментом від муфти, яка вимикається, тобто тиском в її бустері.

Під час третього етапу муфта, яка вимикається, буксує, відповідно яка включається - замкнута; здійснюється рух на швидкості  $V_k$  (період часу  $t_3$  на рис. 2.2, а). На цьому етапі ФМ, яка вимикається, також відбирає від вторинного валу момент, створений тиском в її бустері. Цей момент поступає на первинний вал і через муфту вищої передачі передаються на вторинний. Якщо момент від вторинного валу, виявиться більшим, ніж може пропустити через себе фрикційна муфта, яка включається ( $M_k < M_{k-1} + M_{двз}$ ), то ФМ яка включається почне пробуксовувати і відбудеться повернення на другий етап. На третьому етапі присутня циркуляція потужності.

Момент від муфти, яка виключається, передаватиметься на вторинний вал тільки під час перемикавання на нижчу передачу. Одночасно муфта, яка включається, виконує функцію гальма, а муфта, яка виключається, за наявності «хвоста» тиску  $e-f$  (рис. 2.2, б) навпаки збільшуватиме момент на вторинному валу та прагнучиме розігнати його.

Фізична модель, що полегшує алгоритмізацію перемикавання передач нафтогазової установки, для КП з розташованими на первинному валу ФМ відображено на рим. 2.3. Модель включає «ваги» 1 моментів від буксуючих муфт та пружинний динамометр 2 з шкалою 3, за якою вимірюється обертовий момент двигуна. Зробимо припущення, що чаші терезів

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

підвішені на нерозтяжних нитках, мають нульову масу. Різна довжина ниток терезів обумовлена різними передавальними числами передач: довжини ниток лівої та правої чаш повинні співвідноситися, як  $i_{k-1}/i_k$ . Тиск в бустерах муфт, який створює моменти від муфт на первинному валу, відповідає масам вантажів на чашах терезів. За розташуванням основ чаш терезів відносно вертикальній осі  $M_{втор}$ . визначаємо момент на вторинному валу КП. Включення тієї або іншої муфти та вихід на швидкість, відповідну її передавальному числу, відбудеться за умови контакту чаші даної муфти з опорною поверхнею. Відповідно виникнення буксування – у випадку відриву чаші від опорної поверхні. Ця фізична модель дозволяє аналітично дослідити всі етапи перемикання передач.

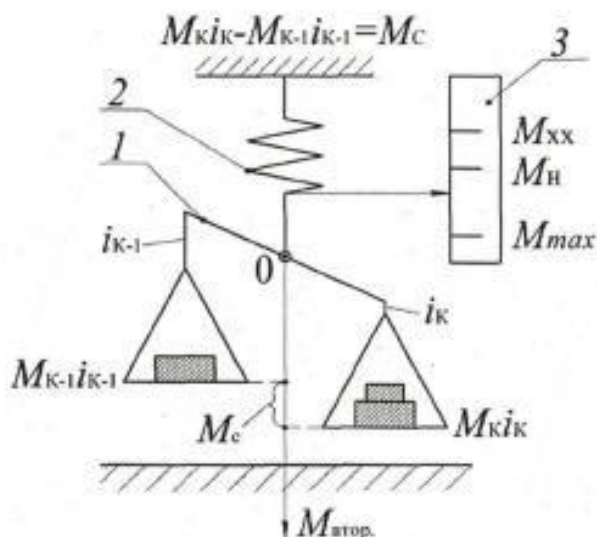


Рисунок 2.3. Фізична модель однопарного перемикання передач

Запишемо рівняння моментів від обох муфт на вторинному валу, які забезпечували б приведений до того ж валу момент опору:

$$M_c = \text{sign}(\Delta\omega_{k-1}) M_{k-1} i_{k-1} + \text{sign}(\Delta\omega_k) M_k i_k = \text{const}, \quad (2.1)$$

де  $M_c$  - приведений до вторинного валу момент опору руху нафтогазової установки;

$M_{k-1} i_{k-1}$ ,  $M_k i_k$  - моменти від муфт нижчої та вищої передач, приведені до вторинного валу КП;

$\text{sign}(\Delta\omega_{k-1})$ ,  $\text{sign}(\Delta\omega_k)$  - оператори, що враховують знак відносних швидкостей ковзання для визначення знаку моментів від муфт  $\Phi_{k-1}$  та  $\Phi_k$  під час перемикання передач.

									Арк.
									29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</b>				

За умови збереження рівності 2.1 зміна стану процесу перемикавання не відбувається. Для того, щоб запустити процес перемикавання передач, слід збільшити тиск в бустері муфти, яка включається, або зменшити - в тій, що вимикається, або виконати ці дві дії одночасно. Процес перемикавання продовжуватиметься, доки не перестане буксувати муфта, яка включається.

У випадку спільної роботи двох муфт (рис. 2.2) під час перемикавання передач, муфта яка включається на вищу передачу, розганяє МТА, а та що вимикається – пригальмовує. Перемикаючи на нижчу передачу вони міняються ролями: муфта нижчої передачі, яка включається, пригальмовує машину, а та що вимикається - перешкоджає зниженню швидкості, прагнучи розігнати МТА. У зв'язку з цим можна рекомендувати основні положення управління розгоном та перемиканням передач:

1) тиск керує обертаючим моментом буксуючої муфти;

2) кутові швидкості ведучих та ведених дисків муфт визначаються кінематичною схемою КП;

3) знак моменту, який передає муфтою на вторинний вал, визначається знаком відносної швидкості ковзання її дисків;

4) на всіх етапах перемикань на вищу передачу, так і на нижчу, циркуляція потужності визначається моментами, які передають муфтами, тобто тиском в їх бустерах, а також залежить від взаємного стану (замкнута або буксує) обох муфт;

5) У випадку циркуляції потужності момент муфт на перемиканнях передач передається на вторинний вал з від'ємним знаком;

6) За сталого руху обертовий момент на вторинному валу без урахування циркулюючого моменту завжди рівний моменту опору та не може бути більшим за нього. Збільшення цього моменту зумовлює прискорений рух, а при його зменшенні – уповільнення;

7) Циркуляція потужності це шкідливе явище, яке можливо усунути завдяки скидання тиску в муфті, яка вимикається, та одночасного збільшення тиску в муфті, яка включається, на величину, необхідну для збереження рівномірного руху;

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7) За даними з сенсорів вимірювання частоти обертання первинного та вторинного валів КП визначаємо момент часу, коли повинна відбутися одночасна різка зміна тиску в обох муфтах;

8) Перемикаючись на вищу передачу під час циркуляції потужності муфта, яка включається, додатково навантажується циркулюючим моментом. Навантаження на включену муфту буде мінімальне за нульового тиску в тій ФМ, що вимикається;

9) У проміжку між передачами, які виключаються та включаються, завжди працює муфта, що тільки включається, за умови відсутності циркуляції потужності.

## **2.2. Математична модель процесу перемикання гідромеханічної коробки передач нафтогазової установки**

Для розрахунку приймається двохмасова динамічна модель перемикання передач (рис. 2.1), яка реалізована для кінематичної схеми простого варіанту КП в програмному середовищі Matlab Simulink, що дозволяє за допомогою блок-діаграм у вигляді направлених графів будувати динамічні моделі [15] та призначена для оцінки основних параметрів процесу перемикань як на вищу, так і на нижчу передачі.

У цій моделі враховується зміна швидкості колінвалу двигуна відповідно до його зовнішньої швидкісної характеристики за рахунок використання програмних можливостей Matlab Simulink.

Також вплив потужності буксування ФМ на швидкість руху під час перемикання, а також враховується вплив буксування рушія нафтогазової установки на його швидкість та прискорення в процесі перемикання. Це дозволить наблизити результати моделювання до дійсних значень експериментальних випробувань.

Для виконання математичного моделювання перемикання передач були застосовані наступні допущення:

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

1) в процесі перемикання передач залишається незмінним момент опору приведений до вторинного валу КП;

2) нехтуємо зазорами в зубчатих передачах трансмісії та демпфуванням в елементах трансмісії і ходової системи нафтогазової установки;

3) вважаємо, що коефіцієнт тертя дисків ФМ є постійною величиною.

Передавальні числа передач за перемикання на вищу передачу з К-1 на К позначаються як  $i_{К-1} = i_{off}$  та  $i_{К} = i_{on}$ , а перемикаючи на нижчу передачу з К на К-1 відповідно  $i_{К} = i_{off}$  та  $i_{К-1} = i_{on}$  (рис. 2.1).

Відносні швидкості ковзання дисків муфт, які включаються та виключаються, відповідно розраховуються з виразів:

$$\Delta\omega_{on} = \frac{\omega_{двс\ b} - \omega_{втор\ b} i_{on}}{ind_{on}}; \quad (2.2\ a)$$

$$\Delta\omega_{off} = \frac{\omega_{двс\ b} - \omega_{втор\ b} i_{off}}{ind_{off}}, \quad (2.2\ б)$$

де  $\omega_{двс\ b}$ , та  $\omega_{втор\ b}$  - кутові швидкості обертання первинного та вторинного валів КП на *b*-тому етапі перемикання;

$ind_{on}$ ,  $ind_{off}$  - індекси розташування муфт, які включаються і виключаються, на валах (для муфт на первинному валу індекс рівний 1; для муфт на вторинному валу - рівний передавальному числу від первинного до вторинного валу КП).

Значення моментів від муфт, що виключаються та включаються, визначаються за формулами:

$$M_{on} = M_{уд\ on} (P_{on} - P_{п\ on} + P_{ц\ on}); \quad (2.3, a)$$

$$M_{off} = M_{уд\ off} (P_{off} - P_{п\ off} + P_{ц\ off}), \quad (2.3, б)$$

де  $M_{уд\ on}$ ,  $M_{уд\ off}$  - питомі моменти тертя муфт, які включаються і виключаються, Н-м/МПа;

$P_{on}$ ,  $P_{off}$  - тиск в муфтах, МПа;

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

$P_{n, on}, P_{n, off}$  - тиск віджимання пружин в муфтах, МПа;

$P_{ц, on}, P_{ц, off}$  - відцентровий тиск з боку оливи на поршень в муфтах, МПа.

Відцентровий тиск в муфтах визначається відповідно до методики, опублікованої в [16]:

$$P_{ц.} = \frac{\pi \gamma \omega^2}{4gS_n} (R_n^4 - R_{вн}^4 - 2R_0^2(R_n^2 - R_{вн}^2)), \quad (2.4)$$

де  $\gamma$  - густина оливи, Н/м<sup>3</sup>;

$g$  - прискорення вільного падіння,

м/с<sup>2</sup>;  $S_n$  - площа поршня, мм<sup>2</sup>;

$R_n, R_{вн}$  - зовнішній та внутрішній діаметри поршня, м;

$R_0$  - внутрішній радіус підведення робочої рідини в перед поршневу порожнину ФМ, м.

Питомі моменти тертя муфт розраховуються з виразу:

$$M_{уд.} = 2\pi R_c^2 b_{тр.} f_{тр.} k, \quad (2.5)$$

де  $f_{тр.}$  - коефіцієнт тертя ковзання дисків;

$R_c$  - радіус розташування рівнодіючої сил тертя, мм;

$b_{тр.}$  - ширина поверхні тертя, мм;

$k$  - число пар тертя.

Спрацювання фрикційних муфт в значній мірі залежить від моменту, що передається та відносної швидкості ковзання дисків, оскільки визначається роботою буксування впродовж часу перемикання  $t_{п.} = t_1 + t_2 + t_3$  та відповідно розраховуються за формулами [3, 16]:

$$A_{букс. on} = \int_0^{t_{п.}} (M_{он} \Delta\omega_{он}) dt; \quad (2.6, a)$$

$$A_{букс. off} = \int_0^{t_{п.}} (M_{off} \Delta\omega_{off}) dt. \quad (2.6, б)$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	MP.AT-70.00.00.000 ПЗ	33

Для визначення стану муфти передач в процесі перемикання вводяться індикатори замикання муфти, яка включається  $X_{on}$  і виключається  $X_{off}$  (індикатор рівний 1 - «муфта буксує», тобто відносна швидкість ковзання її дисків не рівна нулю та індикатор рівний 2 - «муфта замкнута», коли відносна швидкість ковзання її дисків рівна нулю). Окремо запишемо рівняння моментів для кожного з етапів.

Під час першого етапу муфта, яка виключається, замкнута. У бустер ФМ, яка включається подається тиск, внаслідок чого вона буксує та змінює швидкість обертання колінвалу двигуна ( $X_{off} = 2, X_{on} = 1$ ), відповідно  $\Delta\omega_{off} = 0, \Delta\omega_{on} \neq 0$ . Тоді рівняння моментів для первинного валу має вигляд:

$$M_{двз} - \frac{M_c}{i_{off}} - \frac{M_{оп} |\Delta\omega_{оп}|}{\omega_{двз 1}} = J_{сум} \frac{d\omega_{двз 1}}{dt}, \quad (2.7)$$

де  $M_{двз}$  – обертовий момент двигуна, Нм;

$M_c$  - момент опору, приведений до вторинного валу КП;

$M_{оп}$  - момент від потужності буксування ФМ, яка включається, приведений до первинного валу, Нм; ?

$J_{сум}$ , - сумарний момент інерції, приведений до валу двигуна, Нм<sup>2</sup>;

$\omega_{двз 1}$  - кутова швидкість первинного валу на першому етапі, рад/с.

Враховуючи вираз (2.2,а) і знаючи, що  $\omega_{втор 1} = \omega_{двз 1} / i_{off}$ , момент від потужності буксування ФМ, яка включається визначається з співвідношення:

$$\frac{M_{оп} |\Delta\omega_{оп}|}{\omega_{двз 1}} = \frac{M_{оп} \left| 1 - \frac{i_{оп}}{i_{off}} \right|}{i n d_{оп}}. \quad (2.8)$$

Тоді кутові швидкості первинного  $\omega_{двз 1}$  та вторинного  $\omega_{втор 1}$  валів на першому етапі перемикання передач можна записати у вигляді:

$$\omega_{двз 1} = \frac{1}{J_{сум}} \int_0^{t_1} \left( M_{двз} - \frac{M_c}{i_{off}} - \frac{M_{оп} \left| 1 - \frac{i_{оп}}{i_{off}} \right|}{i n d_{оп}} \right) dt + \omega_{двз 0}; \quad (2.9, a)$$

					<b>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

$$\omega_{\text{втор.1}} = \frac{\omega_{\text{двз1}}}{i_{\text{off}}}, \quad (2.9, б)$$

де  $\omega_{\text{двз0}}$  - кутова швидкість обертання колінвалау двигуна до початку перемикування передач, рад/с;

$t_1$  - тривалість першого етапу, с.

Момент опору, приведений до вторинного валу КП, визначається з виразу:

$$M_c = (m_{\text{тр.}} g f + P_{\text{кр.}}) \frac{r_{\text{зв.}}}{i_{\text{зм}}}, \quad (2.10)$$

де  $m_{\text{тр}}$  - маса нафтогазової установки, кг;

$f$  - коефіцієнт опору руху;

$P_{\text{кр}}$  - навантаження на механізм навіски,

Н;  $r_{\text{зв}}$  - радіус привідної зірочки або

колеса, м;  $i_{\text{зм}}$  - передавальне число моста.

Сумарний момент інерції, приведений до валу двигуна, визначається як:

$$J_{\text{сум.}} = J_{\text{перв.}} + \frac{J_{\text{вих.}}}{i_{\text{off}}^2}, \quad (2.11)$$

де  $J_{\text{перв.}}$ ,  $J_{\text{вих.}}$  - моменти інерції первинного та вторинного валів з боку навантаження, відповідно (вибираються виходячи з розрахунків моментів інерції вузлів, які обертаються, і деталей нафтогазової установки),  $\text{Нм}^2$ .

Сумарний момент інерції, приведений до вторинного валу з боку навантаження, визначається з виразу:

$$J_{\text{вих.}} = J_{\text{втор.}} + \left( m_{\text{тр.}} + \frac{m_{\text{плуг}}}{(1 - \delta)} \right) \left( \frac{r_{\text{зв.}}}{i_{\text{зм}}} \right)^2, \quad (2.12)$$

де  $J_{\text{втор.}}$  - момент інерції вторинного валу,  $\text{Нм}^2$ ;

$m_{\text{плуг}}$  - маса с.г. техніки;

$\delta$  - коефіцієнт буксування рушія (вибирається відповідно до кривої буксування залежно від моменту з боку двигуна, приведенного до привідної зірочки або колеса, в перерахунку на тягове зусилля).

					<b>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Момент інерції  $J_{перв}$  первинного валу включає приведені до нього моменти інерції кривошипно-шатунного механізму двигуна.

Під час другого етапу в бустери обох муфт подається тиск, і вони пробуксовують ( $X_{off} = 1, X_{on} = 1$ ), одночасно  $\Delta\omega_{off} \neq 0, \Delta\omega_{on} \neq 0$ . На цьому етапі рівняння моментів мають вигляд:

$$M_{двс} - \frac{M_{off}}{ind_{off}} \text{sign}(\Delta\omega_{off}) - \frac{M_{on}}{ind_{on}} \text{sign}(\Delta\omega_{on}) = J_{перв} \frac{d\omega_{двс 2}}{dt}, \quad (2.13)$$

$$\frac{M_{off} i_{off}}{ind_{off}} \text{sign}(\Delta\omega_{off}) + \frac{M_{on} i_{on}}{ind_{on}} \text{sign}(\Delta\omega_{on}) - M_c = J_{вых} \frac{d\omega_{втор.2}}{dt}, \quad (2.14)$$

де  $\text{sign}(\Delta\omega_{off}), \text{sign}(\Delta\omega_{on})$  - оператори, що враховують знак відносних швидкостей ковзання для визначення знаку моментів ФМ під час перемикання передач.

Тоді, виходячи з рівнянь (2.13) та (2.14), кутові швидкості валів КП для даного етапу розраховуватимуться як:

$$\omega_{двс 2} = \frac{1}{J_{перв}} \int_0^{t_2} \left( M_{двс} - \frac{M_{off}}{ind_{off}} \text{sign}(\Delta\omega_{off}) - \frac{M_{on}}{ind_{on}} \text{sign}(\Delta\omega_{on}) \right) dt + \omega'_{двс 1}; \quad (2.15)$$

$$\omega_{втор.2} = \frac{1}{J_{вых}} \int_0^{t_2} \left( \frac{M_{off} i_{off}}{ind_{off}} \text{sign}(\Delta\omega_{off}) + \frac{M_{on} i_{on}}{ind_{on}} \text{sign}(\Delta\omega_{on}) - M_c \right) dt + \omega'_{втор.1}, \quad (2.16)$$

де  $\omega'_{двс 1}$  та  $\omega'_{втор 1}$  - кутові швидкості обертання первинного та вторинного валів в кінці першого етапу.

Під час третього етапу муфта, яка включається, замкнута і у бустер муфти, яка виключається, подається тиск, внаслідок чого вона буксує та змінює швидкість обертання колінвалу двигуна ( $X_{off} = 1, X_{on} = 2$ ), одночасно  $\Delta\omega_{off} \neq 0, \Delta\omega_{on} = 0$ . Рівняння моментів для третього етапу прийме вигляд:

$$M_{двс} - \frac{M_c}{i_{on}} - \frac{M_{off} |\Delta\omega_{off}|}{\omega_{двс 3}} = J_{перв} \frac{d\omega_{двс 3}}{dt}, \quad (2.17)$$

де  $\frac{M_{off} \Delta\omega_{off}}{\omega_{двс 3}}$  - момент від потужності буксування муфти передач, яка вимикається, приведений до первинного валу, Нм.

					<b>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

За аналогії з виразом (2.8) з урахуванням формули (2.2, б) момент від потужності буксування ФМ, яка вимикається, визначатиметься з рівності:

$$\frac{M_{off} |\Delta\omega_{off}|}{\omega_{двс3}} = \frac{M_{off} \left| 1 - \frac{i_{off}}{i_{он}} \right|}{ind_{off}} \quad (2.18)$$

Тоді, виходячи з рівняння (2.17), кутові швидкості валів обчислюємо за формулами:

$$\omega_{двс3} = \frac{1}{I_{перв.}} \int_0^{t_3} \left( M_{двс} - \frac{M_c}{i_{он}} - \frac{M_{off} \left| 1 - \frac{i_{off}}{i_{он}} \right|}{ind_{off}} \right) dt + \omega'_{двс2}; \quad (2.19)$$

$$\omega_{втор.3} = \frac{\omega_{двс3}}{i_{он}}, \quad (2.20)$$

де  $\omega'_{двс2}$  та  $\omega'_{втор.1}$  - кутова швидкість обертання первинного валу в кінці другого стану.

Прискорення МТА на кожному з етапів визначається за формулами:

$$a = \frac{d\omega_{втор.б}}{dt} \cdot \frac{r_{зв.}}{i_{зм}} \quad (2.21)$$

Облік зміни швидкості колінвалу двигуна відповідно до його зовнішньої швидкісної характеристики здійснюється за рахунок використання в Matlab Simulink блоку Look-Up Table [15], в який задається характеристика в табличній формі. За допомогою цього ж блоку задається залежність зміни буксування рушія від навантаження на навісному механізмі, а також закони зміни тиску в бустерах ФМ залежно від часу.

Застосована математична модель однопарних перемикачів передач враховує розділення перемикачів на етапи залежно від взаємного стану муфт, а також зміну швидкості колінвалу двигуна під час перемикачів передач, та вплив потужності буксування ФМ на його швидкість в процесі першого і третього етапів перемикачів. Ця модель відносно просто редагується, без серйозних змін для різних кінематичних схем трансмісій з ФМ та різних початкових даних.

					<b>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

### Висновки за розділом

В процесі перемикання передач знак моменту, який передається муфтою на вторинний вал, визначається знаком відносної швидкості ковзання.

Перемикаючи на вищі передачі можна усунути циркуляцію потужності в контурі можливе завдяки скидання тиску в муфті, яка вимикається. Момент часу, коли повинне відбутися це скидання, визначено за даними з сенсорів частоти обертання первинного та вторинного валів КП.

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

### 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕМИКАННЯ ПЕРЕДАЧ НА ІМІТАЦІЙНІЙ МОДЕЛІ

Дослідження проводилося на розробленій в програмному середовищі Matlab Simulink математичній моделі операції оранки і транспортній роботі нафтогазової установки з різним навантаженням на причіпний пристрій. Як об'єкт дослідження була вибрана КП нафтогазової установки ХРЗ-201, оснащеного двигуном QSM11-C330 фірми «Cummins». Ця механічна КП здійснює перемикання передач без розриву потоку потужності та забезпечує 16 передач переднього ходу і 4 передачі заднього в чотирьох діапазонах: транспортному, двох робочих і технологічному. За допомогою електрогідравлічного управління фрикційними муфтами здійснюється перемикання всіх передач включенням відповідних пар шестерень.

В процесі моделювання вважаємо, що важіль управління подачею палива, встановленому в позицію, яка забезпечує оберти двигуна 2100 об/хв. Відцентровий тиск у ФМ залежатиме від квадрата кутової швидкості її бустера. Так для муфт на первинному валу, значення тиску, створюваного відцентровими силами, становлять 0,1 МПа, для  $\Phi 2$  - 0,05 МПа, для  $\Phi 3X$  - 0,135 МПа. Для муфт діапазонів відцентровий тиск визначатиметься вибраною передачею.

Загальний вид реалізованої в Matlab Simulink моделі, адаптованої для нафтогазової установки ХТЗ, представлений на рис. 3.1. Модель побудована відповідно до описаних в другому розділі виразів і дозволяє оцінювати основні параметри процесів перемикань передач. Програма моделі складається з блоків, які імітують роботу двигуна, контролера трансмісії, основної та діапазонної частин КП і мобільного рушія нафтогазової установки. Модель дозволяє здійснювати вибір методу організації перемикання, вибір передач, які включаються і виключаються, а також задавати закони зміни тиску в ФМ, тяговий опір та масу знаряддя або причепа, частоту обертання колінвалу двигуна.

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

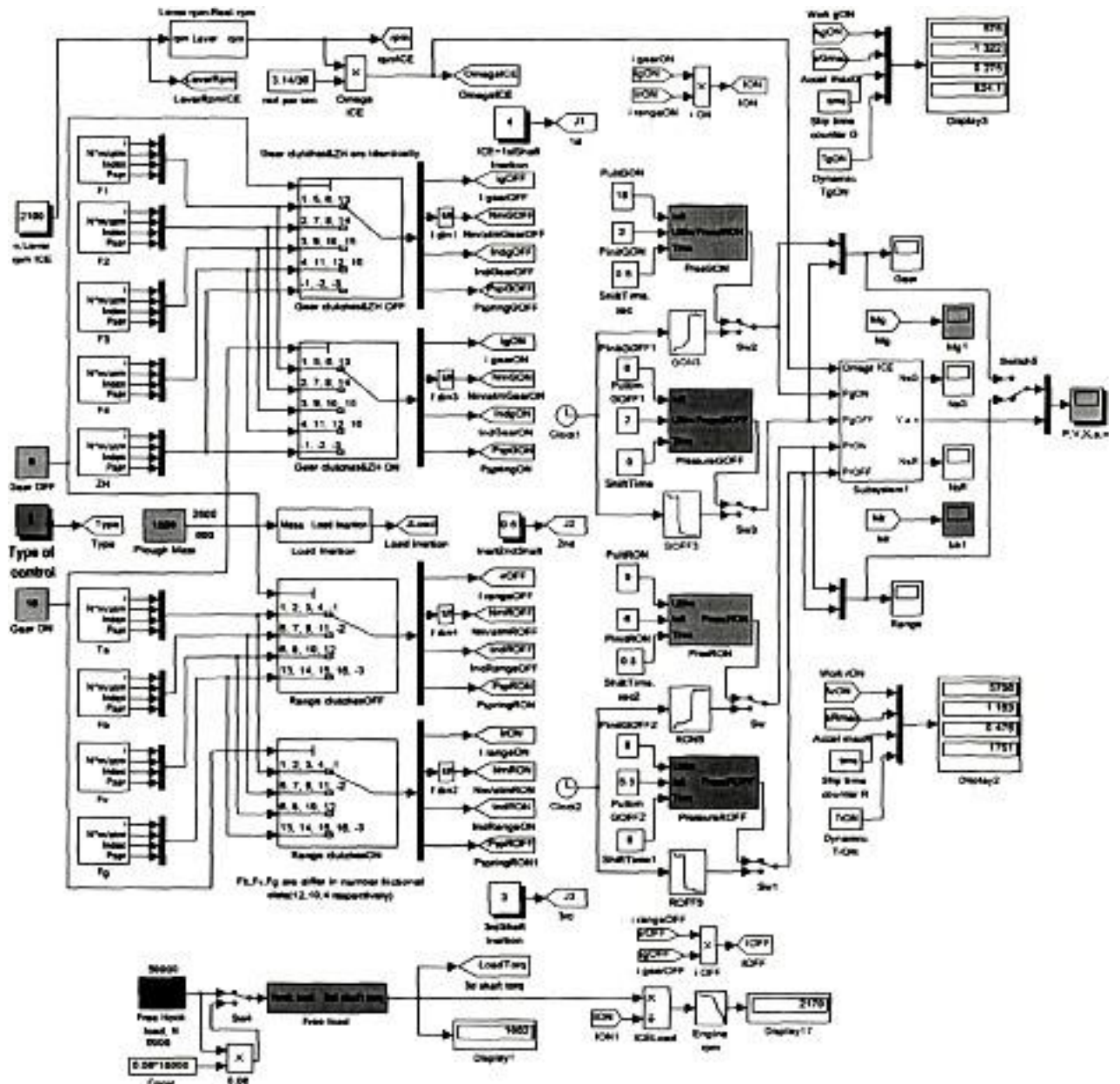


Рисунок 3.1. Імітаційна модель переключення передач нафтогазової установки

### 3.1. Характеристика кінематичної схеми коробки передач

У повноцінних тракторних трансмісіях типу Powershift, як правило, КП складаються з двох частин: основної (між первинним та проміжним валами) і діапазонної (між проміжним та вторинним валами). На рис. 3.2 представлено кінематичну схему простого варіанту такої КП, де  $\Phi_{к-1}$  і  $\Phi_{к}$  - муфти основної частини КП, а  $\Phi_{А}$  і  $\Phi_{Б}$  - муфти діапазонної. Ця КП дозволяє забезпечити чотири

передачі, причому для того, щоб включити яку-небудь передачу, необхідно замкнути відразу дві муфти: муфту основної частини та муфту діапазонів.

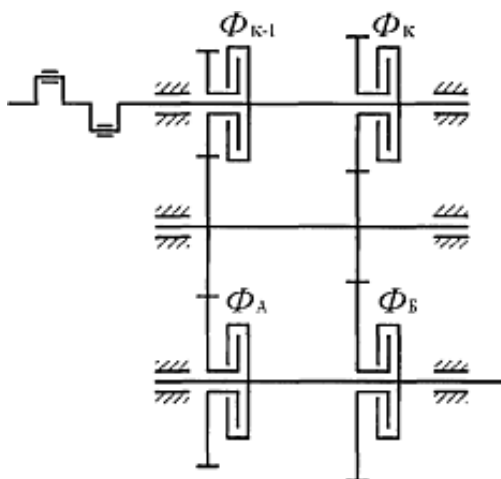


Рисунок 3.2. Кінематична схема коробки передач

Приймемо, що коефіцієнт перекриття між суміжними передачами для КП складає  $q$ . Тоді можливі два варіанти поєднань ФМ. У першому варіанті коефіцієнт перекриття між передачами основної частини КП рівний  $q$ , а між діапазонами –  $q^2$  (рис. 3.3, а). Однопарні перемикання між передачами діапазону здійснюватимуться за рахунок зміни тиску в  $\Phi_{K-1}$  і  $\Phi_K$  за умови замкнутої одної з муфт діапазонів. У другому варіанті коефіцієнт перекриття між передачами основної частини КП рівний  $q^2$ , а між діапазонами –  $q$  (рис. 3.3, б). Перемикання між передачами здійснюватимуться завдяки зміни тиску в  $\Phi_A$  і  $\Phi_B$  при замкнутій одній з муфт основної частині КП.

