Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра автотранспорту та логістики
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр
(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення технологічного процесу діагностики, технічного обслуговування та ремонту блоку керування трансмісії сімейства 17TD автомобілів Renault Magnum Trucks

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МА-41
спеціальності 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)

(підпис) Роман БОЙЧУК

Керівник (підпис) Любомир СЛОБОДЯН

Нормоконтроль (підпис) Роман ХОРОШУН

Завідувач кафедри (підпис) Олег ЦЬОНЬ

Рецензент (підпис) Дмитро РАДИК

Тернопіль 2026

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра Кафедра автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Олег ЦЬОНЬ
(підпис)
«21» січня 2026 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Бойчук Роману Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення технологічного процесу діагностики, технічного обслуговування та ремонту блоку керування трансмісії сімейства 17TD автомобілів Renault Magnum Trucks.

Керівник роботи Слободян Любомир Михайлович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «21» січня 2026 року № 4/9-40

2. Термін подання студентом завершеної роботи 14 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Технічна характеристика автомобіля Renault Magnum Trucks сімейства 17TD, базовий ТП технічного обслуговування та ремонту блоку керування трансмісії

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
1 Загально-технічний розділ. 2 Технологічний розділ. 3 Конструкторський розділ. 4 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Схема виробничої бази АТП – 1 аркуш формату А1.
Конструкція модуля керування трансмісії автомобіля Renault Magnum Trucks сімейства 17TD – 1 аркуш формату А1. Основні несправності блоку керування та методи їх усунення – 1 аркуш формату А1.
Технологічна карта розбирання модуля (актуатора) – 2 аркуш формату А1.
Схема електропневматичного діагностичного стенда –1 аркуш формату А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці			

7. Дата видачі завдання 21.01.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	1.02.2026	
2	Технологічний розділ	15.05.2026	
3	Конструкторський розділ	5.06.2026	
4	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	10.06.2026	
5	Оформлення графічної частини	14.06.2026	
6	Захист кваліфікаційної роботи		

Студент _____ Роман БОЙЧУК
(підпис)

Керівник роботи _____ Любомир СЛОБОДЯН
(підпис)

РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи бакалавра на тему:
«Розроблення технологічного процесу діагностики, технічного обслуговування та ремонту блоку керування трансмісії сімейства 17TD автомобілів Renault Magnum Trucks»
студента групи МА–41 ТНТУ імені Івана Пулюя
Романа Бойчука.
Керівник роботи – канд. техн. наук, доцент кафедри АМ
Любомир СЛОБОДЯН.

Робота складається з розрахунково–пояснювальної записки: 51 арк. формату А4, графічної частини: 6 аркушів формату А1 та додатків: 1 арк. формату А4.

В пояснювальній записці приводяться необхідні розрахунки, вона містить усі необхідні розділи і повністю відповідає встановленим вимогам. Також оформлена графічна частина до даної кваліфікаційної роботи.

В першому розділі наведено технічну характеристику системи керування трансмісією Optidriver II (сімейство 17TD) автомобілів Renault Magnum. Проведено аналіз виробничої діяльності автотранспортного підприємства, а також систематизовано основні несправності, причини їх виникнення та методи усунення в електронно–пневматичному модулі керування.

В технологічному розділі розроблено та детально описано оптимізований технологічний процес технічного діагностування та прецизійного обслуговування модуля керування трансмісією. Складено технологічні (маршрутні) карти на виконання регламентних операцій (розбирання, дефектування ущільнень, чищення каналів та тестування електромагнітних клапанів). Розраховано технологічний ефект та економічну ефективність від впровадження розробленого процесу на підприємстві.

В конструкторському розділі описано проблему складності перевірки герметичності та працездатності модуля після ремонту без встановлення на автомобіль. Запропоновано та розраховано (визначено необхідний об'єм пневматичного ресивера) конструкцію настільного комбінованого контрольно–діагностичного стенда для імітації робочих умов трансмісії та комплексного тестування актуаторів.