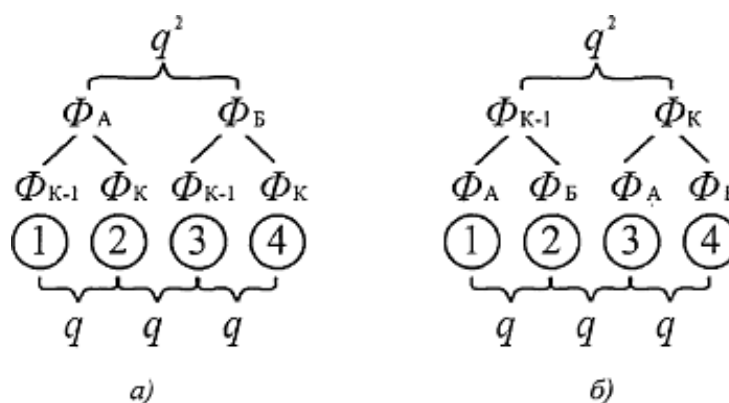


Рисунок 3.3. Коефіцієнти перекриття між передачами: а) перший варіант; б) другий варіант

										Арк.
										41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	MP.AT-70.00.00.000 ПЗ					

Для обох варіантів поєднань перемикавання ФМ між другою та третьою передачами будуть двохпарними, тобто коли задіються відразу чотири муфти (дві включаються та дві муфти виключаються).

Організація двохпарних перемикавань передач є складнішою задачею в порівнянні з реалізацією однопарних, оскільки виникає необхідність управляти тиском одночасно в чотирьох ФМ. Але робочий процес двохпарного перемикавання можна послідовно звести до двох однопарних перемикавань, одне з яких буде для переключення на вищу передачу, а інше навпаки.

На рис. 3.4 графічно представлено зміну швидкості нафтогазової установки  $V$  залежно від передачі, яка включається, а також зміна коефіцієнта перекриття  $q$  і перепаду швидкостей  $\Delta V$  між суміжними передачами - від номера перемикавання передач (перемикавання між передачами 1 та 2 - перемикавання номер 1; перемикавання між передачами 2 та 3 - номер 2 і т.д.). З графіків видно, що для даної КП  $q = 1,15$  - коефіцієнт перекриття між суміжними передачами робочого діапазону. Для передач технологічного та транспортного діапазонів коефіцієнт перекриття рівний приблизно 1,3, тобто  $q$ . Причому зміна коефіцієнта перекриття залежно від номера перемикавання передач приводить до аналогічної по характеру зміни перепаду швидкостей між суміжними передачами  $\Delta V$ .

Згідно рис. 3.5 перемикавання між передачами 4 - 5, 6 - 7, 8 - 9, 10 - 11, 12 - 13 будуть двохпарними, а всі інші - однопарними. Представлений алгоритм двохпарного перемикавання застосовний для досліджуваної КП. За умови звуження перекриття між робочим та технологічним діапазонами з  $q^2$  до  $q$  можна отримати одну додаткову передачу робочого діапазону (передача 4). Це звуження забезпечить зменшення всього діапазону швидкостей. Враховуючи, що для нафтогазової установки основним є його робочий діапазон, то у висновках магістерської роботи необхідно орієнтуватися на збільшення числа передач робочого діапазону. В даному випадку перемикавання між передачами робочого діапазону та додаткової (перемикавання між передачами 4 - 5) слід виконувати з одночасним управлінням тиском в чотирьох ФМ.

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

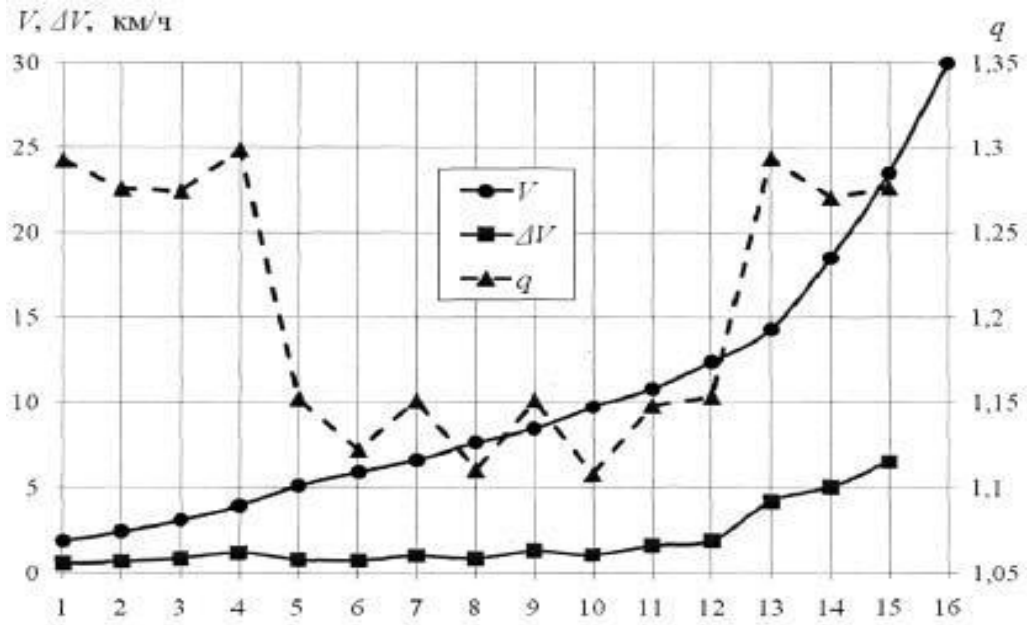


Рисунок 3.4. Графіки зміни швидкості нафтогазової установки V залежно від передачі, що включається, коефіцієнта перекриття q і перепадів швидкостей ΔV між суміжними передачами від номера перемикачів передач

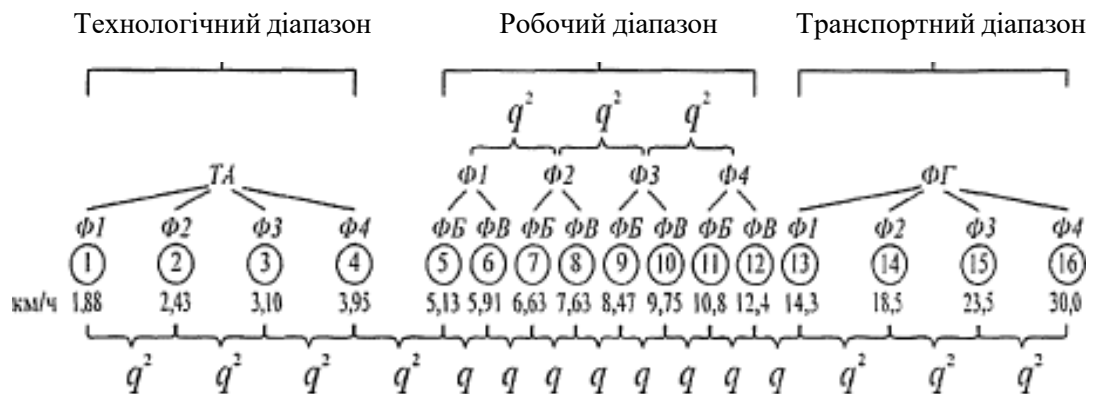


Рисунок 3.5. Коефіцієнти перекриття між передачами руху вперед

Врахуємо, що перемикач між передачами робочого діапазону можна здійснювати за двома іншими варіантами: або послідовно здійснювати одне перемикач вгору і одне перемикач вниз, або перемикач тільки через передачу. Найраціональнішим є другий варіант, особливо коли нафтогазової установки працює без навантаження. Якщо нафтогазової установки працює з навантаженням, то вибір варіанту перемикач здійснюємо виходячи з швидкості обертання колінвала двигуна, прагнучи забезпечити його роботу на номінальному режимі. За двократного натиснення водієм кнопки перемикач передач може

здійснюватися перемикання через передачу, а за потреби двохпарного перемикання на суміжну передачу - при одноразовому натисненні, що приведе до наступних один за одним роздільних перемикань на вищу передачу, або нижчу.

Двохпарне перемикання з одночасним буксуванням всіх чотирьох фрикційних муфт практично неможливе, бо має випадковий характер. Навіть враховуючи різне тертя фрикційних дисків муфт, це не вплине на наявність двох однопарних перемикань. Досліджуваний метод організації двохпарних перемикань дозволить вирішити задачу одночасного управління тиском в чотирьох ФМ, відносно просто забезпечивши роботу муфт однопарними перемиканнями. Зауважимо про необхідність враховувати можливість збільшення кількості передач в робочому діапазоні завдяки звуження перекриття між робочим та технологічним, або робочим та транспортним діапазонами.

### **3.2. Метод організації однопарних перемикань передач без зворотного зв'язку з датчиками коробки передач**

Такий метод, коли весь діапазон навантажень нафтогазової установки ділиться на під діапазони рекомендовано застосувати на шасі МЗКТ-7413 НА ШАСІ МЗКТ-7413 та його модифікаціях. Особливістю системи управління перемиканнями передач є те, що для кожного перемикання наперед задаються закони зміни тиску. Весь діапазон навантажень нафтогазової установки був роздільний на три під діапазони, кожному з яких відповідав свій режим навантаження: легкий (під діапазон L) - навантаження на причіпному пристрої до 15 кН; середній (під діапазон М) - відповідно до 30 кН; важкий (під діапазон Н) – відповідно до 60 кН. Залежно від навантаження водій повинен вибрати відповідний режим, встановивши перемикач вибору режиму на панелі управління нафтогазової установки, що забезпечить закон зміни тиску в ФМ, який забезпечує мінімальне спрацювання дисків в процесі пробуксовування.

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Метою цього способу є забезпечення безперервності перемикання передач МТА для будь-якого навантаження з вибраного під діапазону одними законами зміни тиску в ФМ, які включається та виключаються в процесі перемикання на вищу або нижчу передачі.

На рис. 3.6 зображені характери зміни моментів  $M_{K-1}$ ,  $M_K$  муфт  $\Phi_{K-1}$  та  $\Phi_K$  в процесі перемикання на вищу передачу, а також мінімальний  $M_{c \min}$ , середній  $M_{c \text{ mid}}$  та максимальний  $M_{c \max}$  моменти опору з одного під діапазону навантажень, приведені до вторинного валу КП. Для перемикання передач без зменшення швидкості МТА налаштування тиску в ФМ повинно бути таким, щоб в кожен момент часу виконувалася нерівність  $M_{K-1} i_{K-1} + M_K i_K \geq M_{c \max}$ . Також прискорення МТА можливе тільки за умови виконання нерівності  $M_K i_K - M_{K-1} i_{K-1} > M_c$ , де  $M_c$  - діючий момент опору з вибраного під діапазону. Ця умова виконується для всіх навантажень з під діапазону на ділянці, розташованій правіше за ділянку  $t_0$  (рис. 3.6). Це вказує на відсутність необхідності в ділянці  $t_0$ .

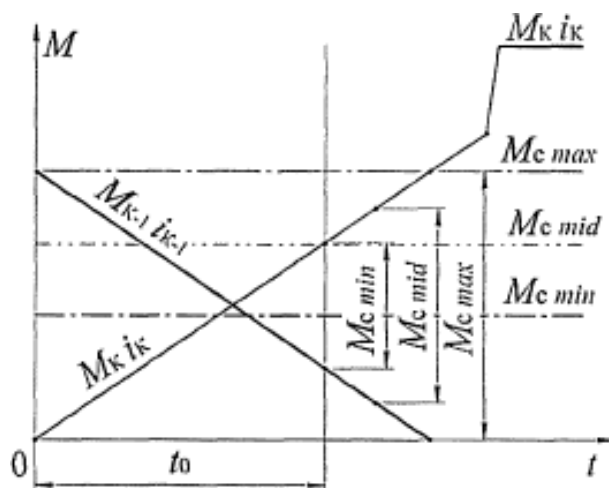
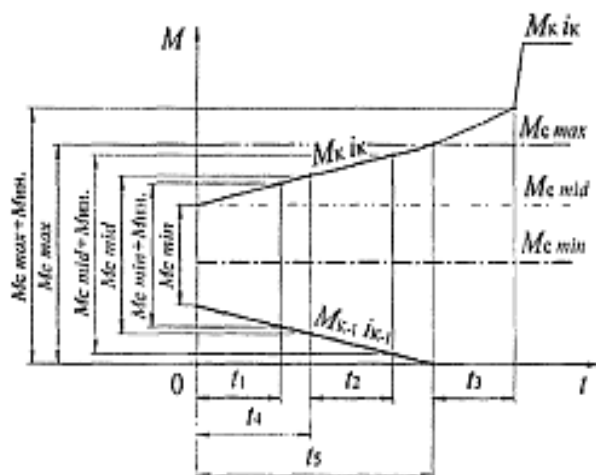


Рисунок 3.6. Переключення на вищу передачу з перетином моментів

Перемикання на вищу передачу для під діапазону навантажень за одних і тих же законах зміни тиску в ФМ доцільно виконувати відповідно до рис. 3.7. Виконуючи моделювання цих графіків умовно прийнято, що під час перемикання передач максимальний момент від сил інерції  $M_{ин}$ ,

					<b>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

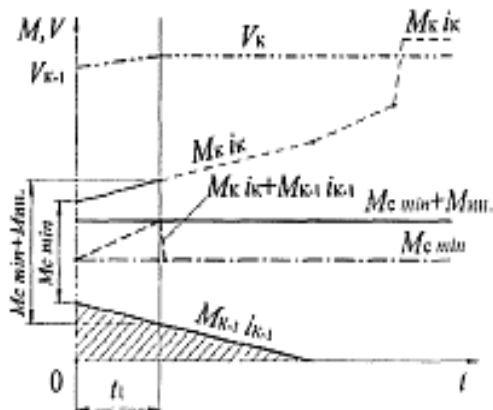
приведений до вторинного валу КП, для всіх навантажень з під діапазону - приймається величиною однаковою.



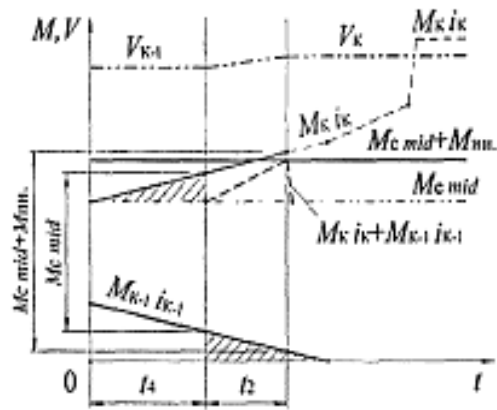
$t_1, t_2, t_3$  – час розгону для плавного перемикання за  $M_{c \min}, M_{c \text{ mid}}, M_{c \max}$  відповідно.

$t_4, + t_1$  – час буксування муфти  $\Phi_k$  за  $M_{c \min}$ ;  
 $t_3, + t_2$  – час буксування муфти  $\Phi_k$  за  $M_{c \text{ mid}}$ ;  
 $t_5, + t_3$  – час буксування муфти  $\Phi_k$  за  $M_{c \max}$ .

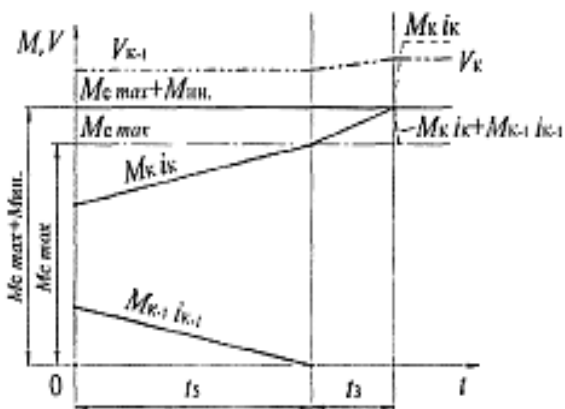
a)



б)



в)



з)

Рисунок 3.7. Організація процесу перемикання на вищу передачу для під діапазону навантажень за одного і того ж закону зміни тиску в ФМ:

a) - в загальному вигляді; б) - діє  $M_{c \min}$ ; в) - діє  $M_{c \text{ mid}}$ ; з) - діє  $M_{c \max}$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

На рис. 3.7а представлений загальний вигляд організації перемикання на вищу передачу для трьох варіантів навантажень. Для отримання безперервності початковий тиск у ФМ повинен бути таким, щоб в кожен момент часу виконувалася умова  $M_{K-1} i_{K-1} + M_K i_K \geq M_{c \max}$ . Також тиск в обох ФМ повинен змінюватися з однаковою інтенсивністю, що дозволить реалізувати якнайменше буксування у ФМ. У зв'язку з прийнятим розділенням перемикань на етапи можна сформулювати наступні цілі для кожного з них:

1. Муфта, яка виключається, замкнута, одночасно та, що включається буксує (до початку прискорення). Мета: утримати замкнутою муфту, яка виключається, до повного падіння моменту, що передається; перехопити муфтою, яка включається, передачу обертового моменту на вторинний вал.

2. Обидві муфти буксують (з моменту початку прискорення до початку руху на  $V_K$ ). Мета: синхронізувати обертання дисків в тій ФМ, яка включається та замкнути її.

3. ФМ, яка включається, замкнута, одночасно та, що виключається - буксує (після початку руху на  $V_K$ ). Цей етап є небажаним, оскільки зумовлює паразитне буксування ФМ, яка вимикається. Але він необхідний, коли немає даних про момент опору.

Перший етап дозволяє забезпечити роботу КП в діапазоні навантажень від нуля до  $M_{K-1} i_{K-1} + M_K i_K \geq M_c$ , без провалу швидкості вторинного валу нижче швидкості передачі, яка виключається. Якщо  $M_{K-1} i_{K-1} - M_K i_K \leq M_c$  та  $M_{K-1} i_{K-1} > M_c$ , то ФМ яка виключається, знімає з вторинного валу КП надмірний момент  $M = M_K i_K - M_c$ , забезпечуючи циркуляцію потужності. Другий етап (інтервали  $t_1, t_2, t_3$ ) характеризується безпосередньо розгоном вторинного валу і тим, що весь момент від тієї ФМ, яка виключається, має негативний знак. Для під діапазону навантажень характер нахилу кривої сумарного моменту визначає плавність перемикання.

Для третього етапу характерний момент опору, менший максимального, та здійснюється рухом МТА із швидкістю передачі, що включається, та паразитним буксуванням ФМ, яка вимикається і намагається зірвати іншу в

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

буксування. Заштриховані області на графіках показують приведений до вторинного валу момент на муфті, який йде на її буксування та циркуляцію потужності в контурі КП.

Для перемикаць на вищу передачу представлено наступні рекомендації:

1. Зміну тиску в тій ФМ, яка включається доцільно проводити в два етапи: з інтенсивністю зміни тиску в муфті, яка виключається, та з більшою інтенсивністю (після повного розмикання муфти).

2. Інтенсивність зміни тиску в тій ФМ, що включається на другій стадії повинна бути рівна інтенсивності зміни сумарного моменту при навантаженнях, менших максимального з під діапазону.

3. Початковий тиск в тій ФМ, яка включається повинен відповідати середньому з під діапазону моменту опору, приведену до її валу, а в тій, що вимикається - різниці  $M_{c \max} - M_{c \text{mid}}$ , приведеній до її валу. Кінцеве значення тиску в ФМ, яка виключається повинне відповідати нульовому моменту.

На основі результатів моделювання здійснюється вибір інтенсивності та часу зміни тиску в обох ФМ. При цьому чинниками, що визначають час, як уповільнення, так і розгону є: робота буксування обох муфт; динамічні навантаження, залежні від інерції МТА і навантаження на причіпному механізмі; плавність, залежна від частоти обертання колінвалу двигуна, передавальних чисел передач, інерційних параметрів системи.

Розглянемо перемикання на вищу передачу відповідно до вище описаного способу для максимального навантаження  $M_{c \max}$  з під діапазону навантажень (рис. 3.8). Цей випадок складатиметься з першого та другого етапів описаних в розділі 2. Розгін МТА до швидкості  $V_k$  і замикання на другому етапі ФМ, яка включається, відбудеться при перетині моменту  $M_k i_k$ .

Цей спосіб застосовний для перемикаць передач технологічного та робочого діапазонів при перемиканнях передач нафтогазової установки зі знаряддями, де момент від сил інерції буде значно менше моменту від навантаження на причіпному пристрої. Транспортний діапазон на нафтогазових установках характеризується порівняно високими швидкостями і може використовуватися при русі без

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



організації перемикачів. З графіків видно, що така організація перемикачів дозволяє отримати необхідну плавність ( $a \leq 1,5 \text{ м/с}^2$ ) для всього під діапазону навантажень.

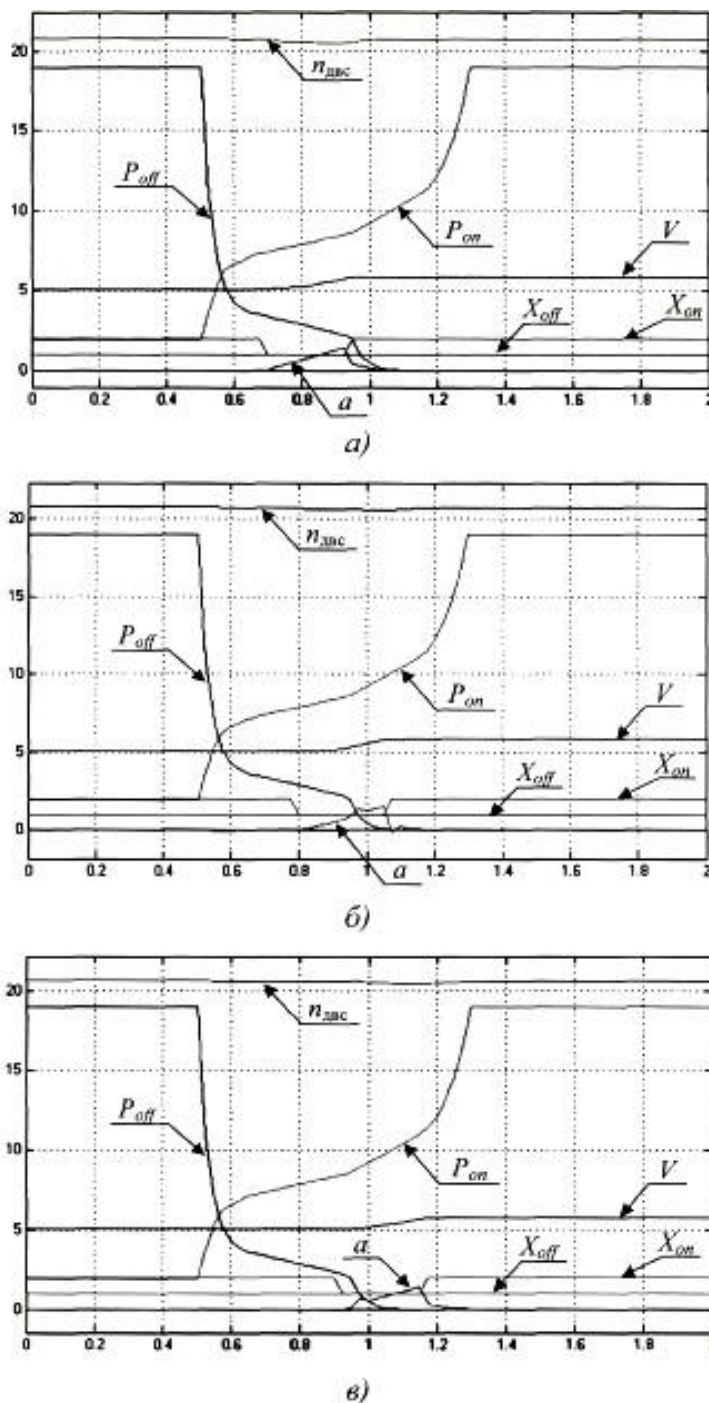


Рисунок 3. 9. Результати моделювання перемикачів передач з п'ятої на шосту: а) -  $P_{ГК} = 30 \text{ кН}$ ; б) -  $P_{ГК} = 45 \text{ кН}$ ; в) -  $P_{ГК} = 60 \text{ кН}$ ;  $P_{off}$ ,  $P_{on}$  - тиск в бустері ФМ, яка виключається та включається, ( $\times 10^{-1}$ ) МПа;  $V$  - швидкість МТА, км/год;  $a$  - прискорення МТА,  $\text{м/с}^2$ ;  $X_{off}$ ,  $X_{on}$  - індикатори стану фрикційних муфт

Характер організації перемикання на нижчу передачу багато в чому залежить від мети перемикання і навантаження на двигун. Якщо метою є зниження швидкості перед поворотом (на транспортних роботах), то допустимі зниження швидкості за рахунок опору руху та розрив потоку потужності. Якщо метою перемикання передач є недопущення перевантаження двигуна або зниження швидкості в кінці гону з високим тяговим навантаженням, то необхідно забезпечити перемикання без розриву потоку потужності.

Перемикаючись на нижчу передачу момент від сил інерції носитиме протилежний знак по відношенню до моменту опору. Тому перемикання нафтогазової установки з причепом можна організувати з розривом потоку потужності. Частіше, щоб забезпечити уповільнення за мінімальний проміжок часу до швидкості нижчої передачі, недостатньо розімкнути муфту, необхідно подавати тиск в гальмуючу муфту нижчої передачі. Працюючи з одним знаряддям характер зміни моменту сил інерції  $M_{ин}$  від часу етапу уповільнення на суміжних передачах має гіперболічний характер за умови, що в процесі перемикання передач,  $\omega_{двз} = const$ . Одночасно самогальмування МТА з швидкості вищої передачі до швидкості нижчої при розімкненій муфті, відбудеться на перетині різниці  $(M_c - M_{ин})$  з віссю часу (рис. 3.10, а), тобто коли  $M_c = M_{ин}$ . За тривалістю самогальмування можна судити про доцільність перемикання з розривом потоку потужності: розрив потоку потужності допустимий (рис. 3.10, а) якщо цей час знаходиться в межах 0,4-1,0 с; якщо час більше 1,0 с, то необхідно задіювати муфту, яка включається, для швидшого уповільнення (рис. 3.10, б); необхідно використовувати муфту, яка виключається, для менш швидкого уповільнення (рис. 3.10, в) якщо час менше 0,4 с.

Перемикаючись на нижчу передачу динамічні навантаження на елементи трансмісії виникатимуть тільки за умови застосування муфти, яка включається. Гальмування муфтою (рис. 3.10, б), яка включається, доцільно застосовувати на транспортному діапазоні, коли інерційні сили відносно значні та можуть при організації перемикання з розривом потоку потужності (рис.

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

3.10, з) надмірно затягнути процес перемикання за часом. У цій схемі відбувається вибіг колінвала двигуна по швидкості, що в значній мірі прискорює процес синхронізації дисків муфти, що включається. Тому, якщо не враховувати зміну швидкості обертання колінвала на перемиканнях з важкими причепами (10-20 т), це може привести до значних погрешностей при визначенні основних параметрів процесу перемикання передач.

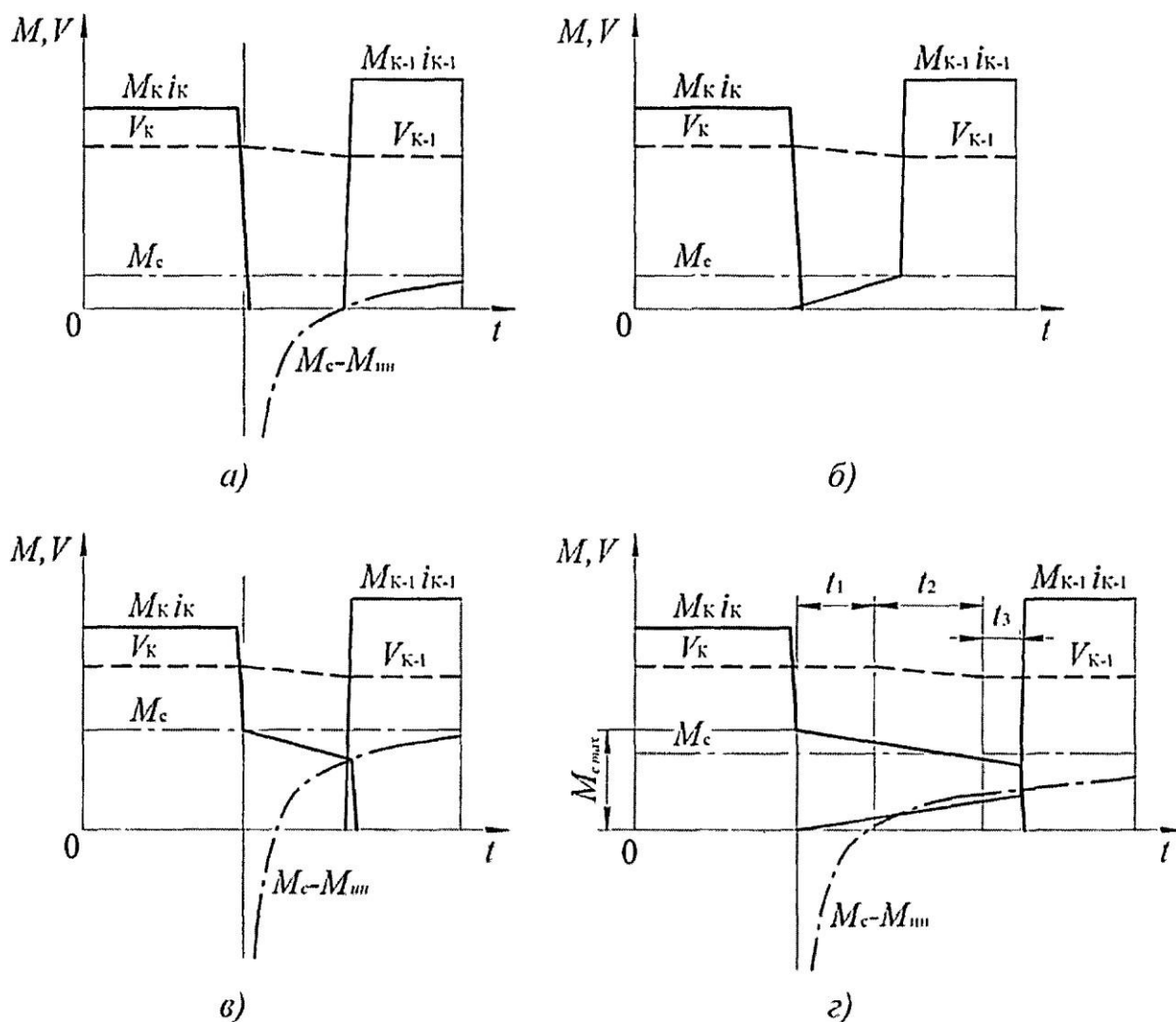


Рисунок 3.10. Однопарне перемикання на нижчу передачу з однаковою тривалістю сповільнення: а) – з розривом потоку потужності; б) – гальмування муфтою, яка включається; в) – гальмування муфтою, яка виключається; з) – сповільнення завдяки буксуванню обох муфт

Перемикання на нижчу передачу завдяки муфти (рис. 3.10, в), яка виключається, має сенс застосовувати для запобігання над швидкого

уповільнення МТА. В даному випадку лімітуючими чинниками виступатимуть плавність перемикавання та робота буксування муфти, яка вимикається.

Організовуючи перемикавання на нижчу передачу без зворотного зв'язку з сенсорами КП, представлені дослідження дають можливість сформулювати наступні рекомендації:

1. Інтенсивність і час зміни тиску в обох ФМ повинні бути однаковими.
2. Початковий тиск в ФМ, яка вимикається повинне відповідати максимальному моменту опору, приведеному до її валу; максимальний тиск - визначатиметься вибраною інтенсивністю та часом зміни тиску в її бустері.
3. Початковий тиск в муфті, яка вмикається, повинен відповідати нульовому моменту з подальшим збільшенням до значення, визначуваного інтенсивністю і часом його зміни.

### **3.3. Робочий процес розгону і перемикавання передач**

Проведемо аналіз робочого процесу розгону і однопарного перемикавання передач без розриву потоку потужності з підключенням муфт для варіанту КП з трьома фрикційними муфтами на первинному валу та сенсорами обертів (рис. 2.1).

Спільна робота декількох муфт дозволяє зменшити роботу буксування муфти, що включається. Це відбувається тільки за умови підключення муфт вищих передач під час перемикавання на вищу передачу, а перемикаючись на нижчу передачу - муфт нижчих передач. Перемикаючись на вищу передачу частота обертання ведених дисків муфти вищої передачі менша ведучих (позитивне буксування), тобто дана муфта підводить момент до вторинного валу.

Для перемикань на нижчу передачу характерно, що муфта яка включається, виконує функцію гальма, а частота обертання ведених дисків муфти нижчої передачі більша ведучих (негативне буксування), тобто муфта також гальмує вторинний вал.

					<b>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Під час рушання на передачі  $K$ , коли з муфтою  $\Phi_k$  додатково підключається  $\Phi_{k-1}$  моменти двох муфт додаються. Як тільки їх сума стане рівна або дещо перевищить момент опору на вторинному валу, відбувається початок обертання або розгін МТА. Досягши швидкості руху на передачі  $K_{-1}$  муфта  $\Phi_{k-1}$  перестане пробуксовувати. Подальше збільшення швидкості вторинного валу завдяки відповідній подачі тиску в муфту вищої передачі  $\Phi_k$  забезпечить початок пробуксовування муфти нижчої передачі  $\Phi_{k-1}$  та відбір моменту від вторинного валу, тобто моменти муфт почнуть відніматися.

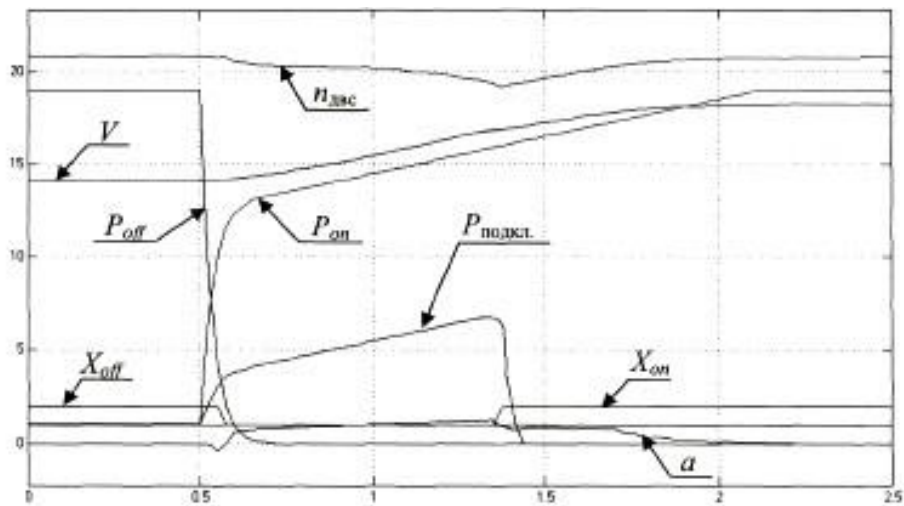
Процес рушання виконується в три етапи. На першому етапі розгону спільна робота муфт  $\Phi_k$ , та  $\Phi_{k-1}$  дозволяє зменшити роботу буксування  $\Phi_k$ . Щоб уникнути виникнення циркуляції потужності в контурі цих муфт потрібно виконати скидання тиску в муфті, яка підключається, до часу виходу моменту муфти  $\Phi_k$  на момент опору. Момент скидання тиску визначається на основі даних з сенсорів обертів  $T_1$  та  $T_2$ . Як тільки  $\Phi_{k-1}$  перестає буксувати, тиск в її бустері скидається до нуля.

На рис. 3.11 представлені результати моделювання перемикання передач 13-14 нафтогазової установки на шасі МЗКТ-7413. Вихідний момент двигуна (без урахування циркулюючого) приведений до проміжного валу. Фрикційна муфта, яка включається, на даному перемиканні буде  $\Phi_1$ , а та що вимикається -  $\Phi_2$ . Моделювання показало, що робота буксування  $\Phi_2$  в процесі перемикання становить  $A_{\text{букс}} = 29042$  Дж. Тобто за рахунок ФМ, яка підключається вдалося зменшити роботу буксування.

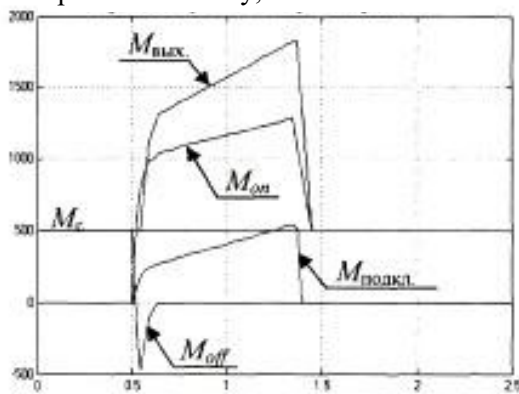
Аналогічним чином можна організувати перемикання на нижчі передачі з підключенням гальмуючих ФМ нижчих передач.

Результати моделювання показали, що за однопарного перемикання між муфтами основної або діапазонної частин КП підключення муфт тієї ж частини КП, яка включається, дасть можливість зменшити роботу буксування, але одночасно сумарна робота буксування ФМ може бути більша, ніж в процесі роботи однієї муфти.

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Моменти від ФМ приведені до проміжного валу, Нм



Потужність буксування ФМ, Вт

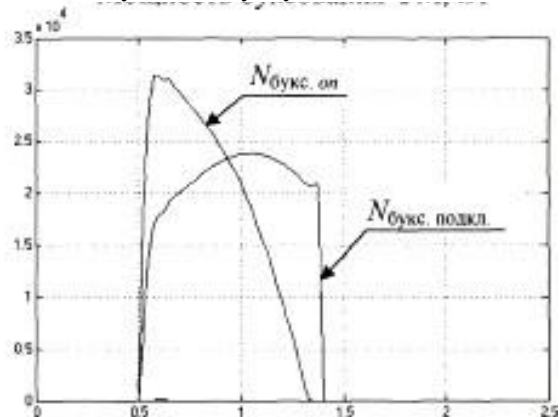


Рисунок 3.11. Результати моделювання перемикання передач 13-14 нафтогазової установки на шасі МЗКТ-7413

### Висновки за розділом

1. На основі математичної моделі, запропоновано рекомендації з організації однопарних перемикань передач відповідно до методу без зворотного зв'язку з датчиками КП, що забезпечує перемикання передач без розриву силового потоку для будь-якого навантаження з вибраного під діапазону.

2. Встановлено, що обмежуючим чинником для організації перемикання на вищі передачі з розгоном тільки за рахунок муфти, яка включається, виступатимуть динамічні навантаження на елементи трансмісії. Обмежуючим чинником для організації перемикання

на нижчі передачі з уповільненням тільки за рахунок муфти, яка виключається, виступатиме її робота буксування.

3. Оцінку плавності перемикання слід виконувати за максимального розмаху коливань першої похідної повздовжнього прискорення МТА, який не повинен перевищувати  $33,3 \text{ м/с}^3$ , при цьому граничне прискорення МТА по модулю не повинне перевищувати  $1,5 \text{ м/с}^2$ .

4. Виникнення в процесі перемикання на вищу передачу ривка у русі нафтогазової установки можливе тільки на початку або в кінці етапу прискорення. Перемикаючись на нижчу передачу з уповільненням - тільки в кінці етапу. Причиною ривка на початку етапу буде невідповідність тиску в муфті, яка включається, моменту опору, приведеному до її валу, а причиною в кінці - дуже рано подається повний тиск у фрикційну муфту, яка включається. Також ривок на етапі розгону можливий за перемикання з використанням муфт, які включаються та виключаються, після розмикання останньої, коли циркулююча потужність вивільняється з контуру КП.

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

## 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМИКАННЯ ПЕРЕДАЧ ГМТ

### 4. 1. Програма дослідження

За об'єкт експериментальних досліджень використовувалася коробка передач сільськогосподарської нафтогазової установки на шасі МЗКТ-7413. Ця КП (рис. 4.1) дозволяє здійснювати перемикання передач без розриву потоку потужності та забезпечує отримання трьох діапазонів швидкостей руху переднього ходу (технологічного, робочого і транспортного - 16 передач) і одного діапазону швидкостей заднього ходу (4 передачі, але використовується 3).

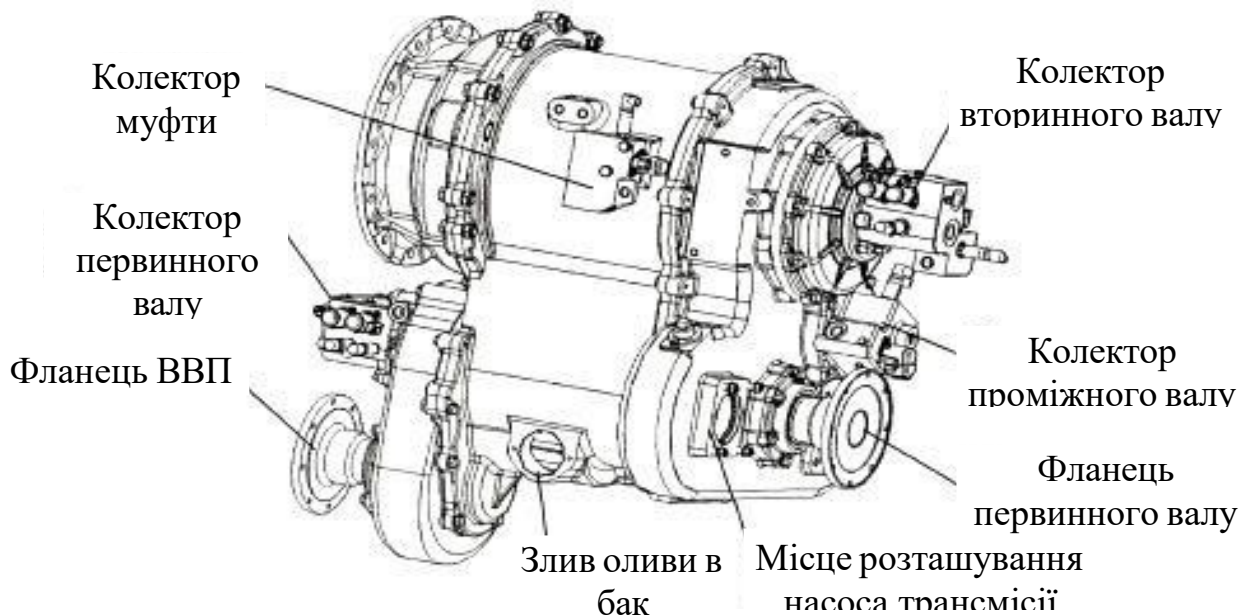


Рисунок 4. 1. Загальний вигляд КП нафтогазової установки на шасі МЗКТ-7413

Швидкості нафтогазової установки на шасі МЗКТ-7413 у кожному діапазоні розраховані для номінальної частоти обертання колінвалау двигуна (2100 об/хв) та знаходяться в наступних межах (рис. 4.2):

- технологічний діапазон (чотири передачі) - від 0,522 до 1,097 м/с (1,88- 3,95 км/год), здійснюються шляхом послідовного включення фрикційних муфт Ф1, Ф2, Ф3, Ф4, розташованих на первинному і проміжному валах, та муфти ТА, розташованої на вторинному валу;

					<b>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

- робочий діапазон (вісім передач) - від 1,425 до 3,44 м/с (5,13-12,4 км/год), отриманий шляхом маніпуляції послідовністю включення муфт Ф1, Ф2, Ф3, Ф4 і муфт ФБ та ФВ, розташованих на вторинному валу;
- транспортний діапазон (чотири передачі) - від 3,972 до 8,333 м/с (14,3- 30,0 км/год), створений шляхом послідовного включення муфт Ф1, Ф2, Ф3, Ф4 і муфти ФГ, розташованої на вторинному валу;
- діапазон швидкостей заднього ходу (три передачі) - від 0,597 м/с до 4,556 м/с (2,15-16,4 км/год), отриманий шляхом послідовного включення муфт ТА, ФБ, ФГ та муфти ФЗХ.

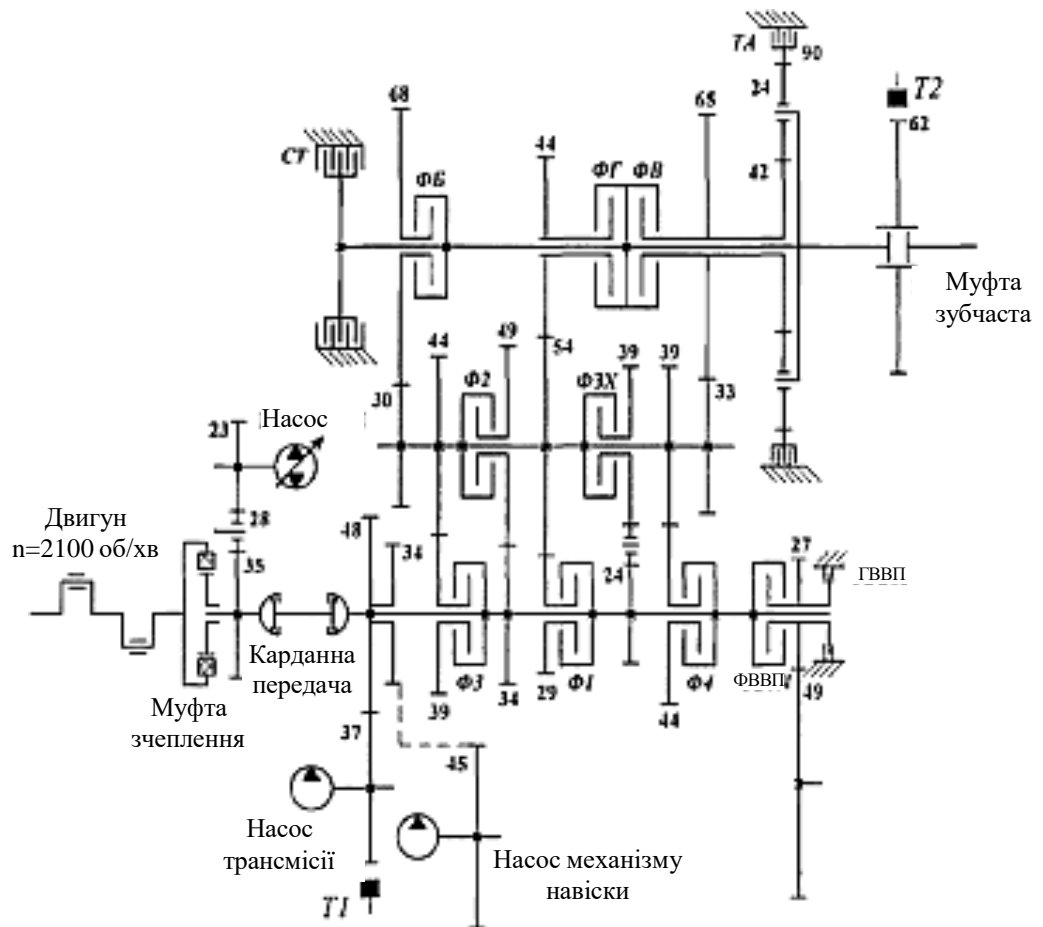


Рисунок 4.2. Кінематична схема коробки передач НГТТ на шасі МЗКТ-7413

За допомогою електрогідравлічного приводу управлінням фрикційними муфтами включення відповідних пар шестерень здійснюється перемикання передач. Процес перемикання без розриву силового потоку досягається

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

управлінням тиску в кожній фрикційній муфті окремим електрогідравлічним пропорційним клапаном (рис. 4.3).

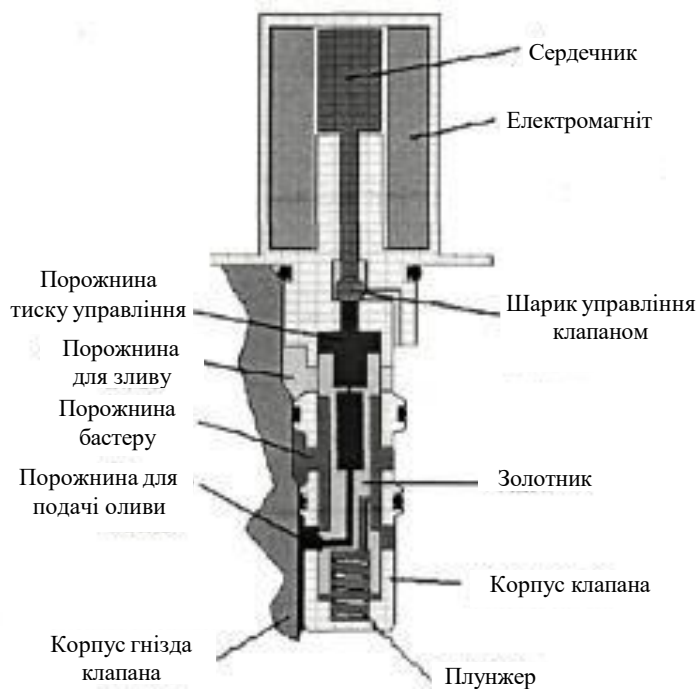


Рисунок 4.3. Електрогідравлічний пропорційний клапан

На гідравлічній схемі КП (рис. 4.4.) застосовано наступні позначення:  $K_{\Phi 1}$ ,  $K_{\Phi 2}$ ,  $K_{\Phi 3}$ ,  $K_{\Phi 4}$ ,  $K_{\Phi 3X}$ ,  $K_{\Phi Б}$ ,  $K_{\Phi В}$ ,  $K_{\Phi Г}$ ,  $K_{ТА}$ ,  $K_{СТ}$ ,  $K_{ФВВП}$ ,  $K_{ГВВП}$  - пропорційні клапани муфт  $\Phi 1$ ,  $\Phi 2$ ,  $\Phi 3$ ,  $\Phi 4$ ,  $\Phi 3X$ ,  $\Phi Б$ ,  $\Phi В$ ,  $\Phi Г$ ,  $ТА$ , муфти відключення стоянкових гальма  $СТ$ , муфти включення та гальмування валу відбору потужності  $ФВВП$ ,  $ГВВП$ ; давачі тиску у відповідних муфтах -  $D_{\Phi 2}$ ,  $D_{\Phi 3}$ ,  $D_{\Phi 4}$ ,  $D_{\Phi 3X}$ ,  $D_{\Phi Б}$ ,  $D_{\Phi В}$ ,  $D_{\Phi Г}$ ,  $D_{ТА}$ ,  $D_{ФВВП}$ . Тиск 2,4-2,5 МПа подається на стоянкове гальмо  $СТ$  для його виключення.

Для управління зупинними гальмами подається тиск 1,9 МПа в канали перед пропорційними клапанами. Для забезпечення «мокрого» тертя дисків у ФМ подається тиск 0,3-0,4 МПа в канали змащування. Розподіл оливи по гідросистемі здійснюється через блок клапанів (не показаний на рис. 4.4), з фільтром тонкого очищення. В блок клапанів поступає олива з бака гідросистеми трансмісії від двохсекційного шестерінчастого насоса.

Експериментальні дослідження проводились з метою перевірки адекватності створеної математичної моделі та, як наслідок, правильності

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

сформульованих критеріїв для вибору законів перемикачів. Також експериментально перевірити можливість організації однопарних перемикачів з мінімальним перекриттям, яке залежить тільки від швидкості спрацювання електрогідравлічних пропорційних клапанів. Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

1. Провести оцінку основних параметрів процесів перемикачів;
2. Порівняти отримані результати з результатами моделювання та оцінити погрішність математичної моделі.

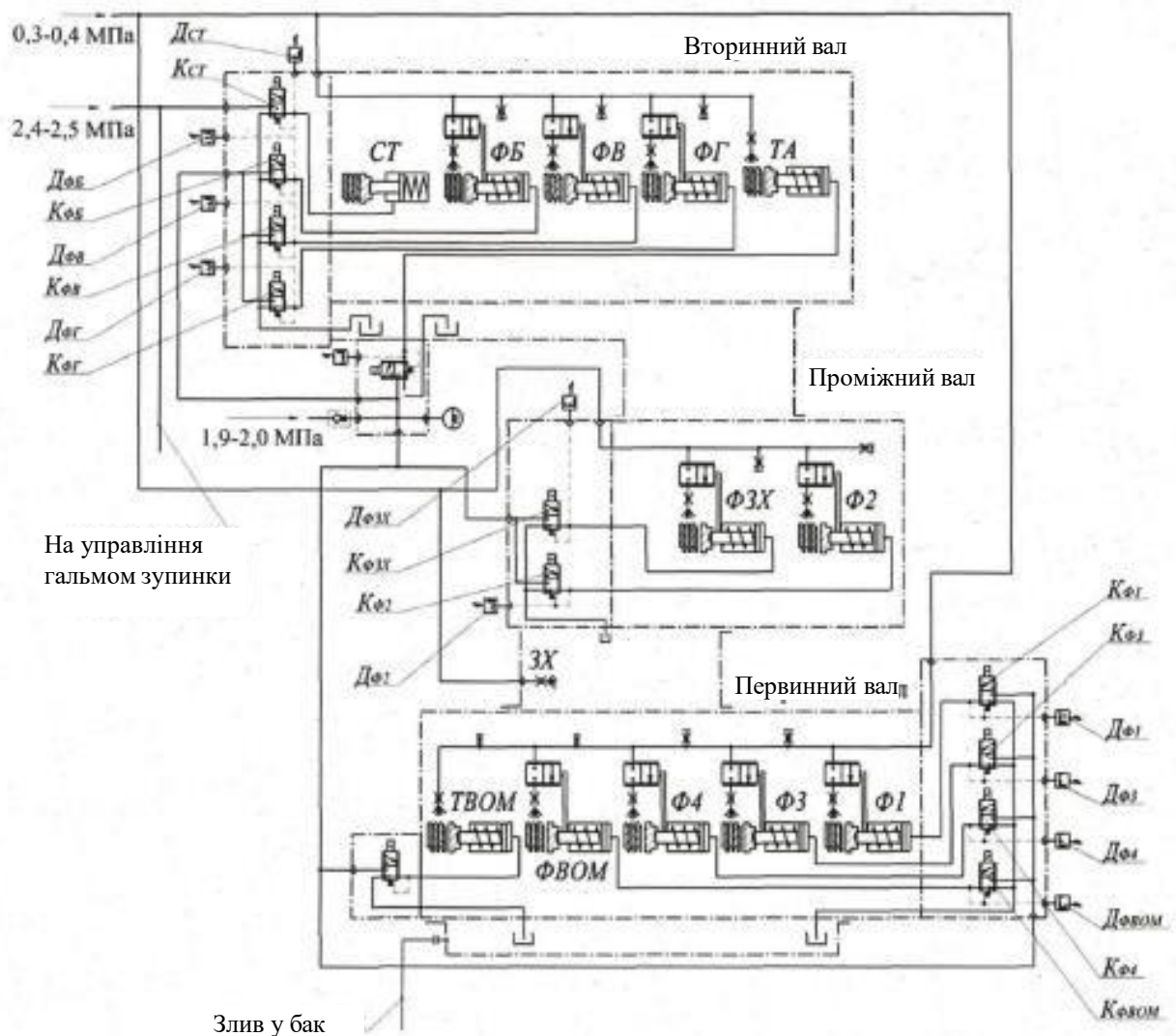


Рисунок 4.4. Гідравлічна схема КП нафтогазової установки на шасі МЗКТ-7413

## 4.2. Устаткування та результати експериментальних досліджень

В процесі польових випробувань нафтогазової установки на шасі МЗКТ-7413 у цеху технологічного транспорту нафтогазовидобувного управління "Надвірнанафтогаз» була поставлена задача здійснити налагодження перемикачів передач безпосередньо на самому шасі МЗКТ-7413.

На шасі МЗКТ-7413 був встановлений двигун QSM11-C330 фірми «Cummins» з характеристикою, яка забезпечує в інтервалі частот обертання колінвала 1400-2100 об/хв., постійну потужність. На рис. 4.5 приведені результати його гальмівних випробувань.

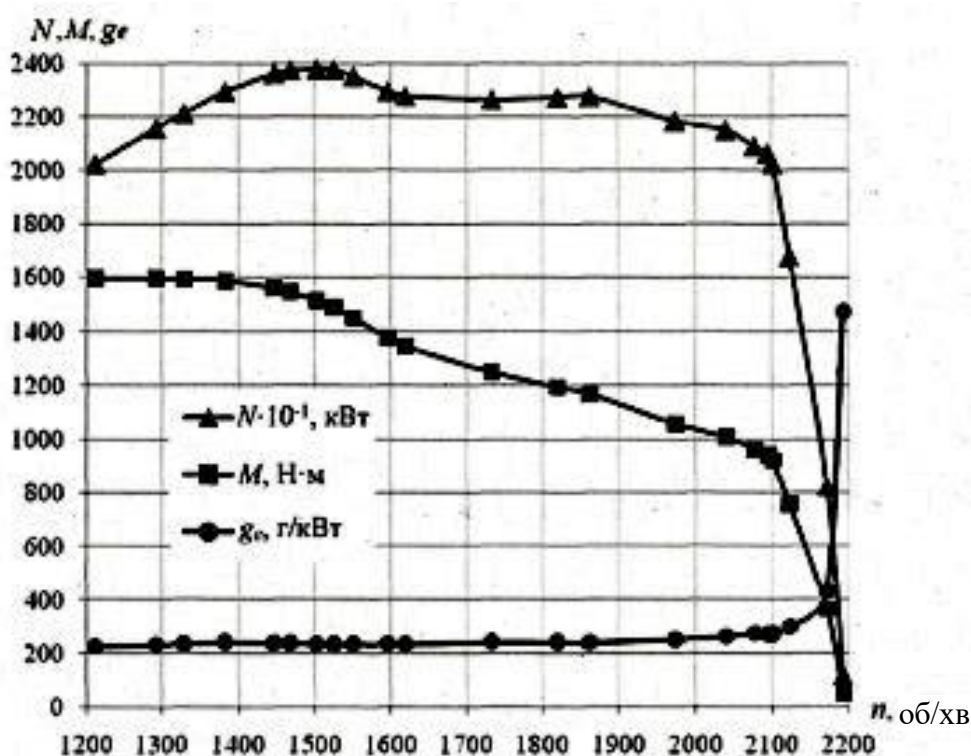


Рисунок 4. 5. Гальмівна характеристика двигуна QSM11-C330

Цей двигун обладнаний електронною системою управління подачею палива. Згідно результатів гальмування на часткових режимах бачимо (рис. 4.6), що його момент збільшується по регуляторній гілці характеристики до виходу на коректорну гілку, з подальшою зміною вздовж останньої. Для повертання колінвала непрацюючого двигуна потрібно прикласти момент 200 Нм. Особливістю системи управління перемикачними передачами на шасі МЗКТ-7413 є те, що для кожного перемикачів спочатку задаються закони зміни

тиску. Причому весь діапазон навантажень нафтогазової установки був роздільний на три під діапазони, кожному з яких відповідав свій режим навантаження: легкий - навантаження на причіпному пристрої до 10 кН; середній – відповідно до 30 кН; важкий – до 60 кН.