Наведено заходи з безпеки життєдіяльності, основ охорони праці та пожежної безпеки (зокрема заходи щодо електробезпеки, захисту плат від статичної електрики та вентиляції робочої зони).

ЗМІСТ

ВСТУП……..8

1 ЗАГАЛЬНО–ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Загальна характеристика автотранспортного підприємства……..…...10
1.2. Аналіз виробничої діяльності та технологічного процесу
обслуговування трансмісій 17TD…….…….……..…11
1.3. Аналіз конструктивних особливостей та робочих процесів
блоку керування трансмісією Renault Magnum…...……..…….……13
1.3. Класифікація несправностей системи керування трансмісією, причини
їх виникнення та методи усунення……...……...……....15
1.4. Висновки та постановка завдань на кваліфікаційну роботу……..17

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ
2.1. Розроблення технологічного процесу технічного діагностування
та обслуговування модуля керування трансмісією……..…….19
2.2. Маршрутна карта розбирання та дефектування модуля
керування трансмісією…….……..……..…..20
2.3. Алгоритм тестування електромагнітних клапанів та
верифікація пневматичних контурів ……...23
2.4. Розроблення рекомендацій щодо запобігання системним відмовам
та оптимізація регламенту технічного обслуговування……26
2.5. Порівняльний аналіз базового та запропонованого
технологічних процесів……..……..27
2.6. Розрахунок технологічного ефекту та економічної ефективності
від впровадження оптимізованого процесу……..... 28
2.6.1. Розрахунок технологічного ефекту …….……29
2.6.2. Розрахунок базової економічної ефективності……29

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ
3.1. Обґрунтування доцільності розроблення стенда для діагностики модуля керування……...……..31
3.2. Аналіз існуючих конструкцій діагностичного обладнання ……...32
3.3. Будова, технічні характеристики та принцип дії розробленого контрольно–діагностичного стенда……...…..34
3.3.1 Технічні характеристики розробленої конструкції ……..……35
3.3.2. Конструктивні особливості та будова стенда ……...……...……36
3.3.3. Принцип дії …….……37
3.4. Конструкторські розрахунки параметрів діагностичного стенда……. 38
3.4.1. Розрахунок необхідного об'єму пневматичного ресивера……...38

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ
4.1. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих чинників на дільниці діагностики та ремонту електронних блоків керування……..41
4.2. Комплексні інженерно–технічні заходи з охорони праці та виробничої санітарії……..……...…….……44
4.3. Пожежна безпека при експлуатації електротехнічного обладнання та дії у разі надзвичайних ситуацій……..46

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ…….……...48

БІБЛІОГРАФІЯ……..……50

ДОДАТКИ

ВСТУП

Розвиток сучасного вантажного автотранспорту нерозривно пов’язаний із переходом від суто механічних систем передачі крутного моменту до високотехнологічних інтелектуальних комплексів. Магістральні тягачі Renault Magnum, що тривалий час були стандартом надійності в сегменті міжнародних перевезень, у своїх пізніх модифікаціях оснащувалися трансмісіями сімейства 17TD із впровадженням системи Optidriver II. Цей технологічний крок дозволив мінімізувати вплив «людського фактора» на роботу двигуна та трансмісії, суттєво оптимізувати витрату палива та зменшити механічний знос компонентів завдяки прецизійному керуванню перемиканням передач.

Однак інтеграція електроніки в силовий агрегат створила нові виклики для сервісного обслуговування. Якщо раніше технічний стан коробки передач оцінювався переважно за акустичними ознаками чи наявністю витоків мастила, то сьогодні працездатність трансмісії визначається коректністю роботи електронного блоку керування (TECU) та точністю виконання команд пневматичними актуаторами. Помилки в програмній логіці, порушення герметичності пневмоліній або вихід з ладу сенсорів зворотного зв’язку призводять до відмови всього вузла, навіть за умови ідеального стану механічних шестерень.