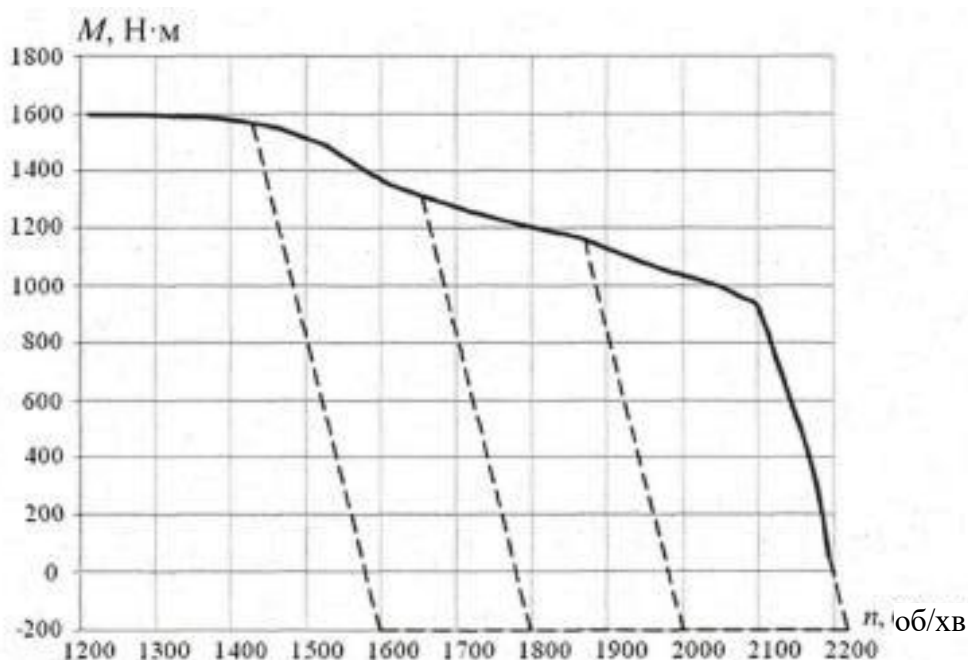


Рисунок 4.6. Зміна моменту обертання двигуна QSM11-C330 на шасі МЗКТ-7413 залежно від положення важеля подачі палива

Залежно від навантаження на причіпному пристрої водій вибирає відповідний режим, повернувши перемикач вибору режиму на панелі управління нафтогазової установки. Згідно положення цього перемикача включання передач відбуваються за відповідних законів зміни тиску.

На шасі МЗКТ-7413 управління трансмісією здійснюється через контролер трансмісії (рис. 4.7), який зберігає в своїй пам'яті закони зміни тиску, а також отримує інформацію від датчиків тиску та обертів первинного і вторинного валів КП. Під час налаштувань процесу перемикачів до контролера трансмісії під'єднувався спеціально розроблений реєструючий пристрій, який кожні 25 мс виконує записи наступних параметрів: тиск у фрикційних муфтах та в муфті СТ, робочий тиск в гідросистемі, частота обертання первинного валу КП, частота обертання вторинного валу в перерахунку на швидкість нафтогазової установки. Після виконання ряду перемикачів передач до реєстратора під'єднувався ноутбук, на

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

якому відображаються таблиці з перерахованими вище параметрами. Потім за допомогою програми Microsoft Excel згідно отриманих даними будувалися графіки.

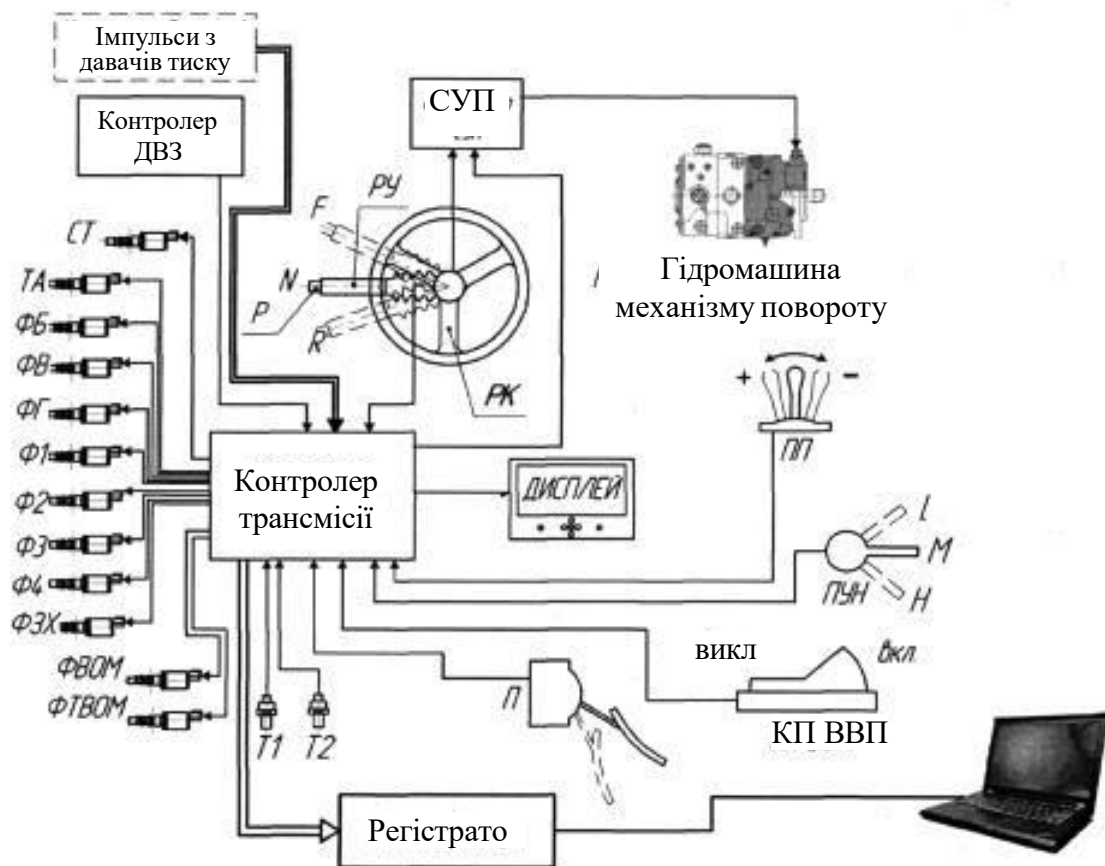


Рисунок 4.7. Схема системи управління нафтогазової установки на шасі МЗКТ-7413: БУ - блок управління трансмісією; РК - кермове колесо; РУ - важіль управління, забезпечує вибір напрямку руху («F» - вперед, «R» - назад, «N» - нейтральне); Р - кнопка включення/виключення гальма стоянки; П - педаль зчеплення; ПП - клавіша вибору номера передачі; ПУН - перемикач режимів процесу перемикання передач по навантаженню («L» - низьке навантаження, «M» - середнє, «H» - високе); Т1, Т2 - датчі частоти обертання первинного та вторинного валів КП відповідно; КП ВВП - клавійний перемикач ВВП; СУП - система управління поворотом

Для перевірки відповідності таблиць з новими законами зміни тиску в муфтах та їх записування в пам'ять контролера трансмісії використовувалися спеціально написані в середовищі C++ програми Launch.exe і Record.exe.

Зміни тиску в муфтах здійснюється завдяки комплекту програм-законів, які включають п'ятнадцять перемикачів з нижчої передачі на вищу під час руху переднім ходом, два перемикачів з нижчої передачі на вищу при русі заднім ходом. Цей комплект подвоюється завдяки перемикачів з вищої передачі на нижчу та ще раз потроюється за рахунок розділення експлуатаційного навантаження на під діапазони. У повний пакет програм-законів зміни тиску входить сто дві програми.

Для контролера трансмісії нафтогазової установки як крок отримання даних зі всіх датчиків був вибраний  $t = 0,025$  с, тобто частота фіксування сигналів становить 40 Гц.

Індуктивні датчики типу 1101.3843 з максимальною частотою вторинних імпульсів 4000 Гц застосовуємо для вимірювання частот обертання первинного та вторинного валів КП. Частота обертання первинного валу визначається через передавальне число  $i=37/48$  на основі даних з датчика T1; відповідно вторинного валу - на основі даних з сенсора T2. Весь процес визначення швидкостей обертання зводиться до виміру часу між імпульсами та розрахунку частоти імпульсів, що згенерують датчиком. На точність вимірювань частот обертання валів КП впливають наступні основні чинники:

1. Точність виготовлення шестерні, по якій йде вимірювання; наявність на ній сколів; коливання валу. Ці чинники викликають зміни індукції магнітного поля датчика.

2. Власна точність датчика. Погрішність застосованого індуктивного датчика складає  $\pm 5$  об/хв.

Реєстрація тиску на кожній фрикційній муфті здійснювалась тензOMETричними датчиками тиску моделі M10 фірми Wika з межею вимірювання від 0 до 4 МПа. На точність вимірювань тиску здавачів впливають наступні основні чинники:

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

1. Давачі встановлені в каналі підведення оливи після пропорційного клапана, а не безпосередньо в бустері муфти. З цієї причини на етапі заповнення бустера (подолання зусилля віджимання пружин) тиск в бустері може бути значно менше, ніж в каналі підведення. Погрішність може досягати 60%, і залежить від температури оливи. З підвищенням температури оливи, погрішність зменшується. Дане явище відбувається тільки коли поршень рухається. Якщо етап заповнення закінчився, тиск в каналі та бустері можна прийняти рівними.

2. Наявність значних підтікань (через низьку якості виготовлення деталей або збирання КП, незадовільну роботу ущільнень) може також привести до невідповідності тиску виміряного в бустері та в каналі підведення. Згідно технічних характеристик, витоки в муфтах КП за різних температур оливи не перевищують 2 л/хв. Дані значення підтікань допустимі, тому ними можна нехтувати.

3. Погрішність давача не перевищує 0,02 МПа (0,5% від діапазону тиску, вимірюваного датчиком).

Температура оливи в першу чергу робить вплив на відповідність реального тиску законам його зміни. За даними з реєстратора видно, що на етапі безпосереднього управління швидкістю вторинного валу для муфти, яка включається, реальні значення тиску виконуються з тимчасовою затримкою та відставанням від закону по значеннях тиску. Працюючи з прогрітою оливою тимчасова затримка зменшується і становить 0,05-0,08 с, а відставання реальних значень тиску від закону - 0,02-0,07 МПа. В муфтах необхідно задавати тиск на 0,03-0,04 МПа більше розрахункового з метою попередження відставання реального тиску від закону його зміни.

Подаючи команду на миттєве збільшення тиску в муфті, реальне виконання не буде мати вертикальної прямої, через гідравлічні особливості пропорційних клапанів та гідросистеми. Але працюючи з прогрітою оливою максимальна швидкість збільшення тиску в бустері становить 0,3-0,4 МПа/крок (крок - 0,025 с) або 12-16 МПа/с, що буде близьким до вертикалі. Подаючи

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

команди на миттєве скидання тиску в муфті, яка вимикається, швидкість скидання тиску також знаходиться в межах 0,3-0,4 МПа/крок.

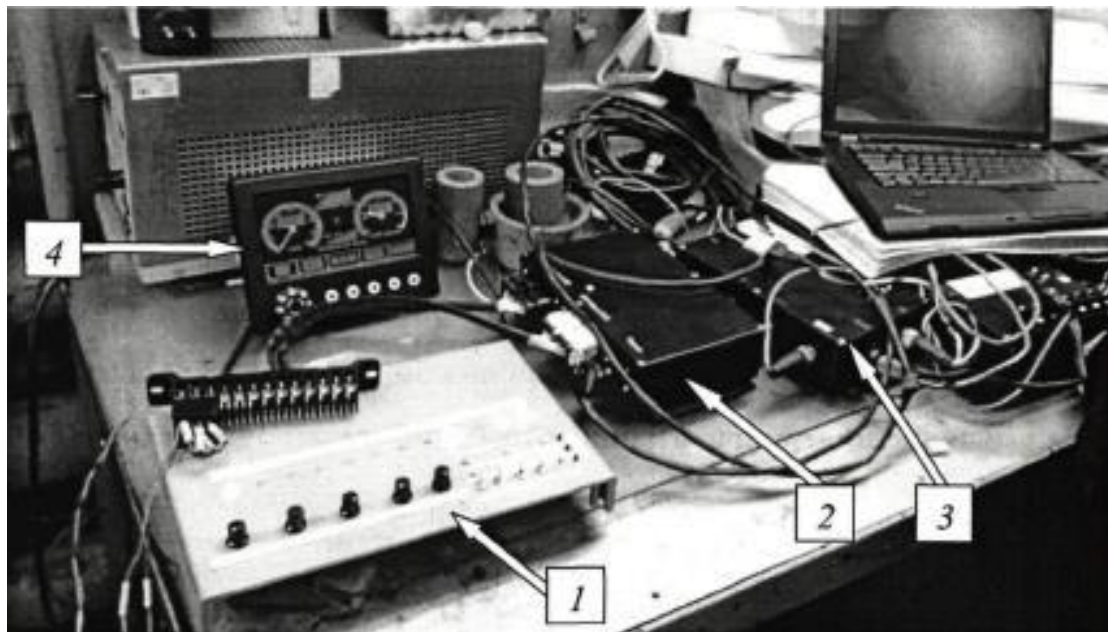


Рисунок 4.8. Загальний вигляд стенду для налаштування алгоритму роботи системи управління КП нафтогазової установки на шасі МЗКТ-7413:  
1 - пульт управління; 2 - контролер трансмісії; 3 - реєстратор; 4 - дисплей

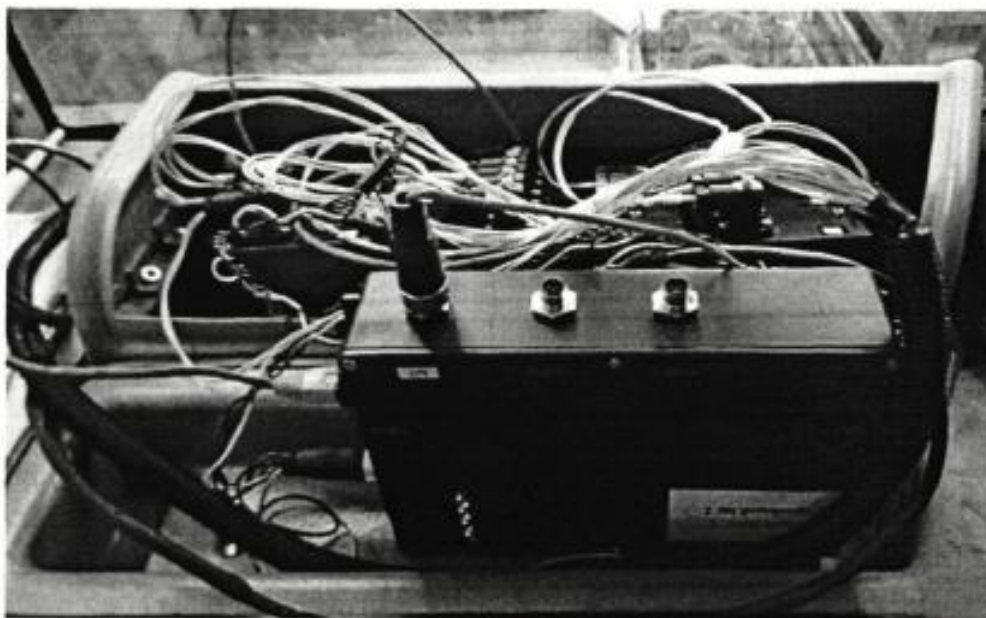


Рисунок 4.9. Приєднання реєстратора в кабіні нафтогазової установки на шасі МЗКТ-7413

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Згідно технічних характеристик давачів тиску та частот обертання, виконані вимірювання можна вважати порівняно точними і достатніми для досягнення поставленої мети експериментальних досліджень.

Налаштування перемикачів передач виконувались у робочому діапазоні на легкому та важкому режимах, а у транспортному і технологічному діапазонах - на легкому та середньому режимах.

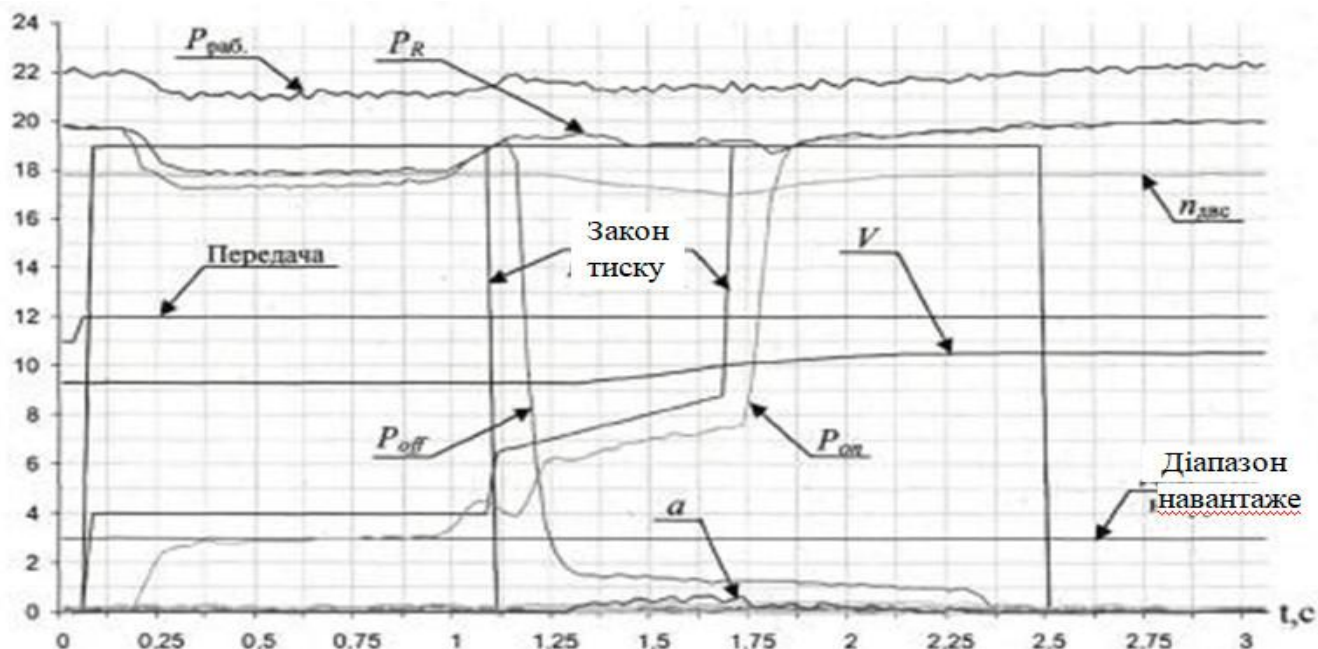
На основі даних про зміну тиску в ФМ, та даних з датчиків частот обертання валів КП визначено відносні швидкості ковзання дисків муфт, передані ними моменти, та потужності їх буксування. Це дозволяє порівняти результати моделювання з результатами експериментальних досліджень та визначити похибку розробленої математичної моделі.

Як і для застосованої математичної моделі було прийнято, що коефіцієнт опору руху під час перемикачів та коефіцієнт тертя елементів ФМ є постійними величинами. Тоді відповідно до тиску змінюватиметься момент тертя ФМ.

Момент опору  $M_c$  (Нм), приведений до вторинного валу, визначається на основі тиску з давачів та фактичним передавальним числом КП  $i = n_{\text{двз}} / n_{\text{втор}}$  за даними з давачів частот обертання валів. Як тільки реєструється зміна  $i$  (перемикаючись на вищу передачу - зменшується, відповідно на нижчу - збільшується), це говорить про те, що зірвало в буксування муфту, яка вимикається.

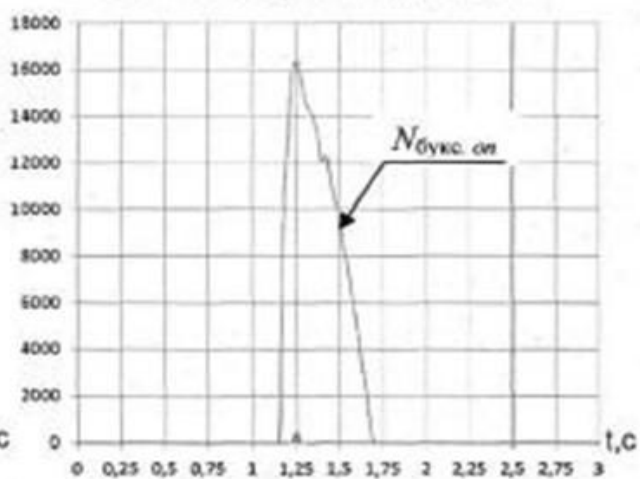
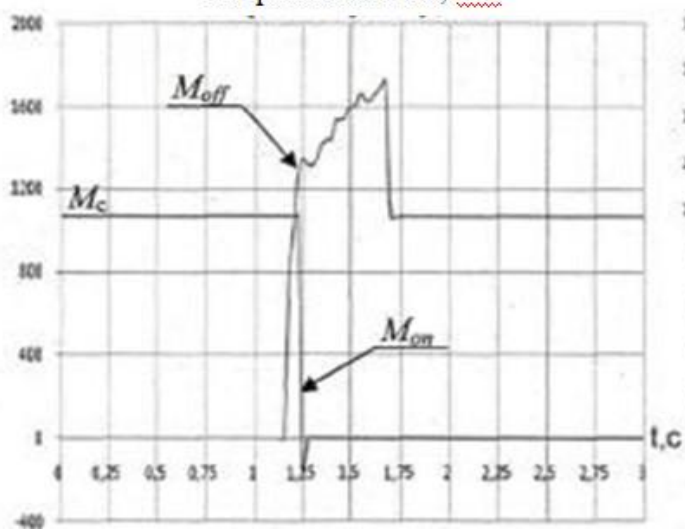
На рис. 4.10 та 4.11 подано експериментально отримані параметри процесу перемикачів передач нафтогазової установки на шасі МЗКТ-7413. Ці параметри позначено таким чином: номер діапазону - режим навантаження (2 - легкий, 3 - середній, 4 - важкий); передача - номер поточної передачі (визначається за положенням кнопки вибору передачі);  $P_{\text{роб}}$  - робочий тиск в гідросистемі трансмісії, ( $\times 10^{-1}$ ) МПа;  $P_R$ ,  $P_{\text{он}}$ ,  $P_{\text{off}}$  - тиск в постійно замкнутій ФМ для даного перемикачів, в тій, яка включається та відповідно вимикається, які реєструються давачами тиску, ( $\times 10^{-1}$ ) МПа; закони тиску - закон зміни тиску у відповідній ФМ, ( $\times 10^{-1}$ ) МПа;  $n_{\text{двз}}$  - частота обертання первинного валу, об/хв;  $V$  - швидкість установки, км/ч (визначається на основі частоти обертання вторинного валу КП);

					<b>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67



Момент ФМ приведенний до вторинного вала, Нм

Потужність буксування ФМ, Вт



Фактичне передавальне число КП I

Частота обертання дисків ФМ, яка включається, об/хв

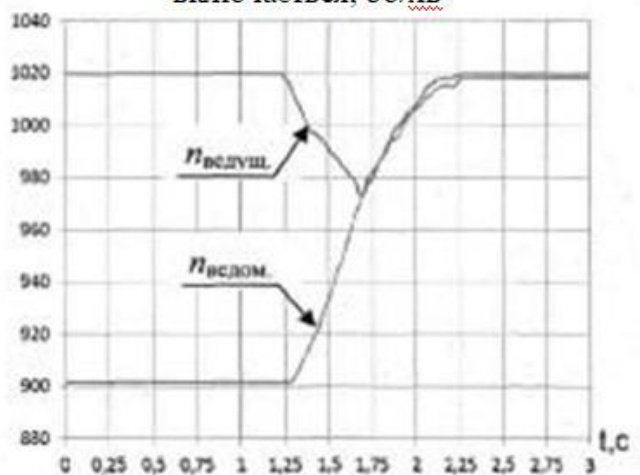
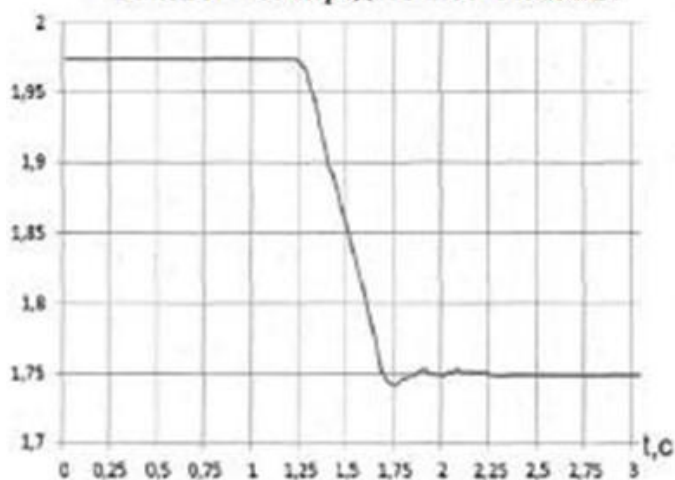
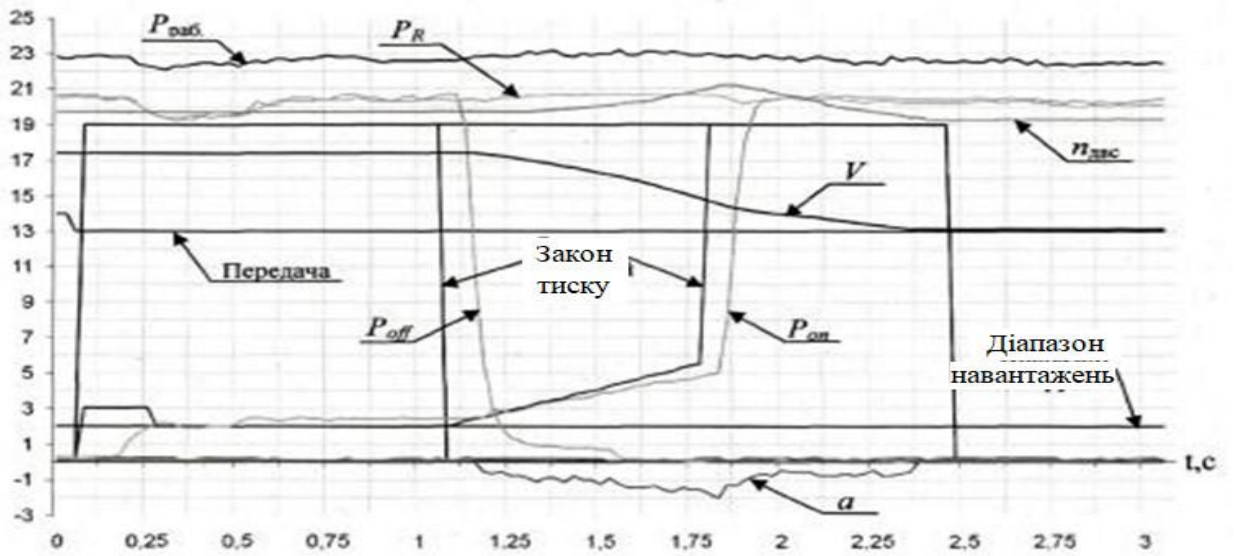
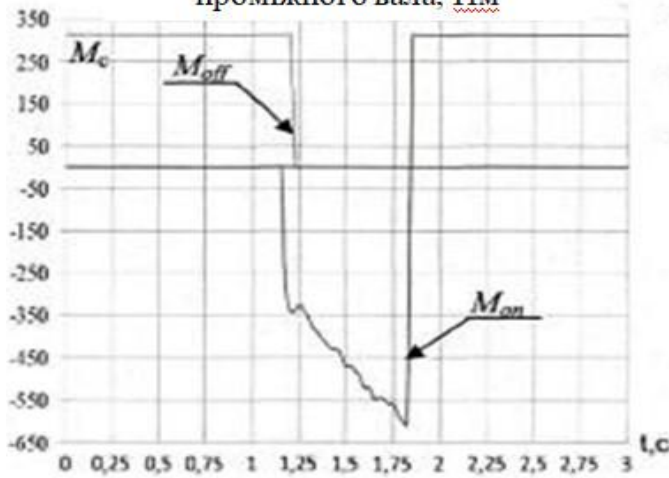


Рисунок 4.10. Основні параметри перемикування передач з 11 на 12, середній режим

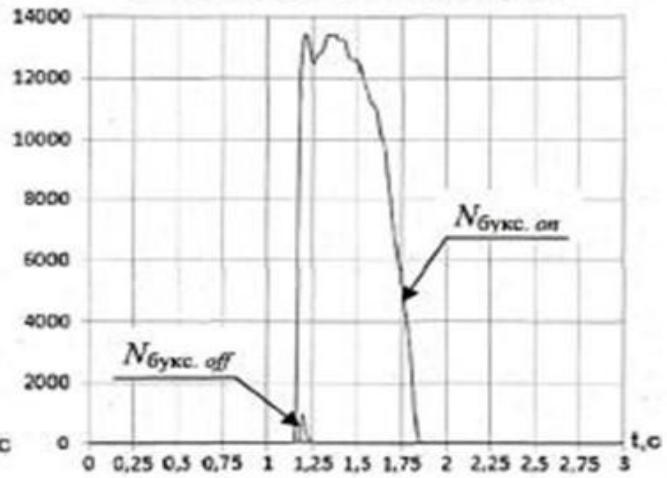
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



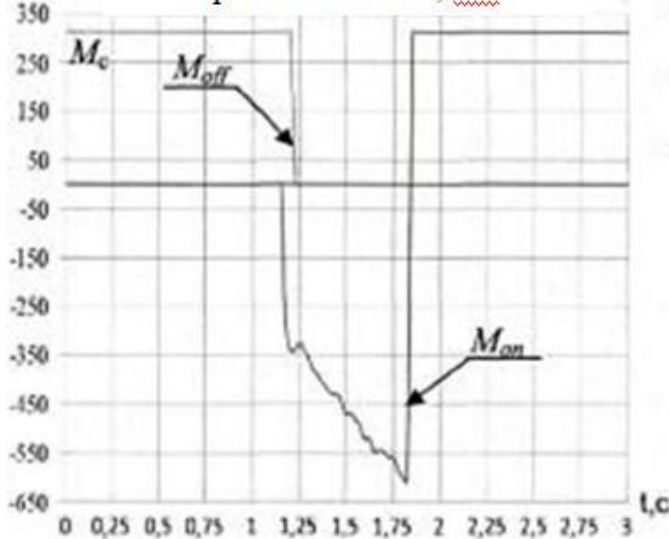
Моменти ФМ приведені до проміжного вала, Нм



Потужність буксування ФМ, Вт



Моменти ФМ приведені до проміжного вала, Нм



Потужність буксування ФМ, Вт

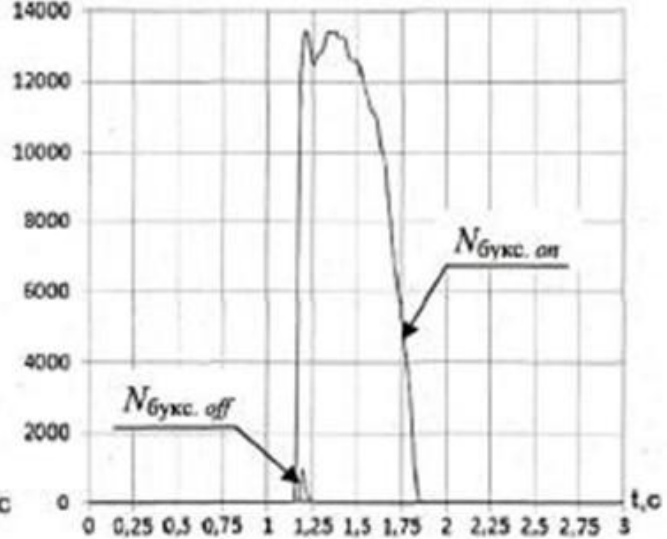


Рисунок 4. 11. Основні параметри перемикання передач з 14 на 13, легкий режим

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

MP.AT-70.00.00.000 ПЗ

Арк.

69

$a$  - прискорення нафтогазової установки,  $\text{м/с}^2$ . Також представлені графіки зміни приведених до одного валу моментів  $M_{\text{он}}$ , від тієї ФМ, яка включається і виключається  $M_{\text{off}}$ .  $N_m$ , частоти обертання ведучих  $n_{\text{ведуч}}$  і ведених  $n_{\text{веден}}$  дисків ФМ, об/хв та фактичного передавального числа КП від часу в процесі перемикання передач.

На рис. 4.10 відображено зрив в буксування муфти, яка вимикається, у момент часу  $t=1,275$  с, замикання муфти, що включається, - при  $t=1,7$  с. Судячи з прискорення МТА, плавність перемикання знаходиться в допустимих межах (прискорення не перевищує  $1 \text{ м/с}^2$ ,  $J < 15 \text{ м/с}^3$ ). З графіка моментів також видно, що при скиданні тиску в ФМ, яка вимикається, відбувалось буксування впродовж  $0,1$  с і в контурі КП виникла циркулююча потужність, але її значення невелике. Тому можна вважати, що роботою буксування ФМ в даному випадку нехтуватиме мала. Аналогічним чином можна проаналізувати перемикання передач 14-13 на рис. 4.11.

### Висновки за розділом

Результати експериментальних досліджень процесів перемикань передач НГТТ на шасі МЗКТ-7413 підтвердили достовірність математичної моделі. Розбіжність результатів моделювання НГТТ на шасі МЗКТ-7413 з результатами експериментальних досліджень при польових випробуваннях по величині роботи буксування і часу буксування фрикційної муфти, яка включається, в КП не перевищує  $12\%$ .

За умови різкого скиданні тиску в муфті, яка вимикається, можна вважати її роботу буксування нульовою.

Якщо до моменту, коли в муфту, яка включається, подається повний тиск ( $1,9-2,0$  МПа) і вона ще не замкнута, то після подачі цього тиску муфта може буксувати впродовж деякого часу, який визначається навантаженням на причіпному пристрої та інерційними параметрами машини, з якою агрегований НГТТ на шасі МЗКТ-7413.

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ НА ПАТ

### 5.1. Аналіз стану охорони праці

Основним завданням організації охорони праці є створення здорових і безпечних умов праці. Організація охорони праці на нафтогазових підприємствах Івано-Франківської області здійснюється згідно Законів України “Про охорону праці”, “Про пожежну безпеку”. Керівництво і відповідальність за організацію роботи з охорони праці в окремому господарстві покладено на керівника та інженера по техніці безпеки.

Провівши аналіз стану охорони праці на нафтогазових підприємствах Івано-Франківської області слід відзначити ряд важливих недоліків. Насамперед, не всі працівники окремого автогосподарства пройшли такі види інструктажу як вступний та на робочому місці, і не ведеться журнал інструктажів з техніки безпеки. В документальному плані немає всіх розроблених і затверджених інструкцій згідно з положеннями про розробку інструкції з охорони праці.

Було виявлено, що як на площадках відкритого зберігання НГТТ, так і в майстерні та цехах ТО та ремонту не має достатньої кількості протипожежних щитів та вогнегасників.

Не завжди територія господарства відокремлена від житлової забудови санітарно-захисною зоною і відгороджена парканом, що не відповідає Вимогам до улаштування та утримання території господарства.

У приміщеннях нафтогазових підприємств Івано-Франківської області не завжди функціонує та справна вентиляція, що спричиняє загазованість приміщення, а це негативно впливає на здоров'я працівників. Слід зазначити також, що деякі цеха та ділянки не завжди мають окремі рубильники для відключення електроенергії, а використання електропроводжувачів саморобного виготовлення спричинили два випадки виробничого травматизму. Потрібно відзначити те, що не всі агрегати НГТТ забезпечені аптечками першої допомоги.

					MP.AT-70.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

Вікна на дільницях цеху технологічного транспорту нафтогазовидобувного управління "Надвірнанафтогаз» деколи виготовлені із склоблоків, які створюють в приміщеннях недостатнє природне освітлення, особливо в осінньо-зимовий період. При цьому існує потреба в штучному освітленні, яке на даний час є недостатнім.

Внаслідок частого вимкнення електроенергії (осінь-зима 2025 р.) працівники цеху технологічного транспорту нафтогазовидобувного управління "Надвірнанафтогаз» використовують деколи для освітлення саморобні пристрої, що є порушенням правил електричної та протипожежної безпеки.

Отже, існує необхідність щодо покращення умов праці та дотримання правил техніки безпеки, що певним чином впливає як на стан здоров'я працівників, так і на продуктивність праці.

Цеху технологічного транспорту нафтогазовидобувного управління "Надвірнанафтогаз» слід звернути увагу на пожежну безпеку, тобто всі приміщення повинні забезпечуватись первинними засобами пожежогасіння, у кількості, яка визначається розрахунками, викладених у Правилах пожежної безпеки в Україні. Для їх розміщення потрібно встановити спеціальні пожежні щити, а вогнегасники розмістити на висоті не вище 1,5 м від рівня підлоги до нижнього торця вогнегасника і на відстані від дверей, достатній для їх повного відчинення.

У дільницях потрібно вдосконалити систему опалення. Крім цього необхідно удосконалити природну вентиляцію.

Для збирання сміття на території цеху технологічного транспорту нафтогазовидобувного управління "Надвірнанафтогаз» необхідно встановити контейнери-сміттєзбірники, який повинен закриватися кришкою. Його розміщують поблизу господарства, на площадці із твердим покриттям.

Отже, виконання вищезгаданих заходів дасть можливість зекономити кошти, що виділяються на виплату лікарняних листків та зменшити вплив шкідливих факторів виробничого середовища.

Основні обов'язки керівника господарства, головних спеціалістів, відповідальних за керівництво і проведення практичної роботи по охороні

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

праці полягає в тому, щоб постійно оздоровлювати і полегшувати умови праці, утримувати у справному стані працюючі машини, механізми і обладнання, впроваджувати комплексну механізацію і сучасні засоби захисту, створити санітарно-гігієнічні умови праці. Згідно положення автомашини, агрегати НГТТ обладнуються вогнегасниками.

Інженер по техніці безпеки разом із спеціалістами, керівниками виробничих підрозділів розробляє поточні, річний і перспективний план заходів по покращенню умов праці, зниженню виробничого травматизму і захворювань, здійснює контроль за їх виконанням, перевіряє стан охорони праці на всіх виробничих ділянках, виконання правил, норм інтенсифікації по техніці безпеки, виробничої санітарії і пожежній охороні, проводить вступний інструктаж по техніці безпеки, інструктаж на робочому місці та періодичний інструктаж, проводить паспортизацію умов праці, веде облік травматизму, досліджує причини нещасних випадків, зв'язок з виробництвом.

Основні показники стану охорони праці цеху технологічного транспорту нафтогазовидобувного управління "Надвірнанафтогаз" показані в таблиці 5.1. За даними таблиці, спостерігаємо зменшення чисельності працівників цеху технологічного транспорту нафтогазовидобувного управління "Надвірнанафтогаз" у 2024 р. порівняно з 2023 р.

При цьому фактичні витрати на одного працюючого зростали кожного року порівняно з попереднім, витрат на спецодяг і спец. харчування також зростають з кожним наступним роком, за даними таблиці. Кількість нещасних випадків в цеху технологічного транспорту нафтогазовидобувного управління "Надвірнанафтогаз" є низька, що свідчить про ефективне управління з боку керівництва і дотримання правил техніки безпеки робочого персоналу. За показниками частоти і тяжкості травматизму цеху технологічного транспорту нафтогазовидобувного управління "Надвірнанафтогаз" спостерігаємо зменшення значення цих показників. Останнім показником, який характеризує вплив нещасних випадків і травм на працездатність підприємств є показник втрати робочого часу, який також показує позитивну тенденцію зменшення у 2024 році.

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

Таблиця .5.1 - Основні показники з охорони праці цеху технологічного транспорту нафтогазовидобувного управління "Надвірнанафтогаз»

Показник	2022 р.	2023 р.	2024 р.	Відхилення 2024 р. до 2022р., %
Середньоспискове число працюючих	564	548	508	-56
Асигновано на охорону праці:				
Витрати на спецодяг, тис. грн.	431,15	444,20	484,20	53,05
Витрати на спец. харчування, тис. грн.	965,3	1015,0	1135,4	170,1
Протипожежні витрати, тис. грн.	207,49	213,50	220,50	13,01
Фактичні витрати на одного працюючого, грн..	2,905	2,876	3,299	394
Кількість нещасних випадків (травм)	2	1	1	-1
Кількість днів непрацездатності через травми	20	8	9	-11
Показник частоти травматизму	2,99	1,91	2,1	-0,89
Число травм зі смертельними наслідками чи інвалідністю	0	0	0	-
Показник тяжкості травматизму	10	8	9	-1
Показник втрат працездатності через травми	2,99	1,53	1,89	-1,1
Кількість захворювань	450	400	320	-130
Коефіцієнт, що враховує смертельні наслідки та інвалідність	0	0	0	-
Кількість днів непрацездатності через захворювання	2250	2030	1680	-570
Показник частоти захворювань	6,74	7,26	6,73	-0,01
Показник тяжкості захворювань	5	5,07	5,25	0,25

					<b>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Показник втрат працездатності через захворювання	33,7	38,8	35,3	1,6
--	------	------	------	-----

## 5. 2. Планування заходів з покращення охорони праці

Планування не може бути успішним без прогнозування як важливого елемента перед планової роботи. Прогнозування дає змогу складати цільові програми з охорони праці з певних напрямів роботи (боротьба з травматизмом, зниження рівня захворювань, поліпшення мікроклімату в приміщеннях, боротьба з шумом тощо). Такі цільові програми є основою для складання планів роботи з охорони праці.

Однак поставити мету й розробити план роботи неможливо, якщо немає обґрунтованого уявлення про подальший стан системи. Прогнозування повинно обов'язково передувати постановці мети управління і складанню плану роботи, створенню політики.

Прогнозування в галузі охорони праці повинно бути скероване на розв'язання таких завдань, як імовірна оцінка тенденцій динаміки травматизму, захворювань, умов праці у зв'язку з розвитком виробництва і визначення на період прогнозування необхідних заходів, а також на поліпшення стану умов праці, зокрема попередження, нейтралізацію або зменшення негативної дії шкідливих і небезпечних виробничих чинників на працівників.

На основі даних про заходи з охорони праці, зазначені в колективному договорі можна констатувати таке: всі основні заходи, передбачені колективним договором, що є визначені нормативно-правовими актами проводяться, проте погано фінансуються.

Фінансові засоби і матеріальні ресурси повинні використовуватись тільки за призначенням. Система планування заходів з охорони праці цеху технологічного транспорту нафтогазовидобувного управління "Надвірнанафтогаз» охоплює заходи поліпшення умов праці, побуту, зниження виробничого травматизму і професійних захворювань.

На даний час планування і фінансування заходів з охорони праці не є достатньо раціональним, адже через відсутність відповідної кількості коштів

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

не можна зrealізувати всіх заходів, а ті, які можна зrealізувати будуть не досить ефективними. Контроль за правильністю використання коштів на заходи з охорони праці повинні проводитись керівництвом підприємства в особі директора і провідного фахівця по техніці безпеки.

Розглянемо планування основних заходів з покращення охорони праці та витрат коштів цеху технологічного транспорту нафтогазовидобувного управління "Надвірнанафтогаз» в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Заходи з покращення охорони праці та витрати коштів цеху технологічного транспорту НГВУ «Надвірнанафтогаз»

№ п/п	Зміст заходів	Вартість робіт, грн.	Термін виконання	Відповідальний
1.	Створено здорових та безпечних умов праці			Директор
1.1.	а) впровадження технології автоматичного пожежогасіння	250000	10 міс.	Директор
1.2.	б) комплексна/часткова автоматизація виробничих процесів	300000	1 рік	Директор
1.3.	в) механізація окремих видів робіт	150000	14 міс	Директор
1.4.	г) перевірка ті відновлення заземлення	50000	3 роки	Директор
1.5.	д) поновлення кутків ОП та ТБ	8000	2 міс.	Директор

Через здійснення цих заходів умови праці повинні покращились, але коштів на охорону праці виділяється недостатньо. Усі заходи, які наведені у таблиці, є дороговартісними, проте їх реалізація в життя є невід'ємною складовою успішного функціонування господарства, проте, це впровадження може розтягтися на декілька років, у зв'язку із гострою нестачею фінансових ресурсів. Одержання коштів із державних дотацій, напевно буде неможливим, але варто шукати інші шляхи для одержання необхідних коштів, для впровадження запропонованих заходів, які дозволять в

майбутньому привабити більше число молодих спеціалістів, покращити умови праці в даному господарстві.

### 5.3 Розрахунок економічної ефективності заходів з поліпшення охорони праці

Ефективна діяльність сільськогосподарських підприємств напряму залежить від дотримання певних умов та вимог з охорони праці. Зокрема дотримання та не порушення вимог з охорони праці дозволяє правильно та ефективно спланувати заходи з охорони праці. План заходів з охорони праці розробляється головним спеціалістом, а узагальнення цих планів здійснює інженер з охорони праці та складає зведений план в цілому по господарству. Заплановані заходи та комплексний план з охорони праці мають бути включені до угоди з охорони праці. Для всіх заходів складається та затверджується проектно-кошторисна документація, заходи забезпечуються фінансуванням та матеріальними ресурсами.

Якщо порівнювати наслідки травматизму, виражені у грошовому еквіваленті, та затрати на заходи з охорони праці після їх впровадження, то отримаємо оцінку ефективності заходів з покращення умов з охорони праці. За поточними з охорони праці складаємо таблицю показників (таблиця 5.3).

Таблиця 5.3 - Середні показники матеріальних наслідків травматизму цеху технологічного транспорту нафтогазовидобувного управління "Надвірнанафтогаз»

Показник	Значення показника
Втрати праці в результаті виробничого травматизму на одного працюючого, дні	9
Середньоденна заробітна плата одного працівника, грн.	830
Витрати на оплату лікарняних листків на одного працюючого, грн.	747
Середньоденна вартість виробітку одного працівника, грн.	1700
Вартість недод. прод. у результаті вироб. травматизму, грн.	153

Аналізуючи дану таблицю, можемо побачити, що втрати працездатності внаслідок виробничого травматизму у 2024 р. є мінімальними, оскільки на відновлення нормального фізичного стану постраждалому працівникові було необхідно 9 днів на реабілітацію. Витрати на оплату лікарняного листа підприємству становило – 747 грн., а вартість недоданої продукції внаслідок цього виробничого травматизму – 153 грн.

У таблиці 5.4 представимо показники першопочаткових даних стосовно захворювань.

Таблиця 5.4 - Середні показники матеріальних наслідків у результаті захворювань, пов'язаних із несприятливими умовами праці цеху технологічного транспорту нафтогазовидобувного управління "Надвірнанафтогаз»

Показник	Значення показника
Втрати праці в результаті захворювань, дні	168
Середньоденна зарплата одного працівника, грн.	830
Витрати на оплату лікарняних листків, грн.	6720
Середньоденна вартість виробітку одного працівника, грн.	1700
Вартість недоданої продукції у результаті захворювання, грн.	28560

Втрати праці в результаті захворювань є набагато більшими ніж із виробничим травматизмом у 2024 р. і становили 168 робочих днів. Витрати на оплату лікарняних листів в 2024 р. в результаті захворювань працівників становили – 6720 грн., а вартість недоданої продукції внаслідок захворювань – 28560.

На основі розрахованих показників і даних таблиць складаємо загальну таблицю (таблиця 5.5) економічної ефективності заходів з покращення охорони праці.

Таким чином, провівши відповідні дослідження можемо сказати, що на

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

майбутнє слід збільшувати фінансування витрат на охорону праці підприємствам району загалом. В загальному планування номенклатурних заходів по охороні праці цеху технологічного транспорту нафтогазовидобувного управління "Надвірнанафтогаз» здійснюється на основі проведеної паспортизації умов праці, аналізу причин виробничого травматизму і профзахворювань, фактичного стану умов праці.

Таблиця 5.5 - Середня економічна ефективність заходів з покращення охорони праці цеху технологічного транспорту нафтогазовидобувного управління "Надвірнанафтогаз»

Показник	Значення
Затрати праці в результаті виробничого травматизму і захворювань, дні	177
Витрати на оплату лікарняних листів	7080
Вартість недоданої продукції, грн.	30090
Матеріальні витрати в результаті захворювань і виробничого травматизму, грн.	37170
Економічна ефективність від впровадження заходів щодо покращання умов праці, грн.	367500
Сума коштів для покращання умов охорони праці, грн.	245000
Термін окупності вкладених капіталовкладень, роки	1,5

#### 5.4 Захист населення у надзвичайних ситуаціях

Забезпечення захисту населення і територій у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій є одним з найважливіших завдань держави.

Актуальність проблеми забезпечення природно – техногенної безпеки населення і територій зумовлена тенденціями зростання втрат людей і шкоди територіям, що спричиняються небезпечними природними явищами, промисловими аваріями і катастрофами. Ризик надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру невпинно зростає.

Головною метою захисту населення і територій під час надзвичайних

					<b>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

ситуацій є забезпечення реалізації державної політики у сфері запобігання і ліквідації їх наслідків, зменшення руйнівних наслідків терористичних актів та воєнних дій.

З метою захисту населення має проводитися спеціальний комплекс заходів: оповіщення та інформування; спостереження і контроль, укриття в захисних спорудах, евакуаційні заходи, інженерний захист, медичний захист, біологічний захист, радіаційний і хімічний захист.

Інженерний захист включає в себе укриття людей в захисних спорудах, які є: сховище, протирадіаційні укриття, найпростіші укриття, швидко споруджувані укриття, пристосування приміщень під захисні споруди.

Радіаційний і хімічний захист населення у надзвичайних ситуаціях включає організацію дозиметричного та хімічного контролю. Під режимом радіаційного захисту розуміємо порядок дії людей, використання способів та засобів захисту в зонах радіаційного зараження, який передбачає максимальне зменшення можливих доз опромінення. Він передбачає послідовність та тривалість використання захисних споруд, захисних властивостей промислових та житлових приміщень, обмеження перебування людей на відкритій місцевості.

До засобів радіаційно-хімічного захисту відносять: засоби індивідуального захисту, прилади радіаційної і хімічної розвідки та дозиметричного контролю, засоби фільтровентиляції і регенерації повітря, комплекти і прилади спеціальної обробки і знезараження, медичне майно.

В умовах неповного забезпечення захисними спорудами у містах та інших населених пунктах, які мають об'єкти підвищеної небезпеки, а також у воєнний час, основним способом захисту населення є евакуація і розташування його у позаміській зоні.

Евакуації підлягає населення, яке проживає в населених пунктах, що знаходяться у зонах можливого катастрофічного затоплення, небезпечного радіаційного забруднення, хімічного ураження в районах прогнозованого виникнення локальних збройних конфліктів у 50-кілометровій прикордонній смузі, в районах виникнення стихійного лиха, великих аварій та катастроф.

Серед способів захисту населення у НС особливе місце займає

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

медичний захист. Наданням цієї допомоги займається служба ЦО, яка є спеціальною організацією в системі охорони здоров'я і призначена для медичного забезпечення населення, що постраждало внаслідок стихійного лиха, аварій та катастроф.

До медичних формувань відносять: масові невоєнізовані медичні формування, спеціалізовані невоєнізовані медичні формування. До медичних установ ЦО відносяться: лікарняні установи, протиепідемічні установи, установи медичного забезпечення.

У практичній діяльності при організації захисних заходів, необхідно розумно застосовувати всі засоби захисту населення, віддаючи перевагу у кожному конкретному випадку тому з них, який більше відповідає даній ситуації.

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Зміна тиску в бустерах мокрих фрикційних муфт є першим рівнем безпосереднього управління перемиканням передач, якість якого залежить від стабільності показників тертя під впливом температури, залипання, деформації, а також інших шкідливих властивостей взаємодії фрикційних дисків. Поліпшити якість перемикання можливо шляхом застосування електронного управління, яке на основі даних про частоти обертання валів КП забезпечує корекцію тиску.

Перемикання передач виконуване за рахунок управління тиском в гідропідтискних фрикційних муфтах НГТТ, може супроводжуватися короткочасною негативною дією циркуляції потужності та виникненням динамічних навантажень на елементи трансмісії залежно від відносної швидкості ковзання фрикційних дисків муфт; необхідною та достатньою умовою для цього є перевищення швидкості дисків, сполучених з вторинним валом, над швидкістю сполучених з первинним. Цей перехідний процес однаковий для однопарного та двохпарного перемикань передач і може викликати короткочасні зупинки нафтогазової установки.

На підставі результатів моделювання основних параметрів процесу перемикання передач НГТТ на шасі МЗКТ-7413 встановлено, що раціональні значення інтенсивності зміни тиску в бустері фрикційної муфти, яка включається, залежно від навантаження на причіпному пристрої лежатимуть на лінії перетину побудованих у відносних одиницях поверхонь роботи буксування фрикційної муфти, яка включається, та максимального прискорення НГТТ під час перемикання на вищу передачу, або роботи буксування фрикційної муфти і мінімального прискорення НГТТ - перемикаючись на нижчу передачу.

Експериментальні дослідження НГТТ на шасі МЗКТ-7413 показали, що відсутність перекриття передач за наявності підготовчого етапу для ФМ, яка включається, не зумовлює погіршення роботи муфт. За наявності підготовчого етапу для муфти, яка включається, при подачі команди на

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

миттєве скидання тиску до нуля в муфті, що виключається, та команди на миттєве збільшення тиску до заданого початкового в муфту, яка включається, час перекриття для «передачі» моменту від муфти, що вимикається, до тієї, що включається становить 0,1-0,2 з.

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шасі МЗКТ-7413: Технічний опис та інструкція з експлуатації / Під ред. Б. П. Кашуби, А. Ковалю. Харків: Прапор, 2013. 310 с.
2. Orthwein William C. Clutches and Brakes, Design and Selection. Second Edition - New York: Marcel Dekker, Inc., 2014. 337 p.
3. Шарипов В. М., Городецький К. І., Дмитрієв М. І. и др. Перемикання передач у КП автомобіля без розриву потоку потужності. // Вісник ЛНТУ. 2012. № 5. С. 19-23.
4. Chunsheng Ni, Tongli Lu, Jianwu Zhang. Gearshift control for dry dual- clutch transmissions // WSEAS Transactions on Systems. 2009, vol. 9. P. 11771186.
5. Баженов, С. П. Безступінчасті передачі тягових та транспортних машин: навч. посібник. Київ: НТУ, 2018. 81 с.
6. Никулов Д.Г. Автоматизація перемикання передач у трансмісії транспортних та тягових машин: Дис...канд. техн. наук. ХНАДУ, 2010, 185 с.
7. Дмитрієв М. І. Методика розрахунку параметрів буксування фрикційних тракторних муфт при перемиканні передач без розриву потоку потужності: Дис...канд. техн. наук. ХНАДУ, 2008. - 134 с.
8. Patent №5467854. US. Method of controlling clutch-to-clutch shifts for powershift transmission / Todd D. Creger, Randall M. Mitchell, Alan L. Stahl, James R. Talbott. 1995.
9. Гируцькій О.І., Лашков Ю.К., Поляк Д.Г. Електронні системи керування агрегатами автомобіля. Київ: Транспорт, 2015. - 213 с.
10. Patent № 6193630. US. Slip-based shift control system / Clayton George Janasek, Richard Marvin Sparks. 2001.
11. Patent №7278953. US. Transmission shift control method / Duane Frederick Meyer, Joel Lee Mason. 2007.
12. Patent № 6193630. US. Slip-based shift control system / Clayton George Janasek, Richard Marvin Sparks. 2001.
13. Мальцев, В. Ф. Механічні імпульсні передачі. Київ.: Транспорт, 2008. 367 с.

					MP.AT-70.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

14. Ion, I. George Constantinescu' torque converter analysis by Simulink [Text] / I. Ion // SISOM 2007 and Homagial Session of the Commission of Acoustics, Bucharest 29-31 May. - Bucharest, 2007. - P. 83-87.
15. Mailloux, M. Design of the Constantinesco torque converter used as a mechanical transmission for agricultural tractors [Text] / M. Mailloux, M. Ene // International Symposium, ISB-INMA TEH' 2018, Agricultural and mechanical engineering, Bucharest, Romania, 1-3 November 2018. - Bucharest, 2018. - P.57- 66.
16. Morales, F. A review of dynamic CVT-IVT transmissions [Text] / F. Morales, F. Benitez // SAE Technical Paper 2014-01-1734. - 2014. - 11 p. - Published 01.04.2014.
17. Patent 5833567 US, Int. Cl. F16H 3/74. Inertial power transmission / Fernandez A.; inventor: Fernandez A. - № 824280; filed 26.03.1997; date of Pat. 10.11.1998. - 12 p.
18. Petrov, D. An investigation on the dynamics of a stepless automatic inertial mechanical transmission by means of the application of the second sort Lagrange's differential equations [Text] / D. Petrov // International conference «Power transmission'03», section I «Theory, calculation and design of transmission elements». - 2003. - P. 99-103.

					<i>MP.AT-70.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

## **Тема магістерської роботи:**

*Оптимізація параметрів управління переключення  
передач нафтогазового технологічного  
транспорту з гідромеханічною трансмісією*

Костенюк Іван Сергійович

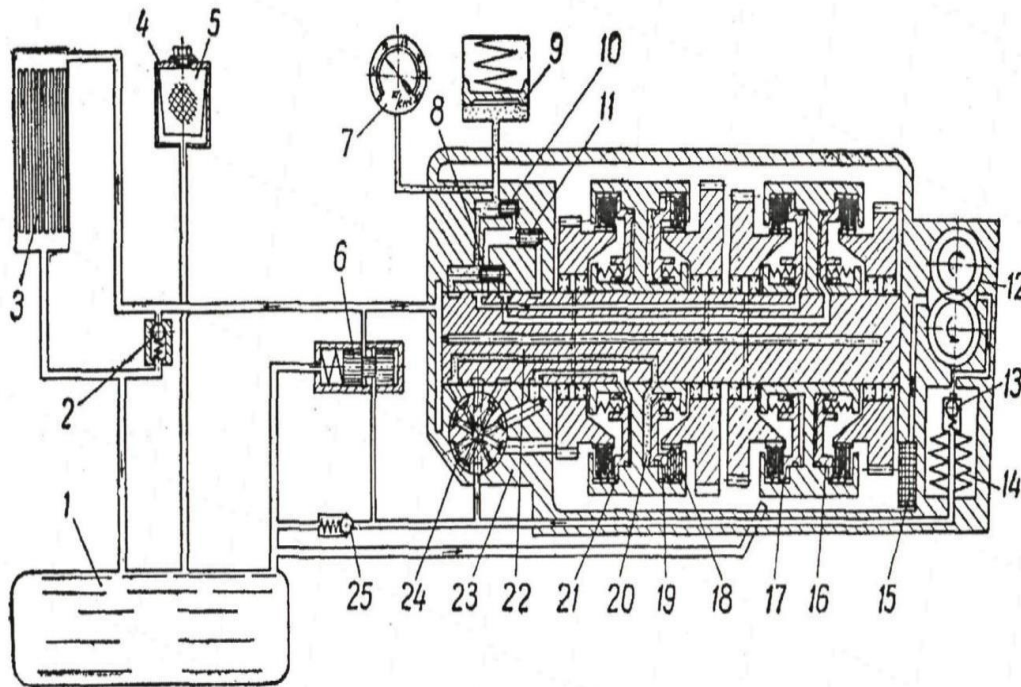


Рисунок 2.1. Схема гідравлічної системи ГМКП на шасі МЗКТ-7413: 1 - бак; 2 - запобіжний клапан радіатора; 3 - радіатор; 4 - заливна горловина; 5 - сітчастий фільтр; 6 - перепускний розподільник; 7 - манометр; 8, 10, 11 - перепускні клапани; 9 - гідроаккумулятор; 12 - насос; 13 - запобіжний клапан фільтра; 14 - фільтр лінії нагнітання; 15 - фільтр насоса; 16, 17, 20, 21 - гідропідтискні муфти; 18 - набір дисків; 19 - поршень гідропідтискної муфти; 22 - вторинний вал КП; 23 - розподільник; 24 - золотник розподільника; 25 - запобіжний клапан

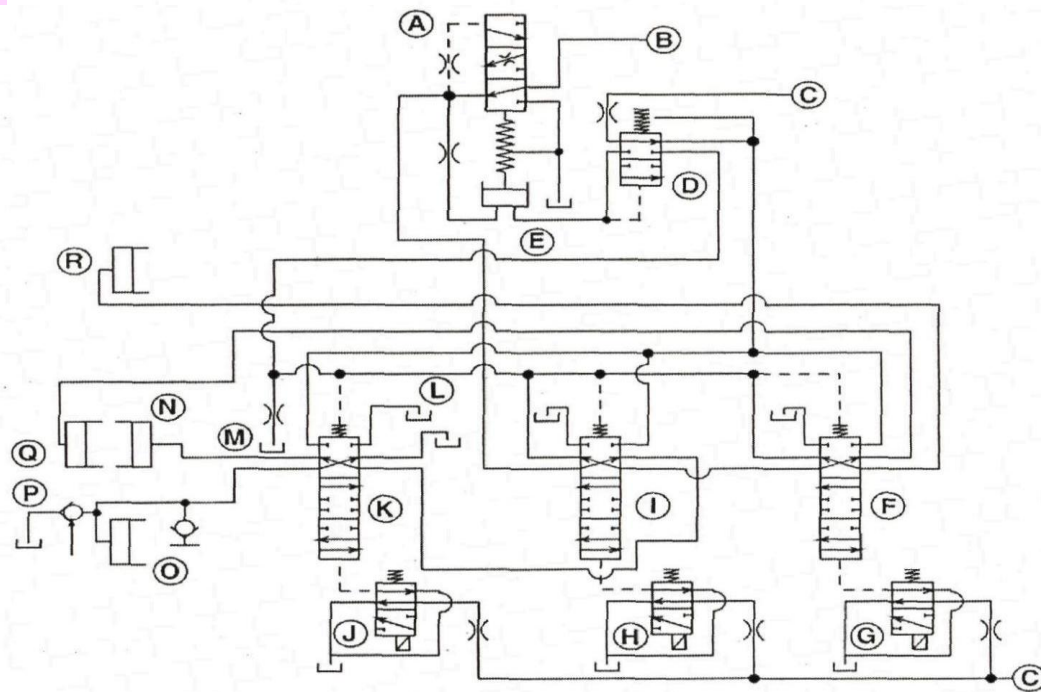


Рисунок 2.2. Гідравлічна схема системи управління ГМКП нафтогазової установки на шасі John Deere 7720: А - клапан модуляції передач; В - олива системи 2; С - олива системи 1; D - поворотний клапан; Е - гідроаккумулятор; F, I, K - перемикаючі клапани; G, H, J - пропорційні електрогідравлічні клапани; L - середній зливний контур; М - верхній зливний контур; R, Q, N - гальма включення першої, другої та третьої передач відповідно; О - муфта включення четвертої передачі; Р - контрольний анти кавітаційний клапан.