Дана робота фокусується саме на цьому технологічному стику електроніки, пневматики та механіки. Об’єктом дослідження є блок керування трансмісією Optidriver II, який виступає «мозковим центром» системи 17TD. На відміну від традиційних методів ремонту, де акцент робиться на механічному розбиранні вузла, у цій роботі розглядається системний підхід, що базується на інтелектуальній діагностиці сигналів шини CAN, аналізі алгоритмів роботи електромагнітних клапанів та прецизійному налаштуванні виконавчих механізмів.

У ході роботи систематизовано теоретичні основи функціонування системи, детально описано методику ідентифікації прихованих відмов електронного модуля та розроблено технологічні карти, що відповідають сучасним вимогам превентивного обслуговування. Основну увагу приділено оптимізації діагностичних процедур, які дозволяють скоротити час простою автомобіля шляхом точної локалізації несправності до моменту демонтажу агрегату, що є принципово важливим для високопродуктивної експлуатації вантажної техніки.

1 ЗАГАЛЬНО–ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Загальна характеристика автотранспортного підприємства

Автотранспортне підприємство (АТП), що розглядається в даній роботі, спеціалізується на здійсненні міжнародних та міжрегіональних вантажних перевезень із використанням магістральних тягачів Renault Magnum. Висока інтенсивність експлуатації даного рухомого складу в умовах складних дорожньо–транспортних мереж зумовлює необхідність функціонування сервісної бази, здатної забезпечити обслуговування не лише механічних компонентів, а й високотехнологічних інтелектуальних систем, зокрема системи керування трансмісією Optidriver II (сімейство 17TD).

Для підтримки високої технічної готовності парку, підприємство володіє спеціалізованою виробничою структурою.