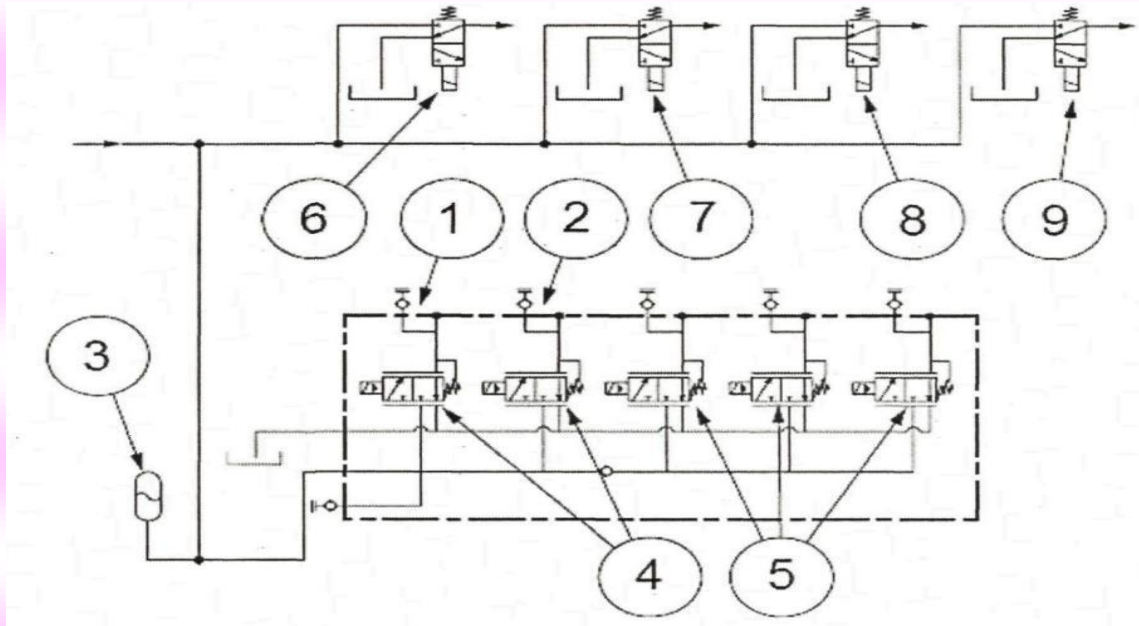


Рисунок 3.1. Гідравлічна схема системи управління ГМКП нафтогазової установки на шасі Massey Ferguson серії 6400: 1 - ФМ переднього ходу; 2 - ФМ заднього ходу; 3 - гідроаккумулятор; 4 - пропорційні клапани муфт переднього та заднього ходів; 5 - пропорційні клапани включення модуля перемикання під навантаженням та гальм редукційного модуля; 6,7,8,9 - дискретні клапани включення синхронізаторів модуля діапазонів

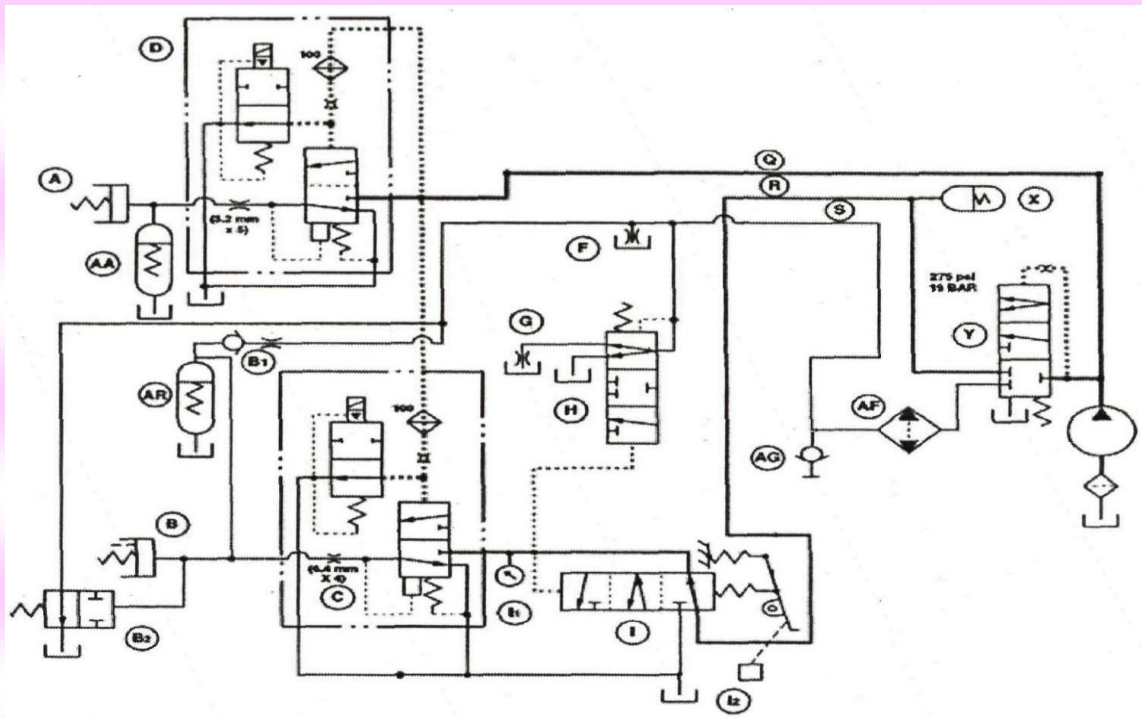


Рисунок 3.2. Гідравлічна схема системи управління ГМКП нафтогазової установки на шасі John Deere 8520T: А - фрикційна муфта передач; В - фрикційна муфта діапазонів; В1- зворотний клапан; С - пропорційний клапан муфти діапазонів; D - пропорційний клапан муфт передач; G - олива для вхідного і проміжного валів; F - олива вихідного валу; Н - відсічної клапан оливи вхідного валу; 1 - клапан педалі плавного рушання; 11 - давач тиску муфти зчеплення; 12 - педаль плавного рушання; J - сітчастий фільтр; Q - система 1 ФМ передач; R - система 2 ФМ

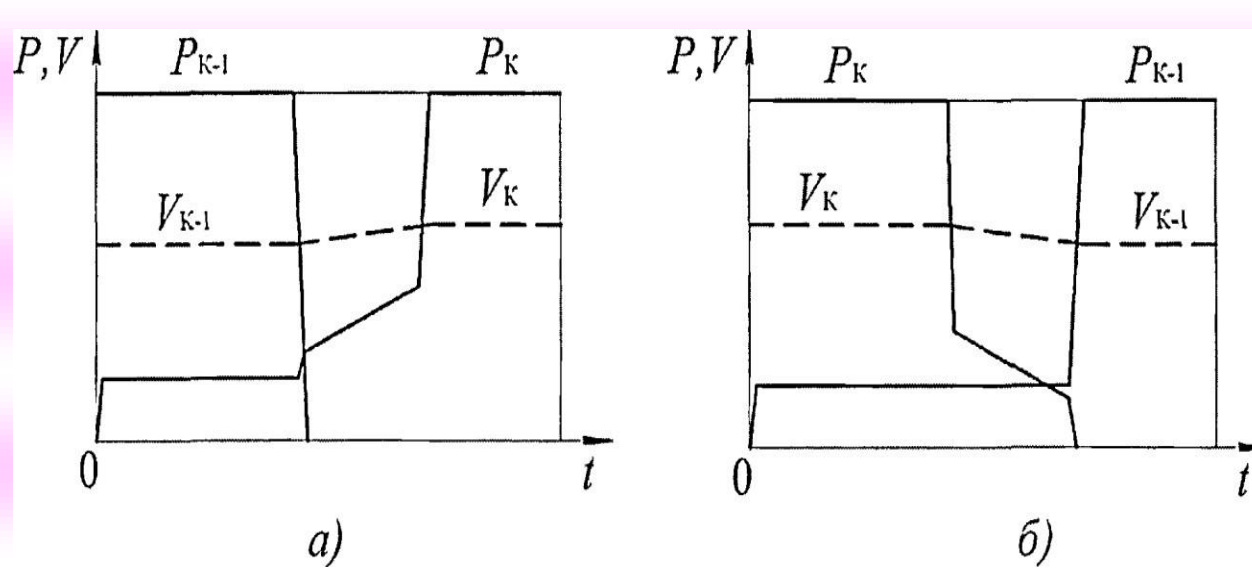


Рисунок 4.1. Організація процесу перемикання передач за відомого моменту опору:  
а) з нижчої на вищу; б) з вищої на нижчу

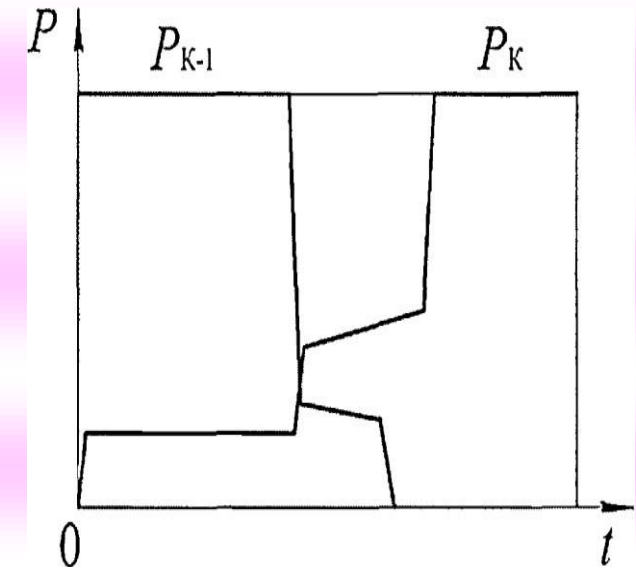


Рисунок 4.2. Організація процесу перемикання передач з нижчої на вищу за умови розділення діапазону навантаження

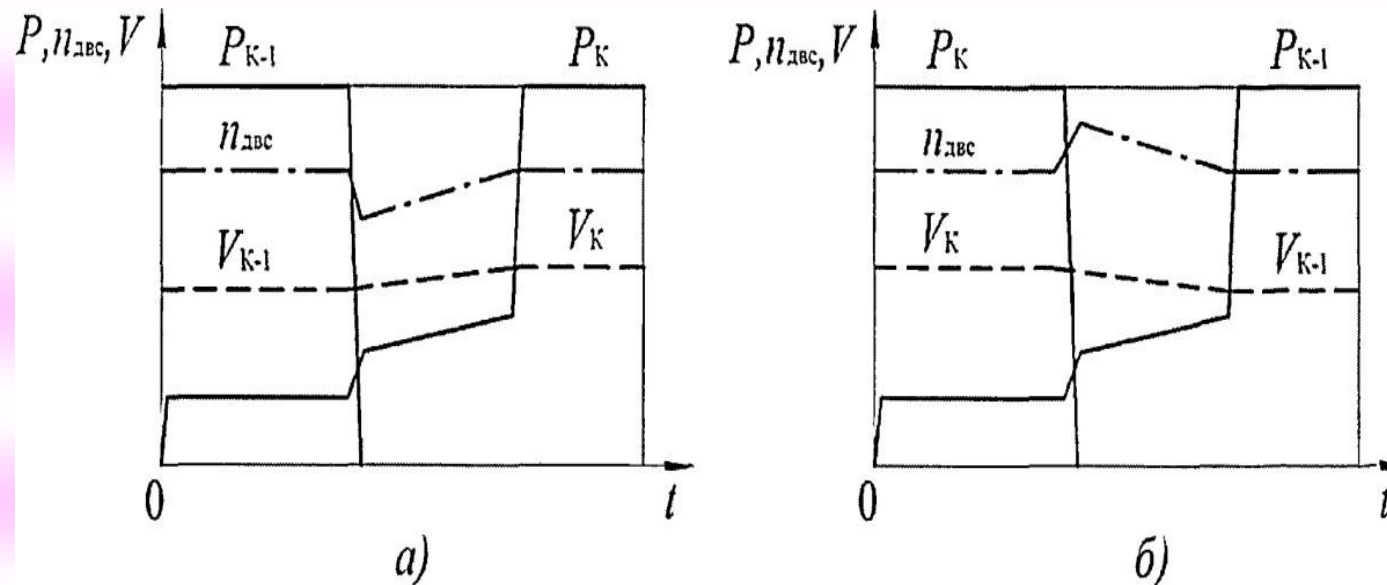


Рисунок 4.3. Організація перемикання передач з використанням двигуна:  
а) з нижчої на вищу; б) з вищої на нижчу

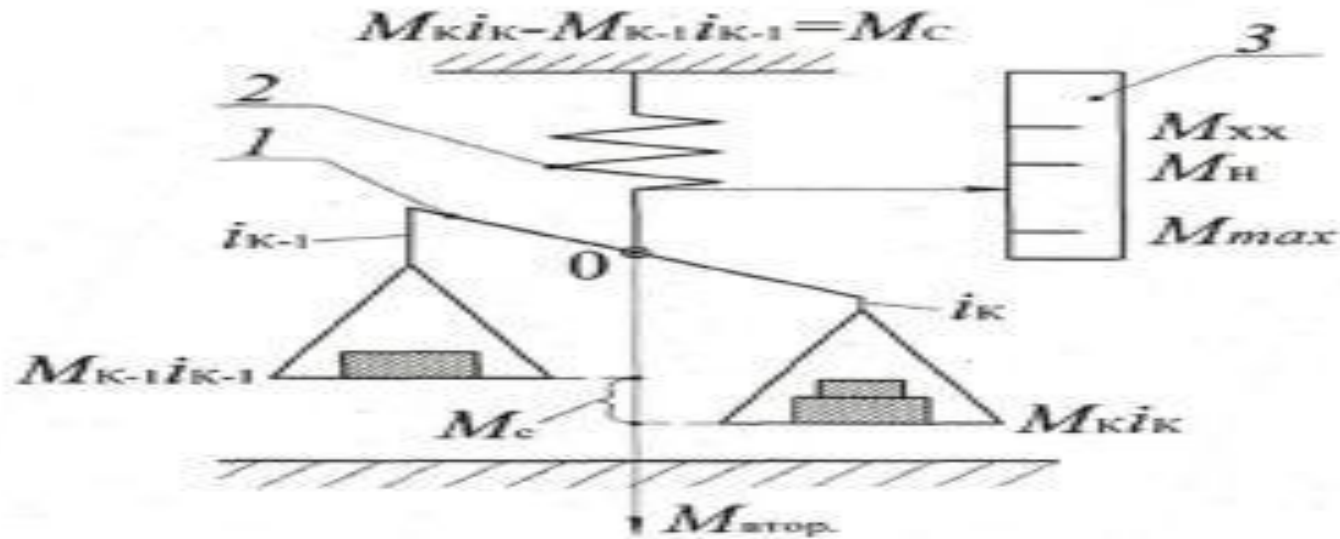


Рисунок 5.1. Фізична модель однопарного перемикання передач

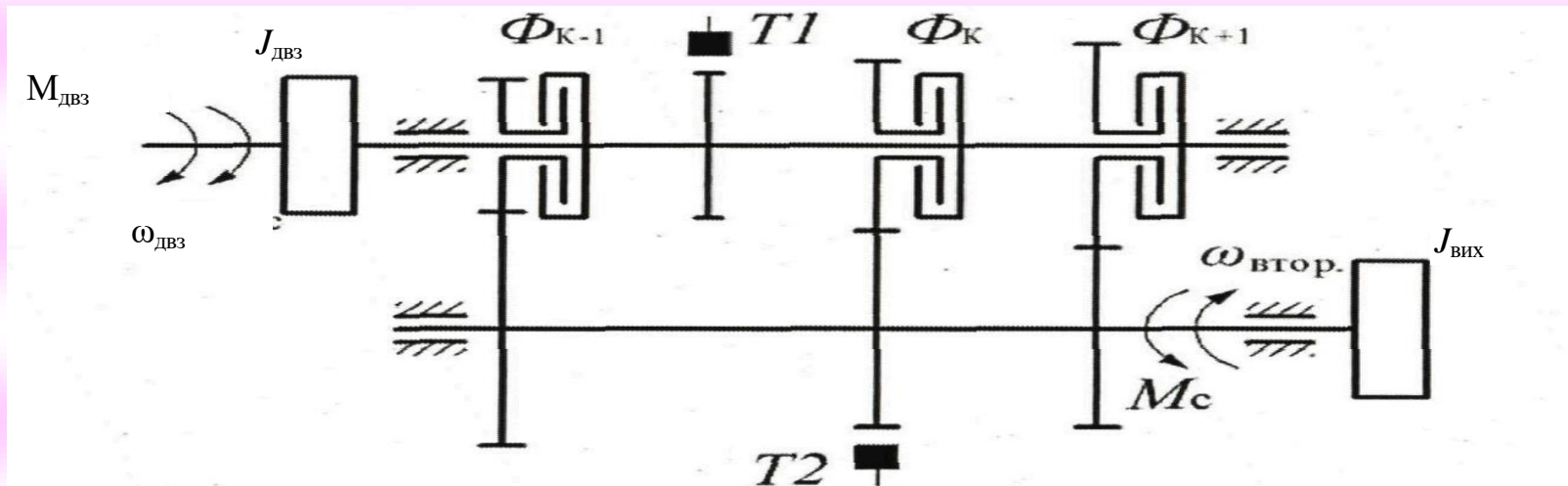


Рисунок 5.2. Двохмасова динамічна модель ГМ КП з трьома розташованими на первинному валу КП фрикційними муфтами:  $M_{двз}$  - момент від двигуна;  $\omega_{двз}$  - кутова швидкість валу двигуна;  $J_{двз}$  - момент інерції двигуна, приведений до первинного валу;  $\Phi_{K-1}$ ,  $\Phi_K$  та  $\Phi_{K+1}$  - фрикційні муфти включення передач  $K_{-1}$ ,  $K$  та  $K_{+1}$  відповідно;  $M_c$  - момент опору, приведений до вторинного валу КП;  $\omega_{втор.}$  - кутова швидкість вторинного валу;  $J_{вих}$  - момент інерції тракторного агрегату, приведений до вторинного валу;  $T1$ ,  $T2$  - сенсори обертів первинного та вторинного валів

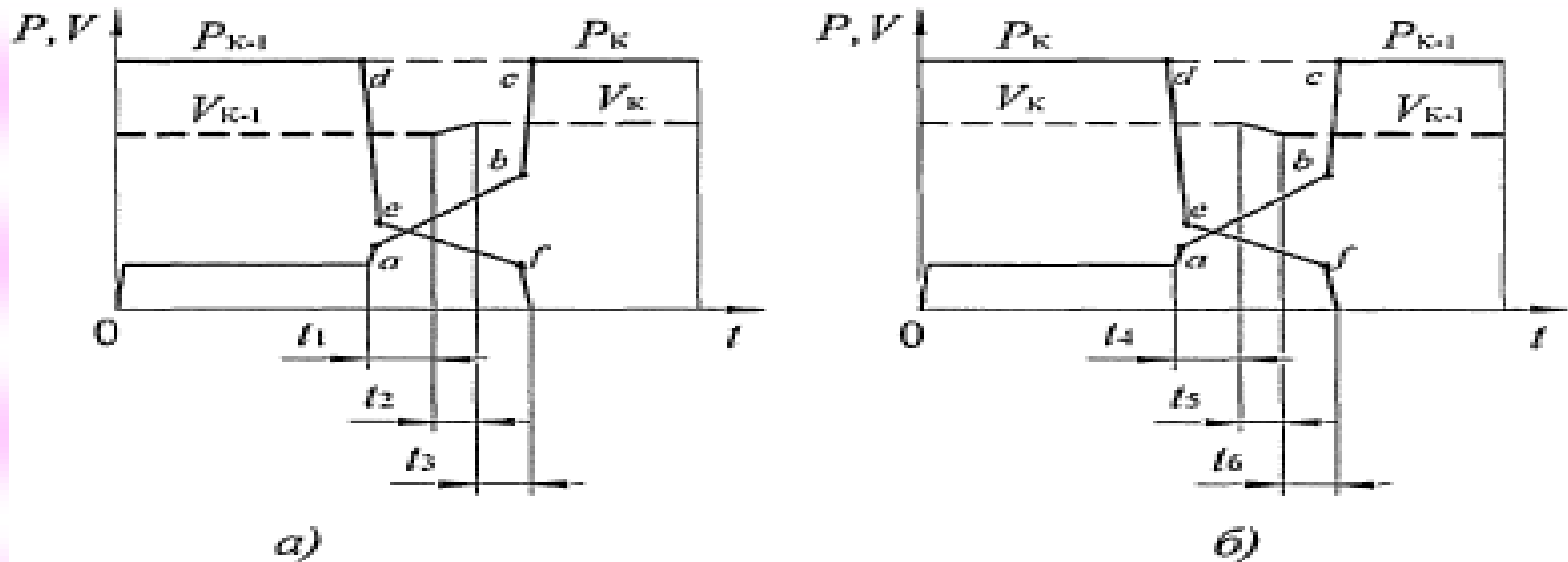


Рисунок 6.1. Організація процесу перемикання передач з перекриттям: а) з нижчої на вищу; б) з вищої на нижчу;  $P_{K-1}$  та  $P_K$  - тиск в бустерах муфт  $\Phi_{K-1}$  та  $\Phi_K$  відповідно;  $V_{K-1}$  та  $V_K$  швидкості руху МТА на передачі К-1 та К відповідно

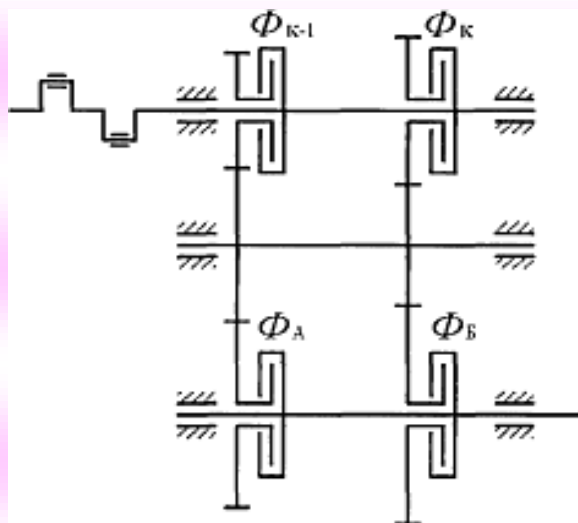


Рисунок 6.2. Кінематична схема коробки передач

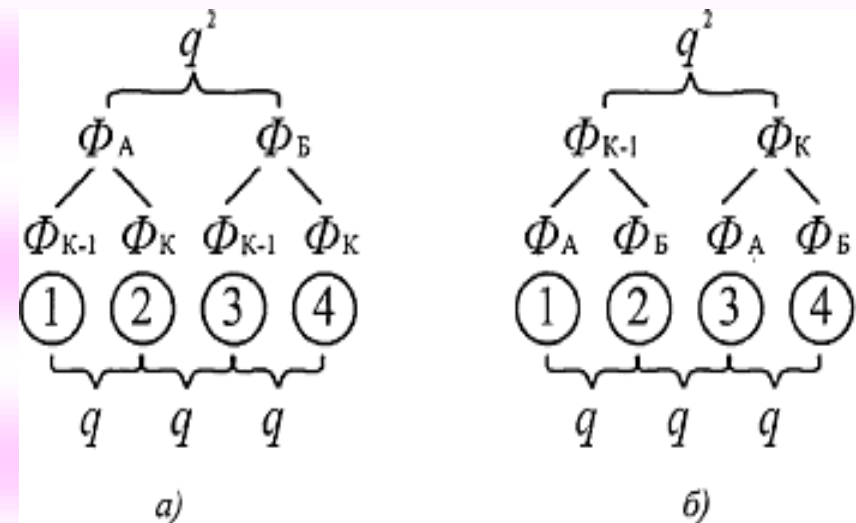
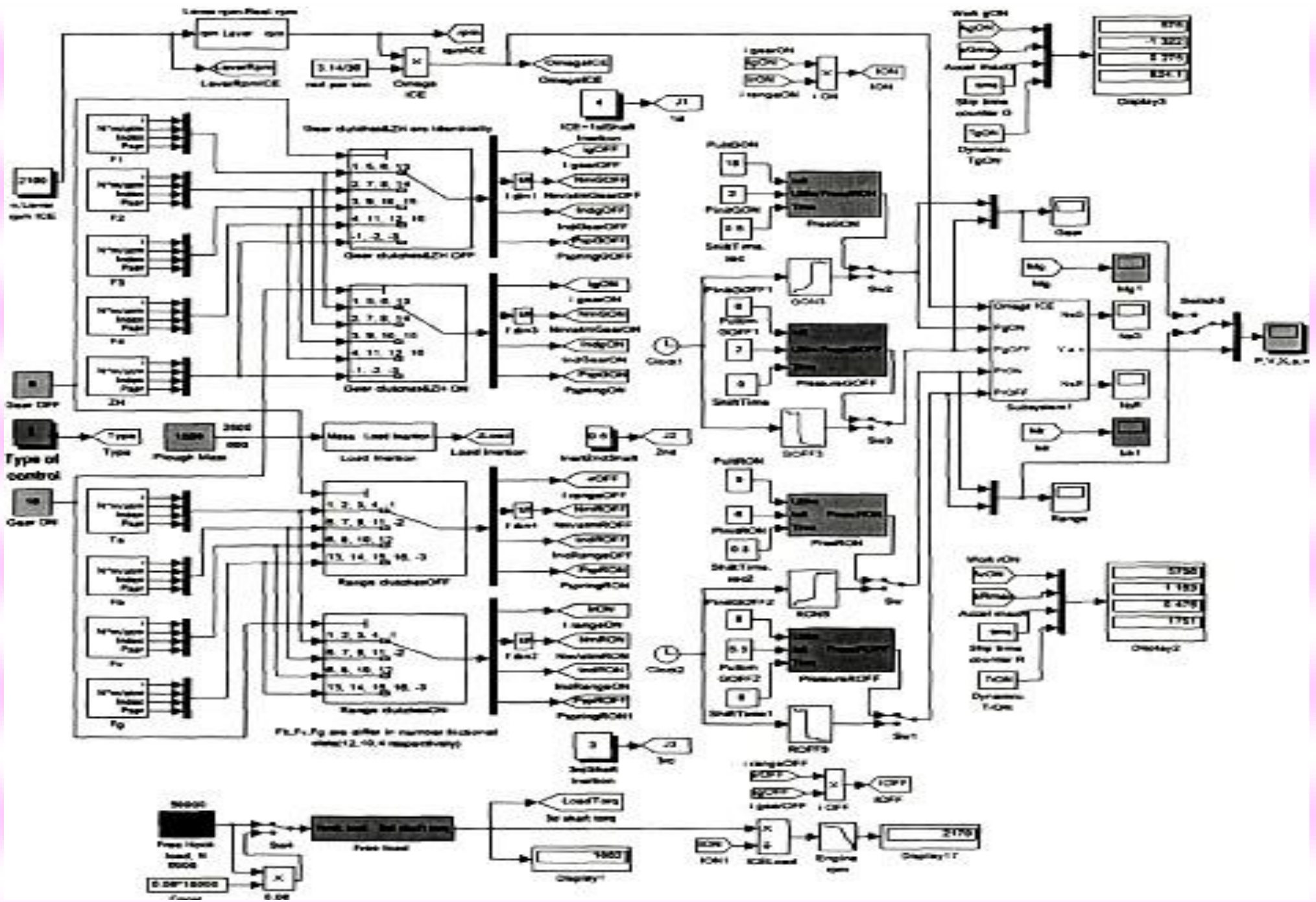