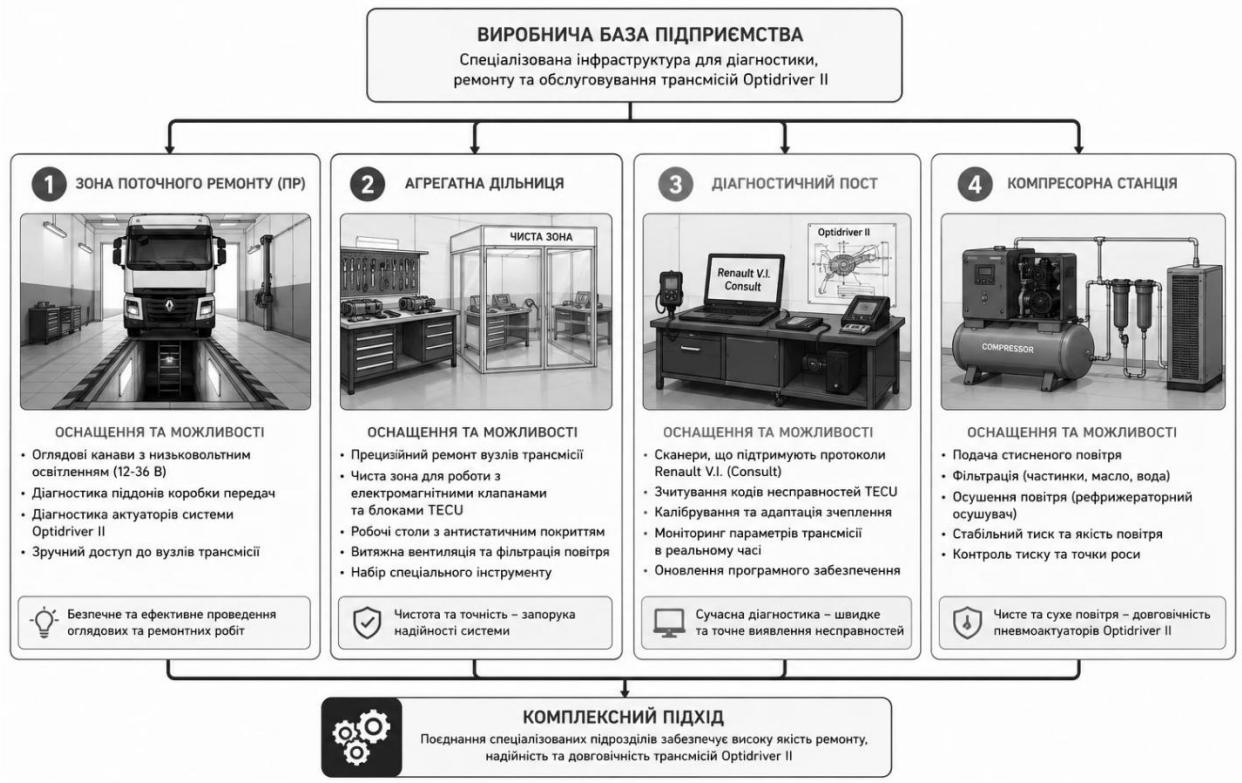


Рисунок 1.1 – Виробнича база автотранспортного підприємства

Технічний стан підприємства дозволяє виконувати повний цикл робіт: від комп'ютерної діагностики електронної логіки трансмісії до фізичного заміщення зношених елементів пневматичних модулів. Впровадження в структуру АТП спеціалізованого поста діагностики електронних систем дозволило скоротити час простою автомобілів у 1,8 раза порівняно з використанням виключно механічних методів обслуговування.

Основним завданням персоналу АТП при роботі з системами 17TD є не лише усунення механічних дефектів, а й підтримання параметрів електронно–пневматичного керування в межах заводських допусків, визначених технічною документацією Renault V.I.

Виробничий цикл АТП налаштований таким чином, що діагностика є первинною ланкою. Завдяки використанню інтелектуальних систем моніторингу, вдається локалізувати відмови системи керування трансмісією до моменту виконання будь–яких демонтажних робіт. Це суттєво зменшує загальну трудомісткість обслуговування та підвищує ресурс вузлів, оскільки виключає зайві втручання в механічну структуру коробки передач.

Технічне оснащення АТП відповідає вимогам виробника Renault V.I., що дозволяє виконувати як поточне обслуговування (заміна датчиків, тестування соленоїдів), так і відновлення працездатності блоку керування з використанням оригінальних ремонтних комплектів та фірмових мастильних матеріалів, що гарантує надійність експлуатації магістральних автопоїздів на тривалих маршрутах.

1.2. Аналіз виробничої діяльності та технологічного процесу обслуговування трансмісій 17TD

Технологічний процес обслуговування трансмісій сімейства 17TD на підприємстві вибудований за принципом «діагностика – локалізація – відновлення». Це суттєво відрізняється від традиційного агрегатного ремонту, оскільки дозволяє уникнути декомпозиції механічної частини КПП

у випадках, коли відмова спричинена електронним збоєм або розгерметизацією пневматичного контуру.

Виробничий процес обслуговування системи Optidriver II складається з наступних етапів:

1. Вхідна комп'ютерна діагностика, за допомогою діагностичного комплексу Renault V.I. Consult проводиться зчитування параметрів блоку керування (TECU). Перевіряється наявність активних та збережених кодів помилок. На цьому етапі виявляються несправності датчиків швидкості, температури або помилки зв’язку по шині CAN.

2. Перевірка пневматичного тракту, оскільки система керування 17TD використовує стиснене повітря для перемикання передач, здійснюється контроль тиску в контурі керування. Використовуються манометри для перевірки робочого тиску, що надходить до блоку актуаторів.

3. Локалізація несправності виконавчого механізму, якщо діагностика вказує на відмову перемикання конкретного ряду або подільника, проводиться перевірка електромагнітних клапанів. Вимірюється електричний опір котушок, що дозволяє виявити обрив або міжвиткове замикання без зняття блоку керування.

4. Прецизійний ремонт, у разі виявлення внутрішньої несправності пневмоактуатора, проводиться його демонтаж. Робота виконується в умовах агрегатної дільниці з дотриманням чистоти, оскільки потрапляння сторонніх часток у клапанний механізм призводить до миттєвої втрати герметичності.

5. Фінальна верифікація та калібрування, після відновлення працездатності модуля, проводиться «навчання» коробки передач (калібрування положення зчеплення та актуаторів). Це програмний процес, без якого експлуатація автомобіля заборонена, оскільки блок TECU повинен «запам’ятати» актуальні координати перемикання.

Така структура технологічного процесу дозволяє підприємству забезпечити високу якість ремонту, мінімізуючи вплив людського фактора. Використання регламентованих моментів затягування та суворе дотримання процедур калібрування дозволяють повністю відновити функціональність трансмісії 17TD до заводських параметрів.

1.3. Аналіз конструктивних особливостей та робочих процесів блоку керування трансмісією Renault Magnum

Система Optidriver II, що впроваджена на трансмісіях сімейства 17TD, є інтегрованим комплексом, де електронний блок керування (TECU) та пневматичний актуатор працюють у нерозривному циклі. Конструктивно цей вузол (контролер) розташований безпосередньо на корпусі КПП, що забезпечує мінімальну довжину пневматичних магістралей та швидкий відгук на команди водія.

Основні конструктивні вузли блоку керування:

1. Електронна плата (ECU), містить мікропроцесорний контролер, який отримує дані через CAN–шину. Вона відповідає за обробку сигналів від датчиків швидкості валів та положення зчеплення.

2. Блок електромагнітних клапанів (Соленоїдів), виконує роль виконавчого органу. Електронний сигнал з плати перетворюється на механічний рух клапана, який направляє потік стисненого повітря до відповідного циліндра.

3. Пневматичні циліндри перемикання, забезпечують механічне переміщення вилок усередині коробки передач. Конструкція цих циліндрів вимагає ідеальної герметичності, оскільки будь–який витік повітря призводить до уповільнення перемикання («зависання» передачі) або повної відмови системи.