Рисунок 6.3. Коефіцієнти перекриття між передачами: а) перший варіант; б) другий варіант

# ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПЕРЕКЛЮЧЕННЯ ПЕРЕДАЧ НАФТОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ 7



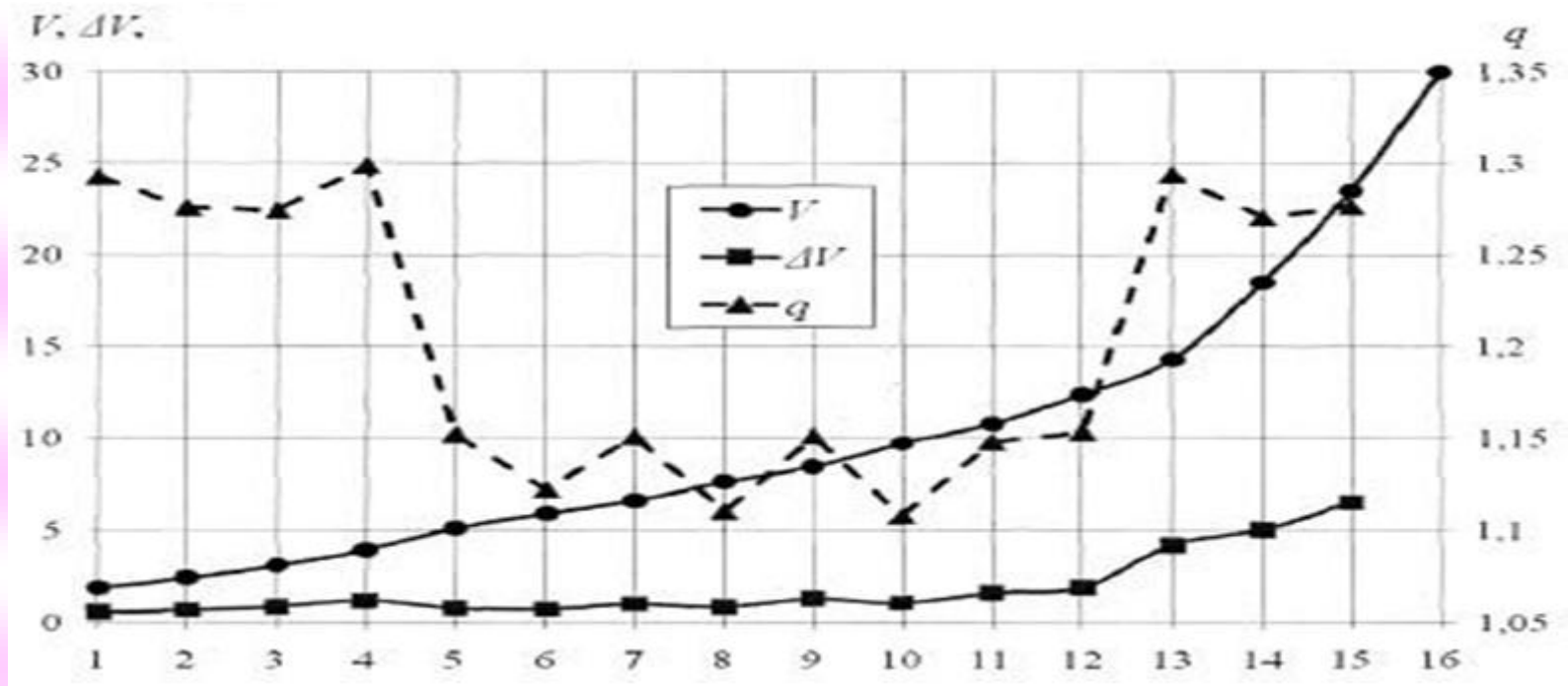


Рисунок 8.1. Графіки зміни швидкості нафтогазової установки  $V$  залежно від передачі, що включається, коефіцієнта перекриття  $q$  і перепадів швидкостей  $\Delta V$  між суміжними передачами від номера перемикання передач



Рисунок 8.2. Коефіцієнти перекриття між передачами руху вперед

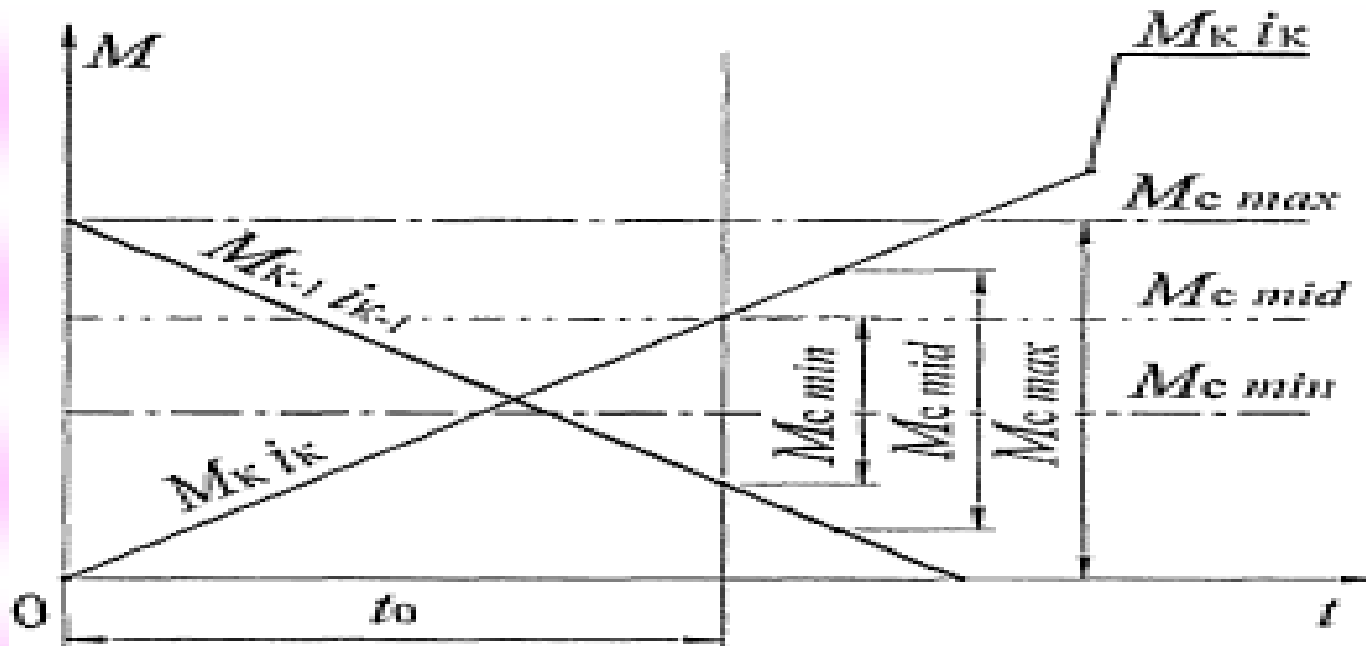


Рисунок 9.1. Переключення на вищу передачу з перетином моментів

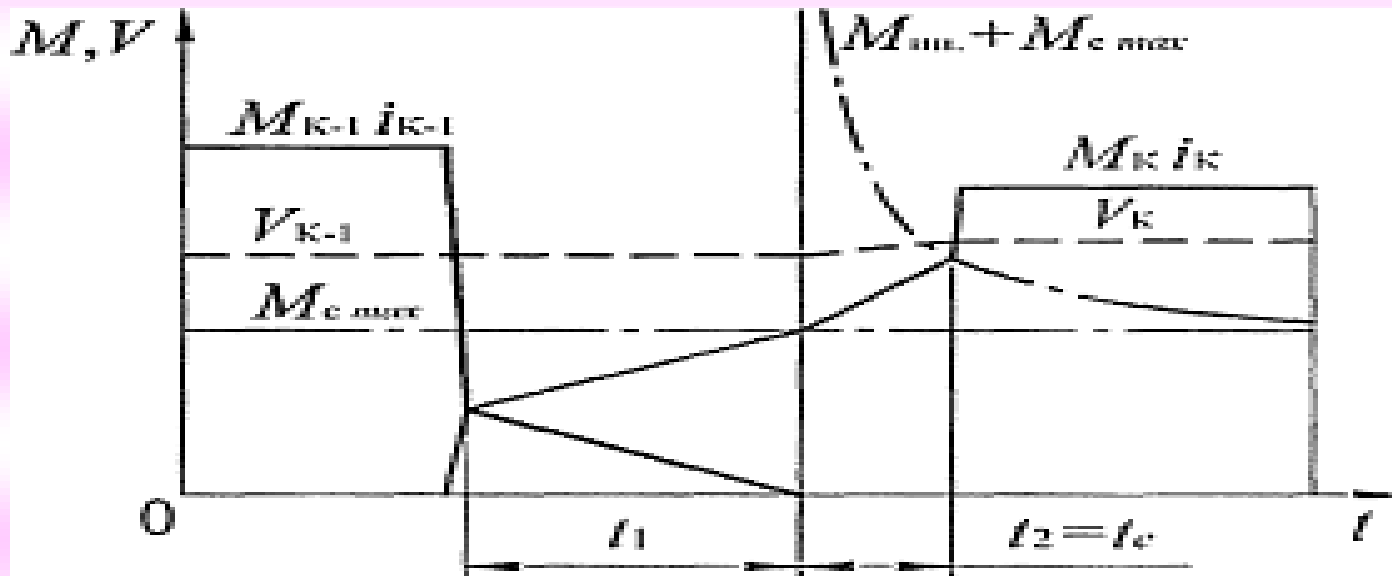


Рисунок 9.2. Перемикання на вищу передачу з оптимальним часом розгону за максимального моменту опору з під діапазону

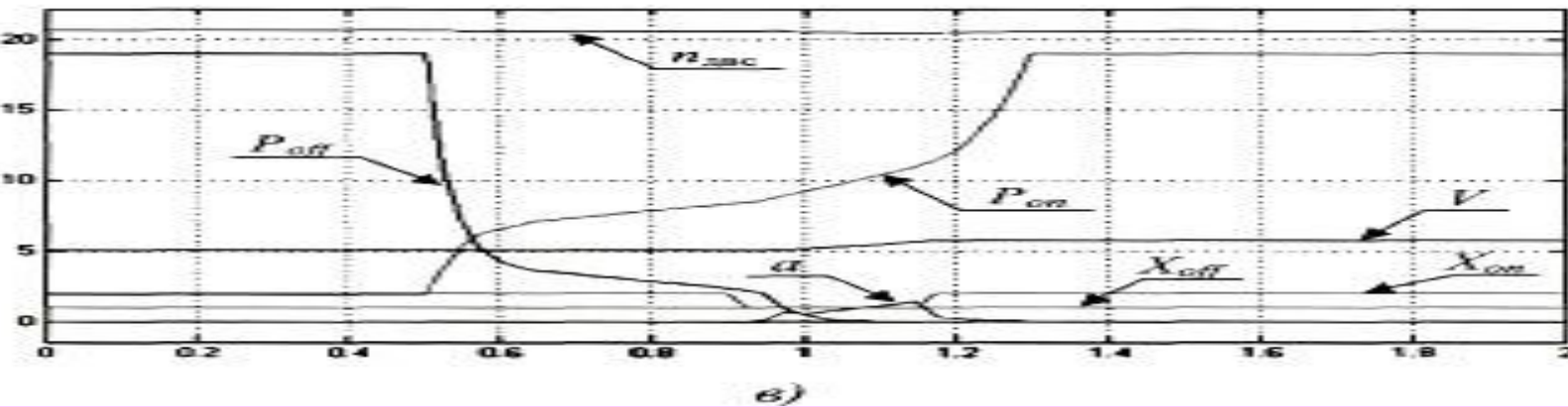
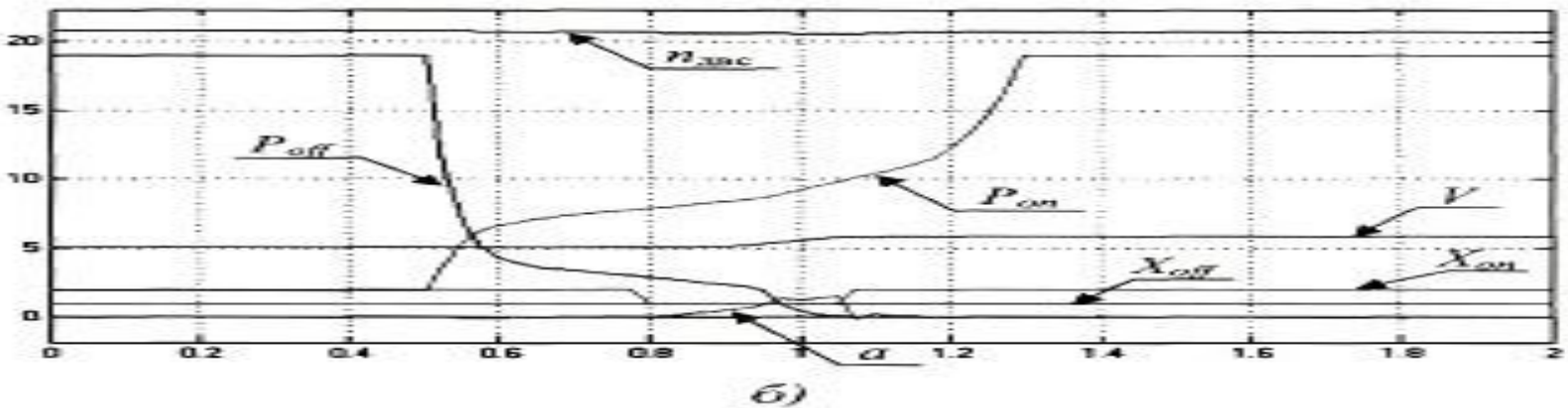
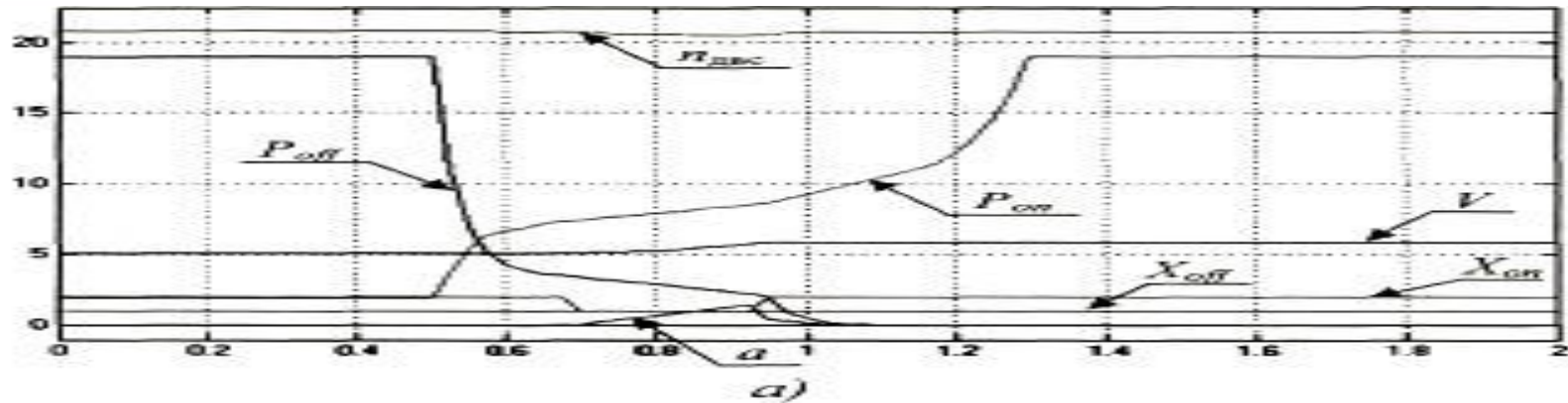
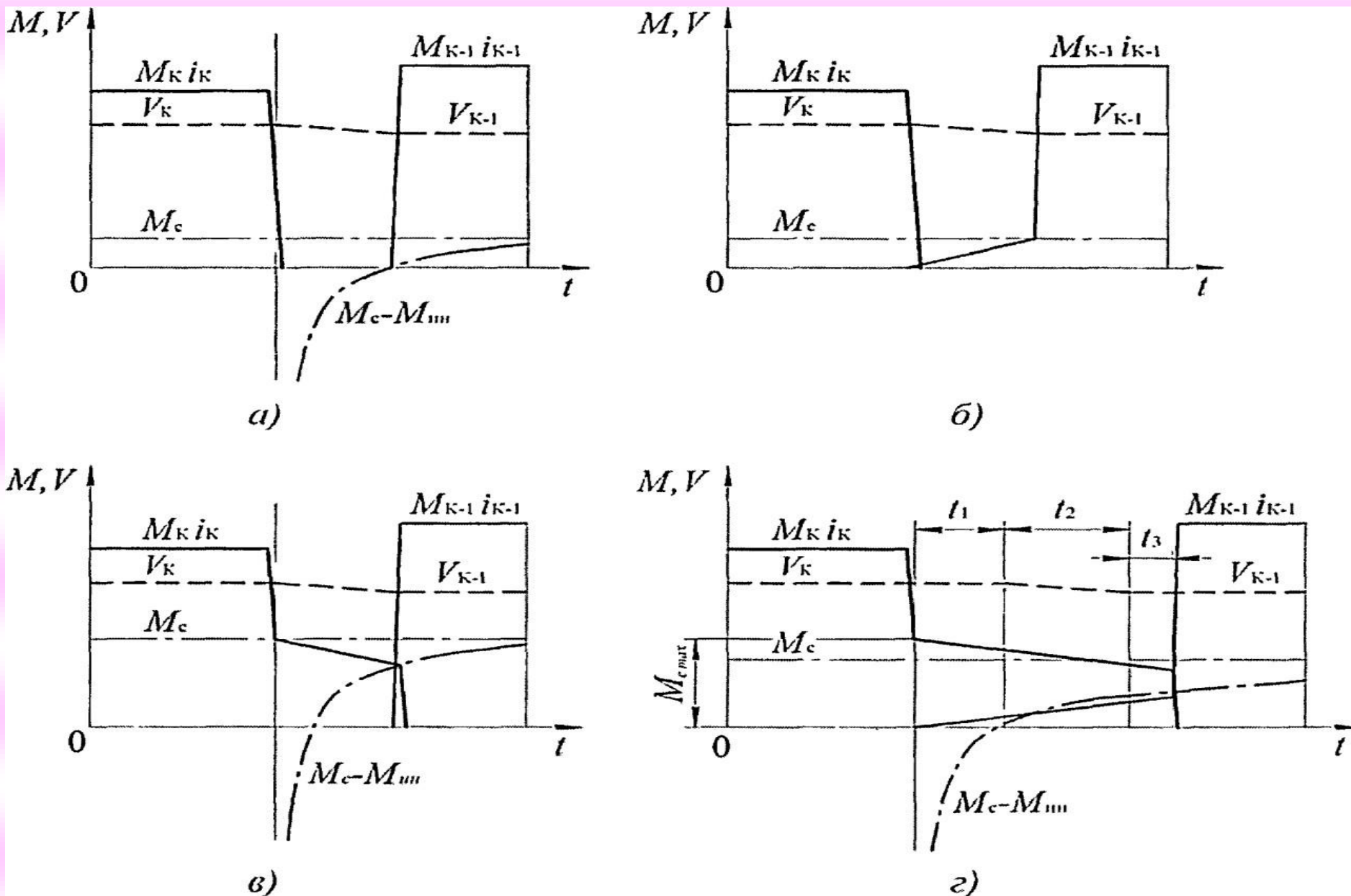


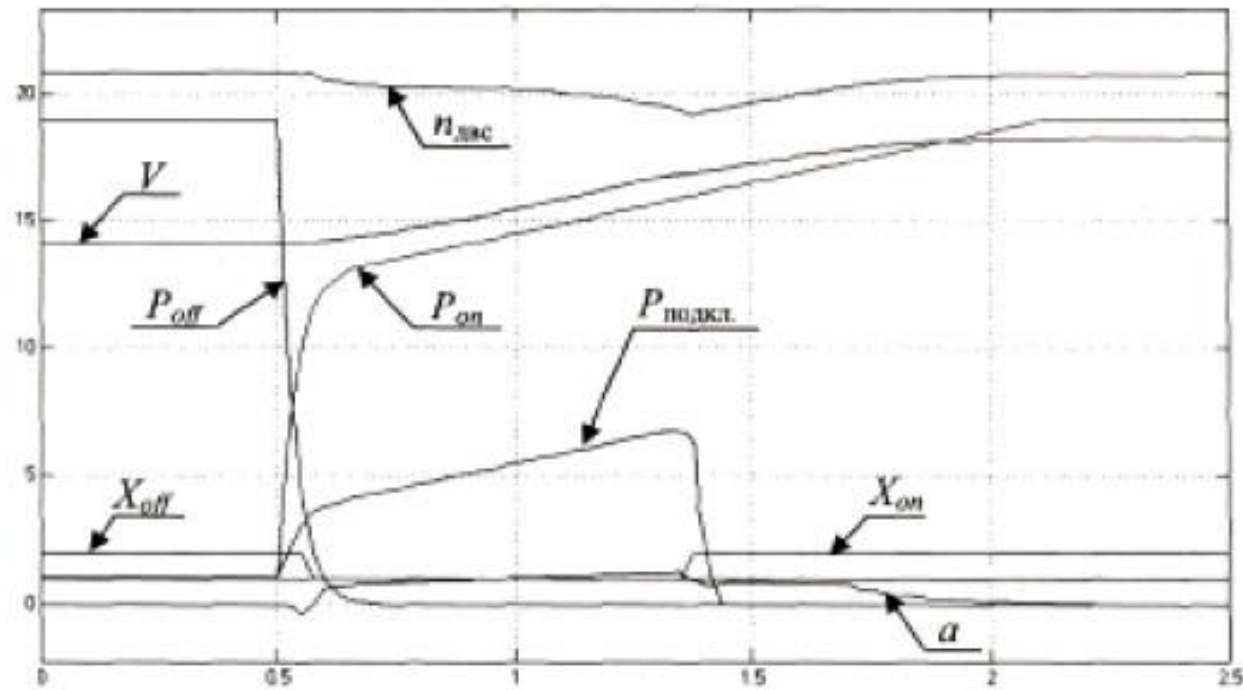
Рисунок 10. 1. Результати моделювання перемикання передач з п'ятої на шосту: а) –  $P_{ГК} = 30$  кН; б) -  $P_{ГК} = 45$  кН; в) -  $P_{ГК} = 60$  кН;  $P_{off}$ ,  $P_{on}$  - тиск в бустері ФМ, яка виключається та включається, ( $\times 10^{-1}$ ) МПа;  $V$  - швидкість МТА, км/год;  $a$  - прискорення МТА, м/с<sup>2</sup>;  $X_{off}$ ,  $X_{on}$  - індикатори стану фрикційних муфт

## З ОДНАКОВОЮ ТРИВАЛІСТЮ СПОВІЛЬНЕННЯ

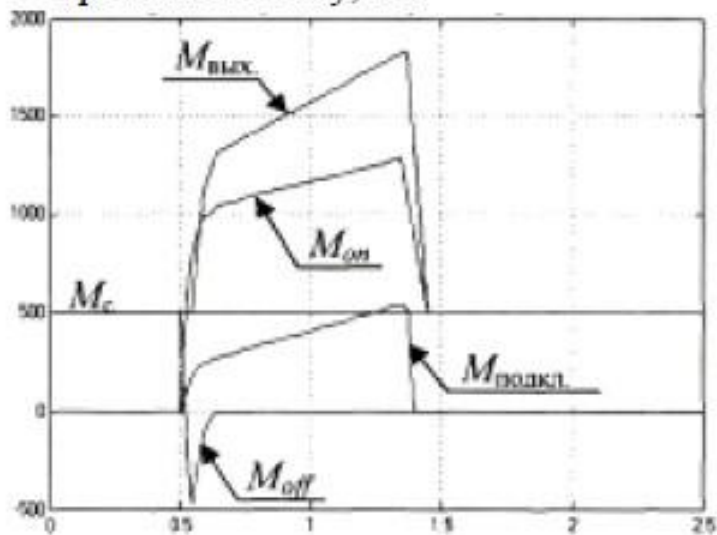


а) – з розривом потоку потужності; б) – гальмування муфтою, яка включається; в) – гальмування муфтою, яка виключається; г) – сповільнення завдяки буксуванню обох муфт

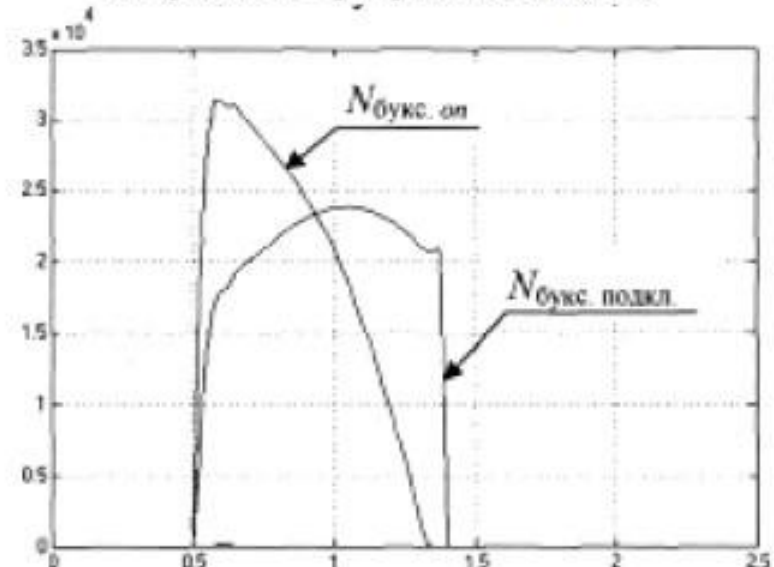
# РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕМИКАННЯ 13-14 ПЕРЕДАЧ НАФТОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ НА ШАСІ МЗКТ-7413



Моменти від ФМ приведені до проміжного валу, Нм



Потужність буксування ФМ, Вт



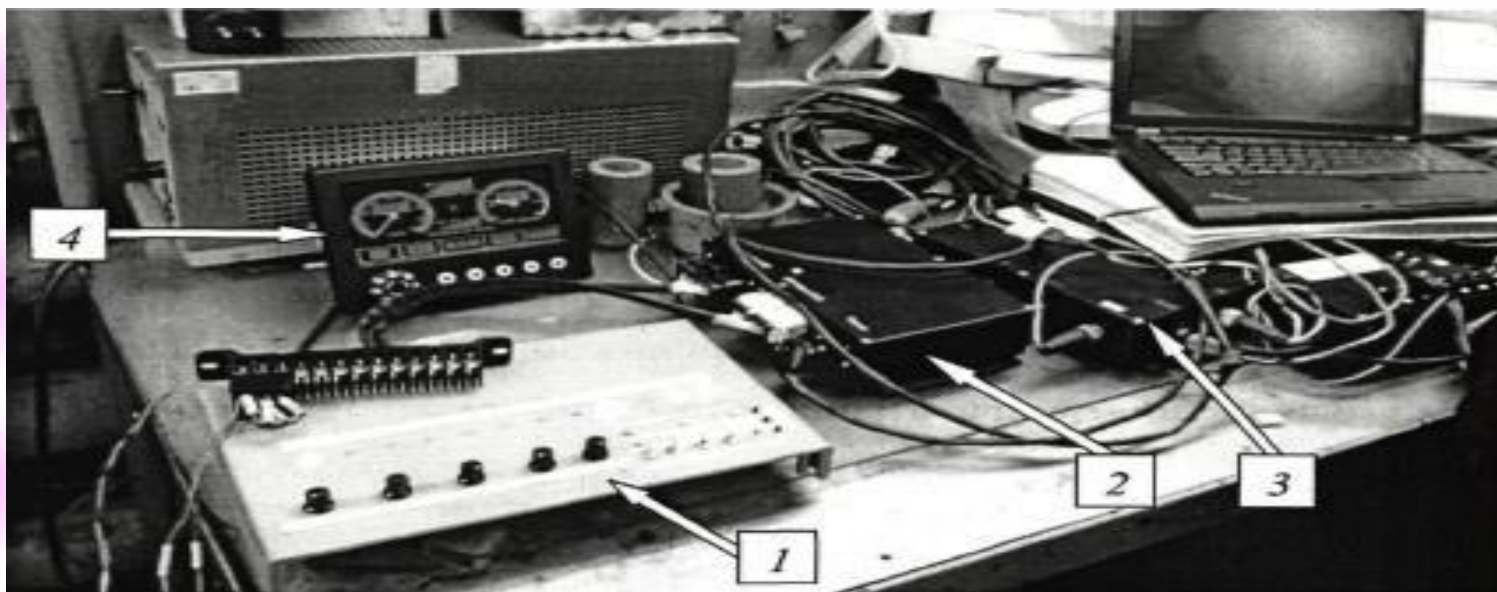


Рисунок 15.1. Загальний вигляд стенду для налаштування алгоритму роботи системи управління КП нафтогазової установки на шасі МЗКТ-7413: 1 - пульт управління; 2 - контролер трансмісії; 3 - реєстратор; 4 - дисплей