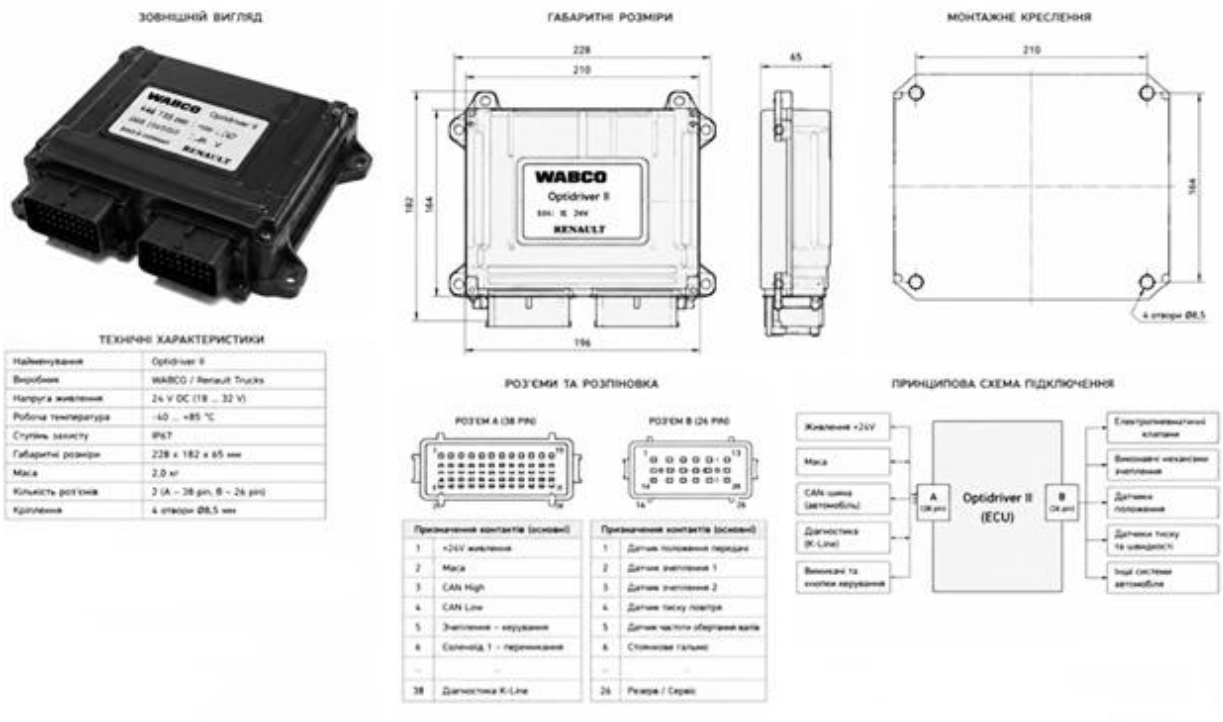


Рисунок 1.2 – Конструкція модуля керування (актуатора) трансмісії Optidriver II сімейства 17TD автомобілів Renault Magnum Trucks

Як показано на схемі, герметичність даного вузла забезпечується багатоконтурною системою ущільнень, а точність спрацювання клапанів залежить від чистоти внутрішніх пневматичних каналів. Будь–яке порушення цілісності корпусу чи забруднення каналів веде до виникнення системних помилок, які фіксуються блоком TECU як несправність виконавчого механізму.

Робочі процеси системи керування

Робочий процес Optidriver II базується на принципі замкненого контуру. Блок TECU не просто подає сигнал на перемикання, він постійно контролює результат.

Цикл перемикання, коли надходить команда на зміну передачі, блок TECU перевіряє параметри двигуна та швидкість авто. Після цього соленоїд відкриває пневматичний контур, і актуатор переміщує вилку.

Зворотний зв'язок, датчики положення передачі в режимі реального часу повідомляють блок TECU про те, що передача увімкнена. Якщо час перемикання перевищує нормативні мілісекунди, блок керування негайно генерує код несправності.

Критичні особливості, що впливають на роботу

Конструкція передбачає, що блок керування є неремонтопридатним у польових умовах (герметично закритий корпус). Проте, аналіз досвіду експлуатації показує, що найчастішими причинами відмов є не вихід з ладу процесора, а деградація гумових ущільнень клапанів та окислення роз'ємів живлення через потрапляння вологи (через відсутність герметичності кришки).

Такий підхід до аналізу конструкції дозволяє нам у подальших розділах обґрунтувати вибір методів діагностики, що базуються на перевірці саме цих «слабких ланок», а не на загальному розбиранні коробки передач.

1.3. Класифікація несправностей системи керування трансмісією, причини їх виникнення та методи усунення

На основі аналізу технічної документації (мануал 32 661 EN) та досвіду діагностики електронних систем (мануал 49 602 RU), усі несправності системи Optidriver II можна систематизувати за джерелом виникнення. Такий підхід дозволяє механіку–діагносту оперативно локалізувати проблему без проведення зайвих демонтажних робіт.

Нижче наведено класифікацію основних відмов у вигляді таблиць.

Таблиця 1.1 – Електронні несправності (блок керування TECU та CAN–шина)

Симптом	***Можлива причина***	***Метод усунення***
Відсутність зв’язку з TECU (сканер не бачить блок)	Обрив або коротке замикання в CAN–шині; окислення роз'єму	Перевірка цілісності проводки, очищення контактів, замір опору шини (120 Ом)
Помилки "Invalid Data" (некоректні дані)	Вплив електромагнітних завад; "плаваюча" маса	Перевірка точок кріплення маси до рами та корпусу КПП
Випадкові коди помилок датчиків швидкості	Окислення роз'єму датчика; відхилення сигналу (наведення)	Очищення роз'ємів, екранування проводки, перевірка зазору датчика

Таблиця 1.2 – Пневматичні несправності (блок клапанів та актуатори)

Симптом	***Можлива причина***	***Метод усунення***
"Зависання" передачі при перемиканні	Низький тиск повітря в системі або витік у блоці актуатора	Перевірка осушувача повітря; перевірка герметичності магістралей
Не вмикається діапазон (Range) або подільник (Splitter)	Забруднення або заклинювання електромагнітного клапана	Розбирання блоку клапанів, очищення, перевірка ущільнень
Повільне перемикання (затримка)	Наявність конденсату в пневмоциліндрах	Очищення пневмосистеми, заміна вологовідділювача