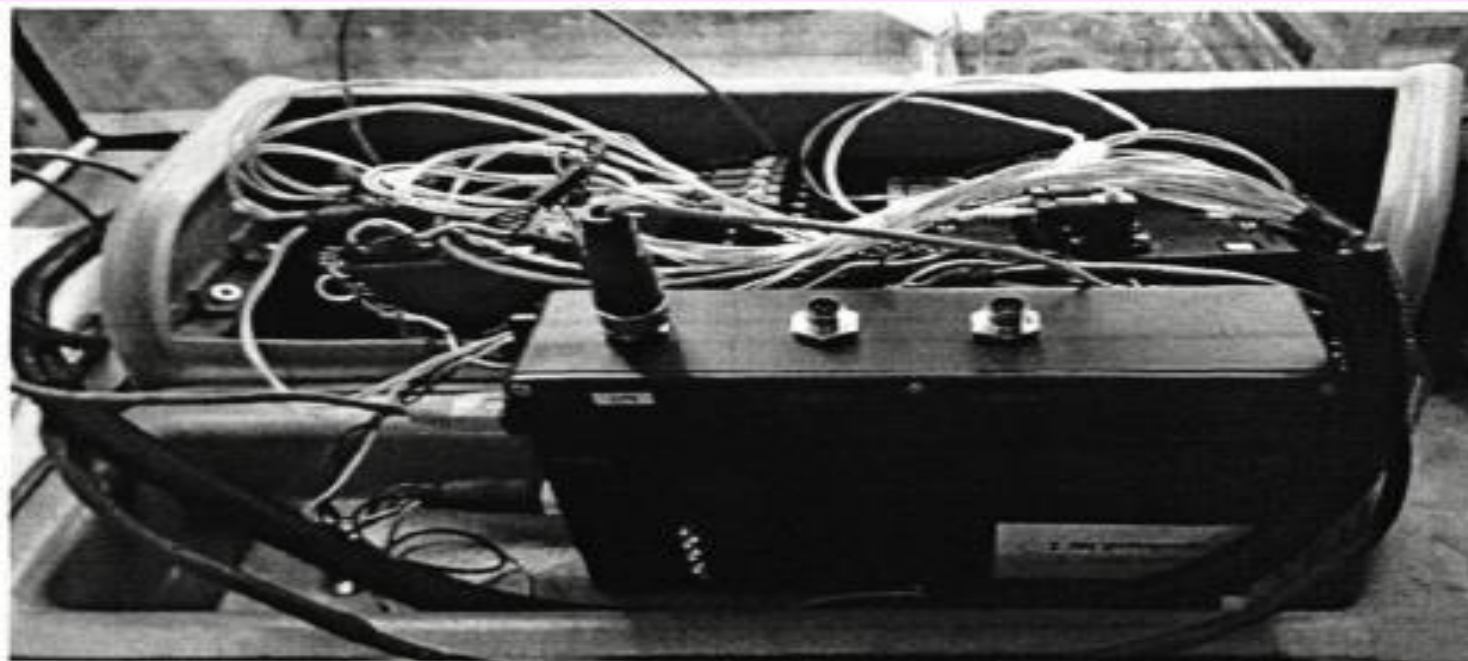
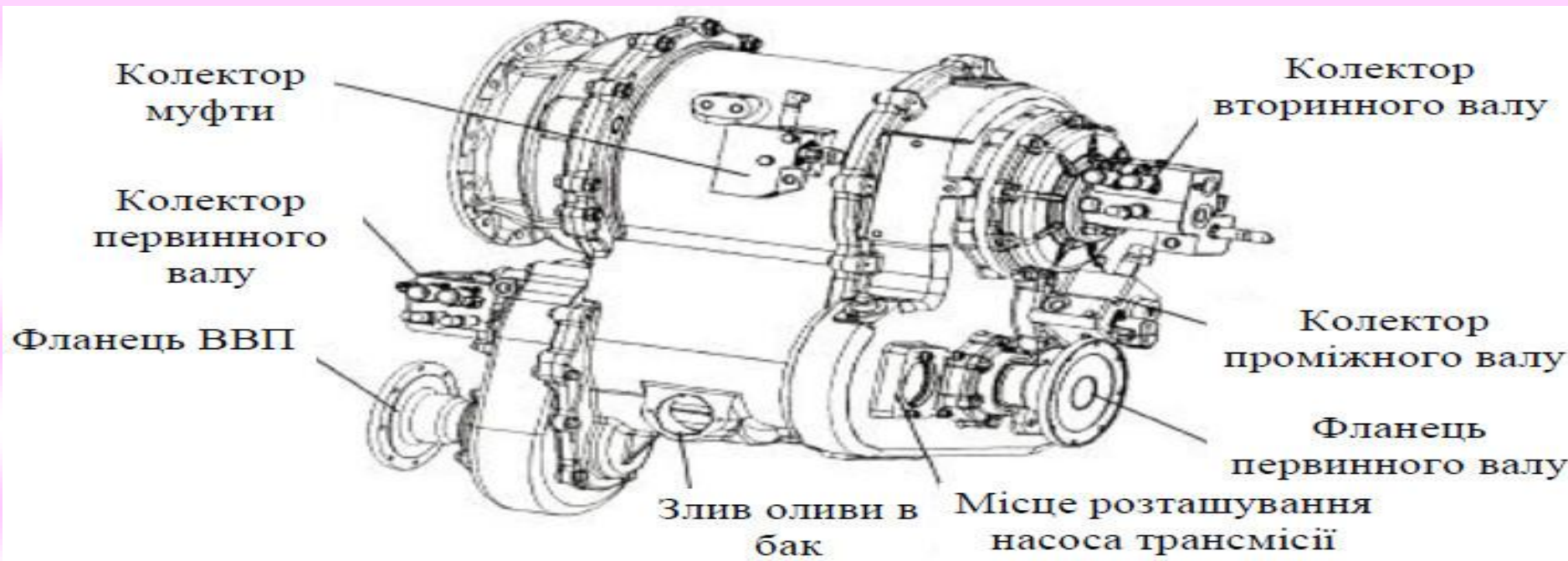
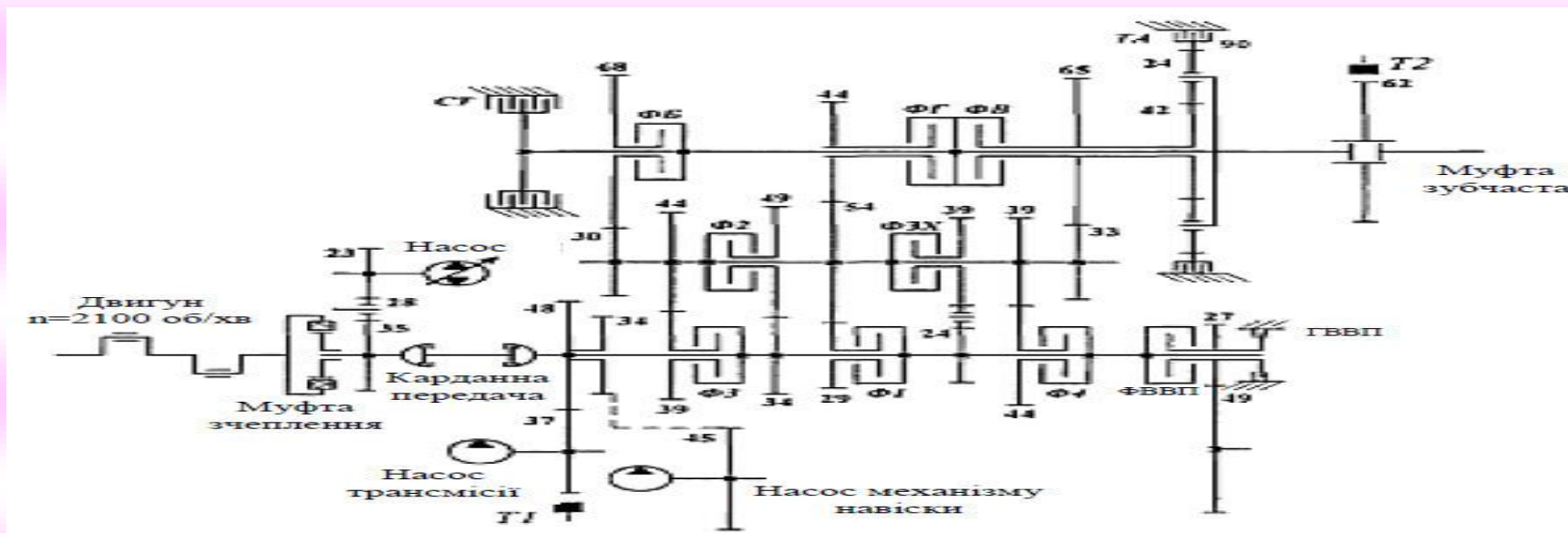


Рисунок 15.2. Приєднання реєстратора в кабіні нафтогазової установки на шасі МЗКТ-7413

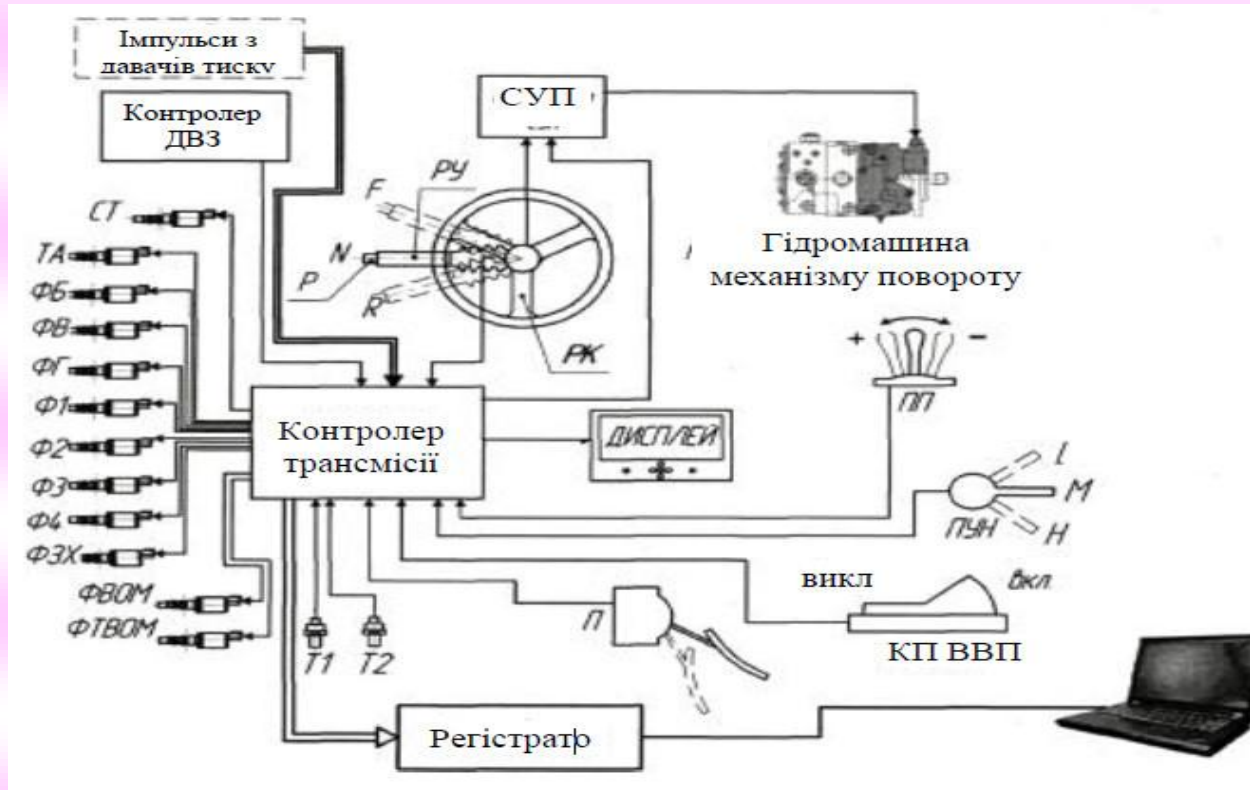
## НА ШАСІ МЗКТ-7413



Кінематична схема коробки передач НГТТ на шасі МЗКТ-7413



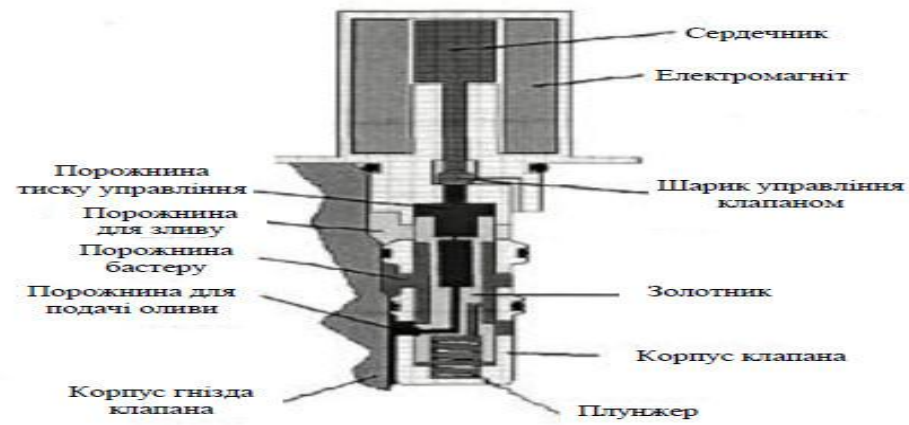
ГМ КП НАФТОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ НА ШАСІ МЗКТ-7413



МЗКТ-7413: БУ - блок управління трансмісією; РК - кермове колесо; РУ - важіль управління, забезпечує вибір напрямку руху («F» - вперед, «R» - назад, «N» - нейтральне); Р - кнопка включення/виключення гальма стоянки; П - педаль зчеплення; ПП - клавіша вибору номера передачі; ПУН - перемикач режимів процесу перемикачів передач по навантаженню («L» - низьке навантаження, «M» - середнє, «H» - високе); Т1, Т2 - датчики частоти обертання первинного та вторинного валів КП відповідно; КП ВВП - клавішний перемикач ВВП; СУП - система управління поворотом

Рисунок 16.1. Схема системи управління ГМ КП НГТТ на шасі

ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИЙ ПРОПОРЦІЙНИЙ КЛАПАН





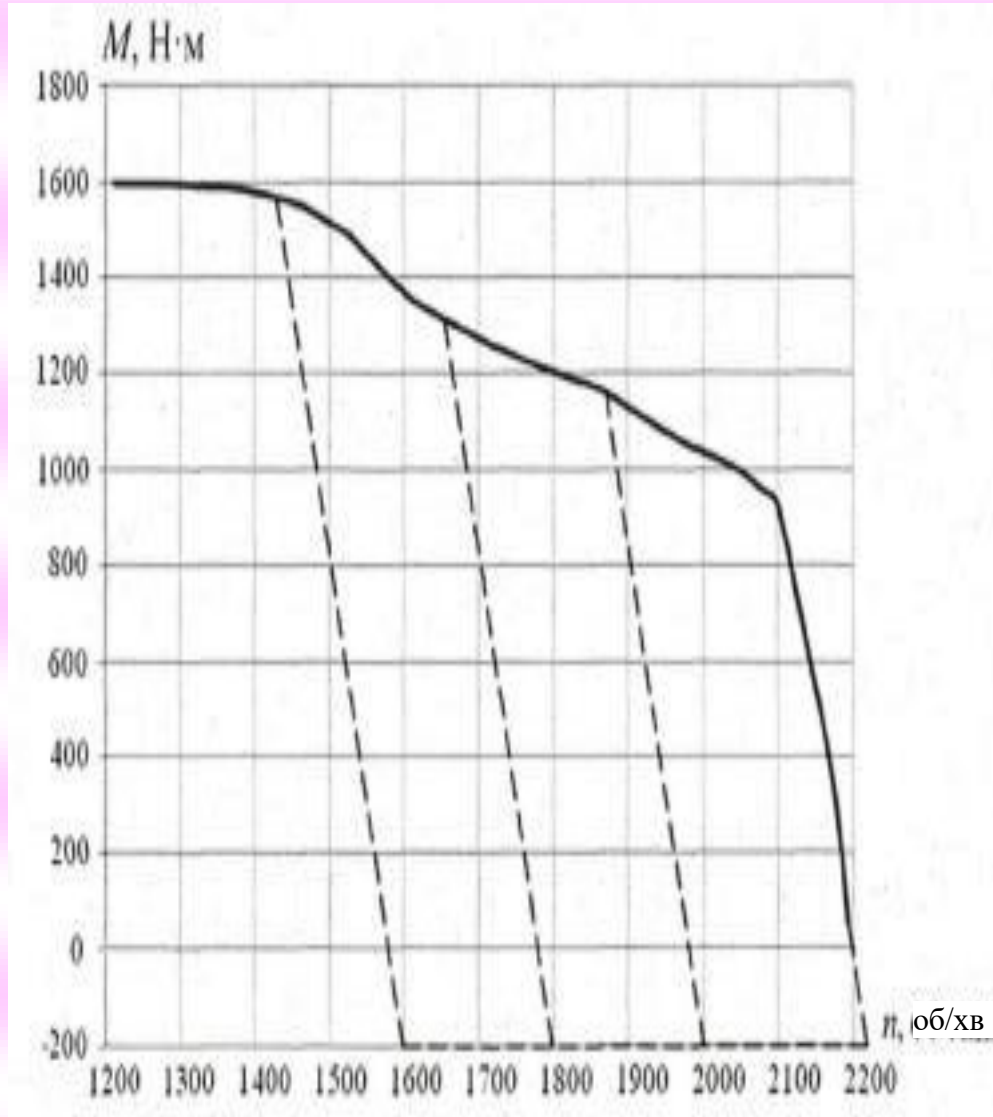


Рисунок 18.1. Зміна моменту обертання двигуна QSM11-C330 на шасі МЗКТ-7413 залежно від положення важеля подачі палива

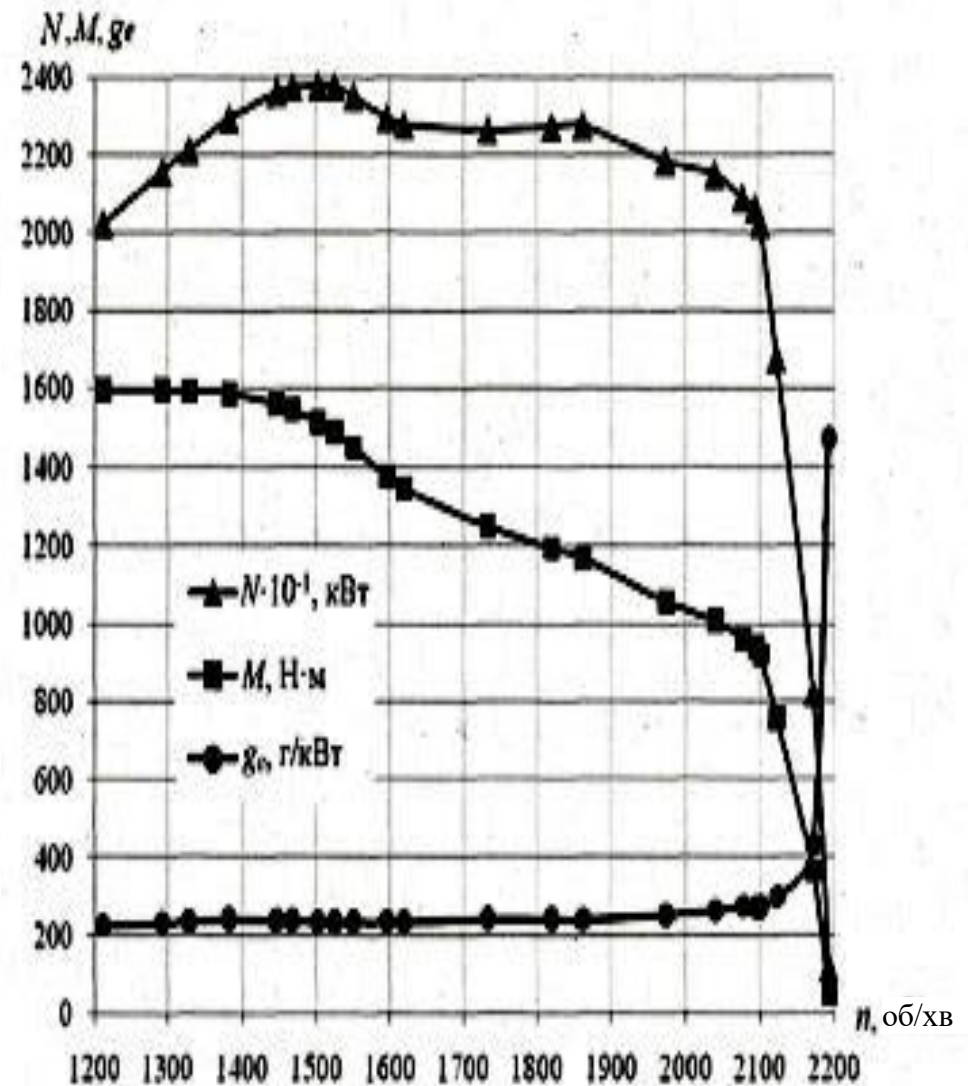
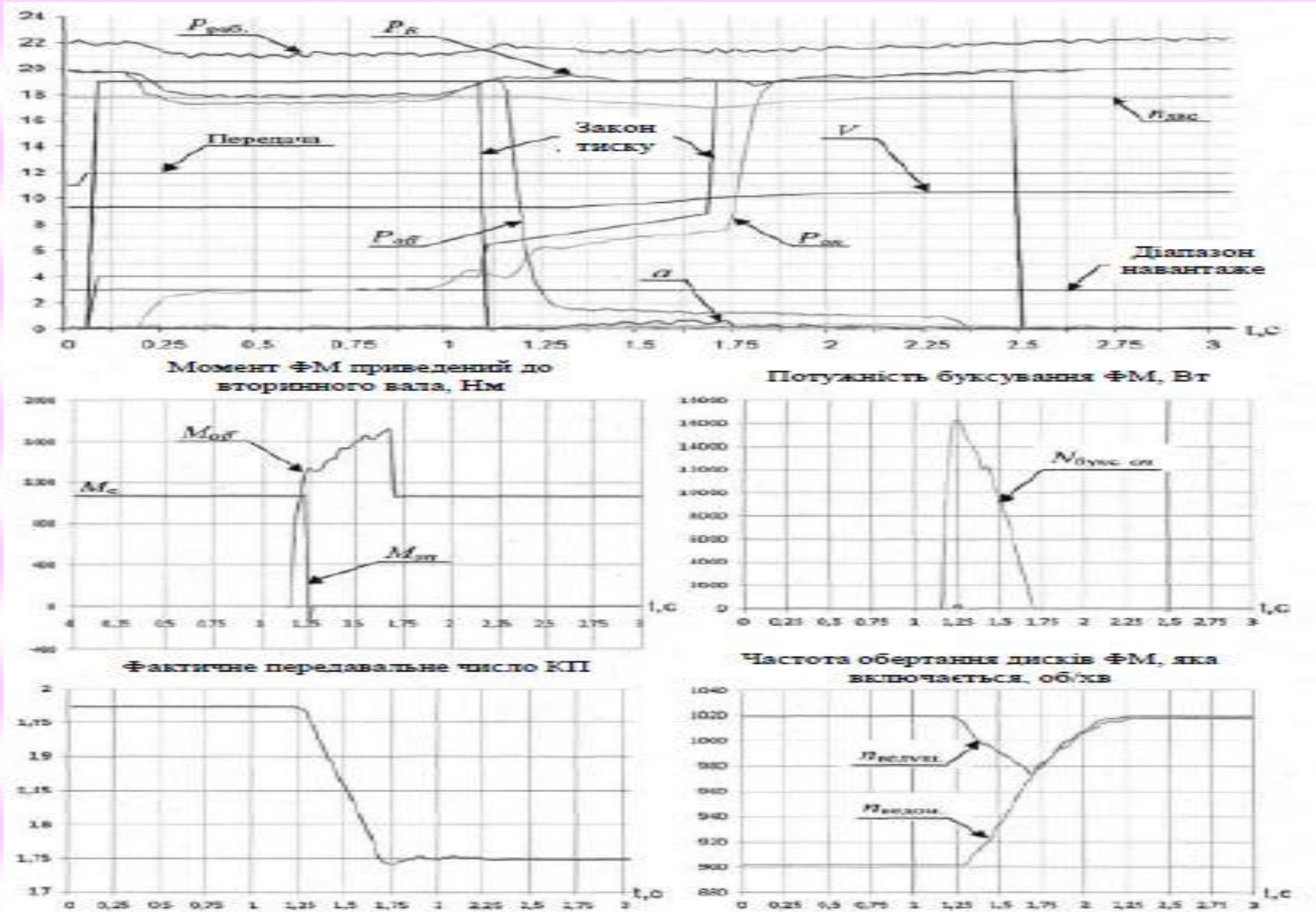


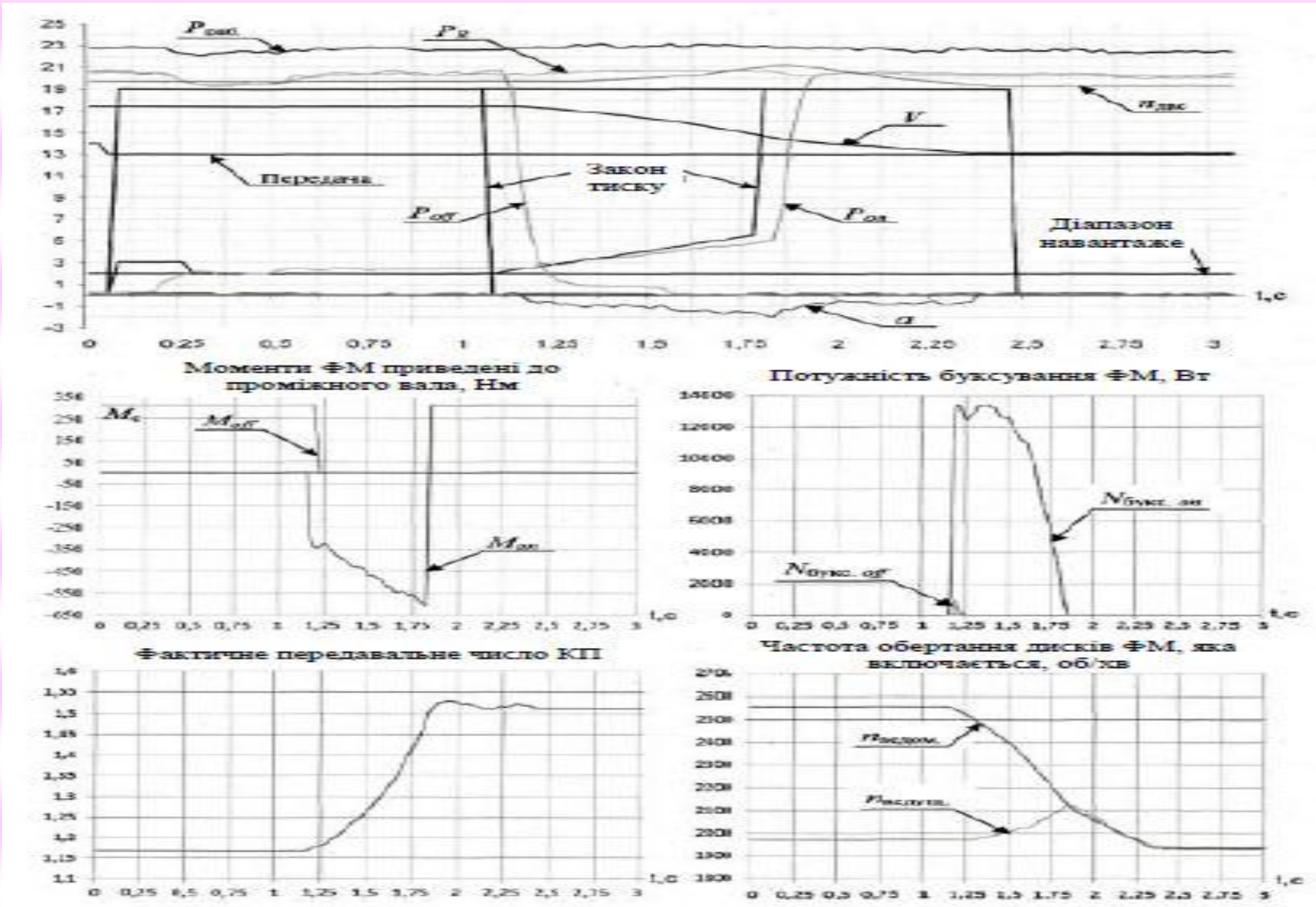
Рисунок 18.2. Гальмівна характеристика двигуна QSM11-C330

## Основні параметри перемикавання передач з 11 на 12, середній режим



# РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

## Основні параметри перемикання передач з 14 на 13, легкий режим



Зміна тиску в бустерах мокрих фрикційних муфт є першим рівнем безпосереднього управління перемиканням передач, якість якого залежить від стабільності показників тертя під впливом температури, залипання, деформації, а також інших шкідливих властивостей взаємодії фрикційних дисків. Поліпшити якість перемикання можливо шляхом застосування електронного управління, яке на основі даних про частоти обертання валів КП забезпечує корекцію тиску.

Перемикання передач виконуване за рахунок управління тиском в гідропідтискних фрикційних муфтах НГТТ, може супроводжуватися короткочасною негативною дією циркуляції потужності та виникненням динамічних навантажень на елементи трансмісії залежно від відносної швидкості ковзання фрикційних дисків муфт; необхідною та достатньою умовою для цього є перевищення швидкості дисків, сполучених з вторинним валом, над швидкістю сполучених з первинним. Цей перехідний процес однаковий для однопарного та двохпарного перемикань передач і може викликати короткочасні зупинки нафтогазової установки.

На підставі результатів моделювання основних параметрів процесу перемикання передач НГТТ на шасі МЗКТ-7413 встановлено, що раціональні значення інтенсивності зміни тиску в бустері фрикційної муфти, яка включається, залежно від навантаження на навісному обладнанні НГТТ лежатимуть на лінії перетину побудованих у відносних одиницях поверхонь роботи буксування фрикційної муфти, яка включається, та максимального прискорення НГТТ під час перемикання на вищу передачу, або роботи буксування фрикційної муфти і мінімального прискорення НГТТ - перемикаючись на нижчу передачу.

Експериментальні дослідження НГТТ на шасі МЗКТ-7413 показали, що відсутність перекриття передач за наявності підготовчого етапу для ФМ, яка включається, не зумовлює погіршення роботи муфт. За наявності підготовчого етапу для муфти, яка включається, при подачі команди на миттєве скидання тиску до нуля в муфті, що виключається, та команди на миттєве збільшення тиску до заданого початкового в муфту, яка включається, час перекриття для передачі моменту від муфти, що вимикається, до тієї, що включається становить 0,1-0,2 с.