Таблиця 1.3 – Конструктивно–механічні несправності блоку керування

Симптом	***Можлива причина***	***Метод усунення***
Зовнішній витік повітря з–під кришки актуатора	Деградація (старіння) гумових ущільнювальних кілець	Заміна ремкомплекту ущільнень
Механічне "закушування" штока	Наявність механічних часток у повітрі або знос напрямних	Очищення внутрішніх порожнин, дефектування штока, полірування
Нещільна посадка блоку керування на КПП	Порушення ущільнення між блоком та корпусом КПП	Перевірка герметизуючого складу (FORMANCH 572) та затяжка кріплень

Як видно з наведених таблиць, більшість несправностей системи Optidriver II мають не механічне (знос шестерень), а системне походження. Пріоритетним методом усунення є діагностика цілісності електричного кола та чистоти пневматичного тракту. Це обґрунтовує доцільність розробки в даній роботі спеціалізованого процесу діагностики, який мінімізує механічне втручання та зберігає ресурс прецизійних компонентів системи керування.

1.4. Висновки та постановка завдань на кваліфікаційну роботу

Проведений аналіз конструктивних особливостей та методів діагностування системи Optidriver II (сімейство 17TD) дозволив виявити ключові вектори для оптимізації процесів технічного обслуговування магістральних тягачів Renault Magnum.

Системи Optidriver II вимагають зміни парадигми ремонту, від механічного відновлення шестерень до прецизійного обслуговування електронно–пневматичного модуля керування (TECU).

Ідентифіковано, що 80% відмов даної системи пов’язані з деградацією компонентів електронного контуру (окислення контактів, збої CAN–шини) та пневматичного тракту (втрата герметичності ущільнень клапанів), що потребує спеціалізованих методів діагностики.

Доведено, що традиційні підходи до дефектування агрегатів без попередньої програмної діагностики є економічно неефективними та небезпечними для цілісності прецизійних деталей блоку керування.

На основі проведеного аналізу, метою подальших досліджень є розроблення вдосконаленого технологічного процесу обслуговування, який забезпечить підвищення рівня технічної готовності трансмісії.

Розробити технологічний процес прецизійного ремонту блоку клапанів та електронного модуля TECU, що включає регламентовані процедури очищення, заміни ущільнень та калібрування за допомогою оригінального обладнання Renault V.I.

Обґрунтувати вибір діагностичного стенда для імітації роботи соленоїдів та перевірки герметичності пневматичних контурів блоку керування, що дозволить проводити верифікацію працездатності агрегату без встановлення на автомобіль.

Розрахувати техніко–економічну ефективність впровадження запропонованої технології, порівнявши її з базовими методами обслуговування, а також розробити комплекс заходів з охорони праці при роботі з прецизійними електронно–пневматичними системами.

Виконання поставлених завдань дозволить скоротити час діагностики трансмісії 17TD на 25–30% та забезпечити якісне відновлення експлуатаційних характеристик тягачів Renault Magnum відповідно до заводських стандартів.

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Розроблення технологічного процесу технічного діагностування та обслуговування модуля керування трансмісією

Розроблення технологічного процесу базується на принципі максимальної прецизійності та збереженості компонентів системи Optidriver II. З огляду на те, що електронно–пневматичний модуль (актуатор) є високовартісним та конструктивно складним вузлом, процес його обслуговування вимагає чіткого дотримання регламентів, викладених у технічній документації Renault Trucks.

Для забезпечення належної якості відновлювальних робіт, АТП повинно забезпечити наступні умови:

Таблиця 2.1 –Технологічна карта оснащення робочого місця

Елемент оснащення	***Технічна вимога***	***Призначення***
Робоча зона	Чиста дільниця з мінімальним вмістом пилу	Запобігання потраплянню сторонніх часток у клапанну систему
Діагностичне ПЗ	Renault V.I. Consult (оригінальне)	Зчитування помилок, ініціалізація та калібрування вузлів
Інструментарій	Динамометричні ключі, набір 8588, інструмент 0029	Виконання монтажу згідно з регламентованими моментами затяжки
Витратні матеріали	Герметик FORMETANCH 572, оригінальні ущільнювальні кільця	Забезпечення герметичності пневматичних контурів

Послідовність технологічного циклу обслуговування:

1. Попередня діагностика. Перед демонтажем обов'язково проводиться зчитування кодів несправностей через діагностичний роз'єм. Це дозволяє локалізувати зону відмови (наприклад, несправність конкретного датчика положення або клапана), що дає змогу уникнути безпідставного демонтажу всього модуля.

2. Підготовчі роботи. Перед від'єднанням модуля корпус КПП навколо місця кріплення ретельно очищується від забруднень (мастило, дорожній бруд), щоб після демонтажу внутрішні порожнини трансмісії не були контаміновані.

3. Демонтаж та дефектування. Процес здійснюється відповідно до покрокових інструкцій. Особлива увага приділяється демонтажу циліндрів перемикання.

4. Технологічна чистка та відновлення. Усі деталі, включно з поршнями та каналами, підлягають ретельній промивці. Критично важливо: усі внутрішні канали необхідно продути стисненим повітрям під тиском для видалення залишків продуктів зносу.

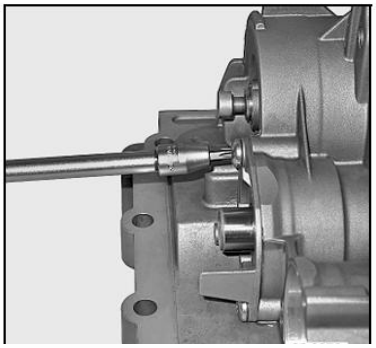
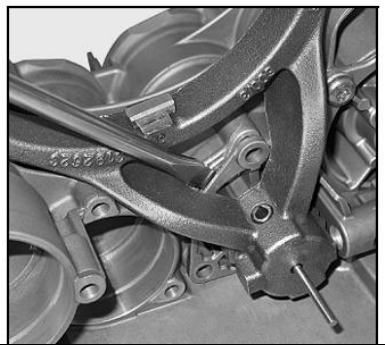
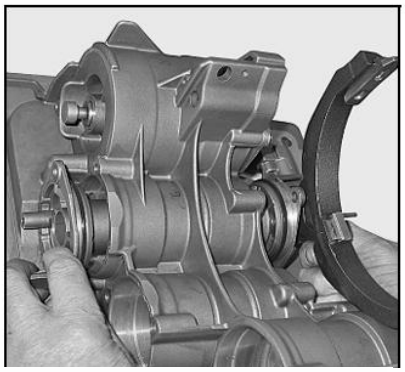
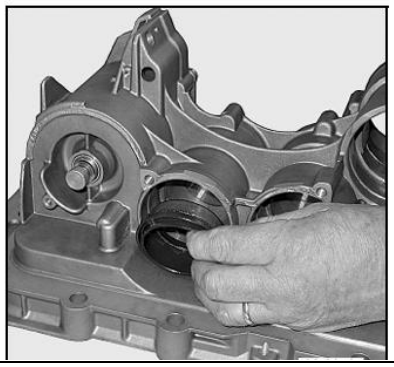
5. Верифікація та зворотне збирання: Використання нових ущільнювальних кілець є обов'язковим. Встановлення модуля на корпус КПП проводиться з дотриманням рівномірності затяжки болтів, щоб уникнути деформації корпусу актуатора, що може призвести до "закушування" поршнів.

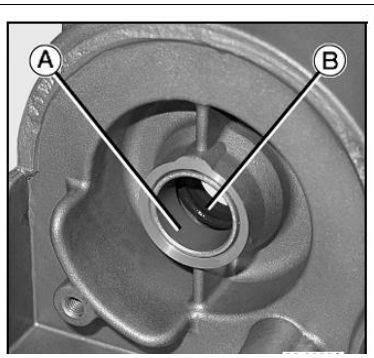
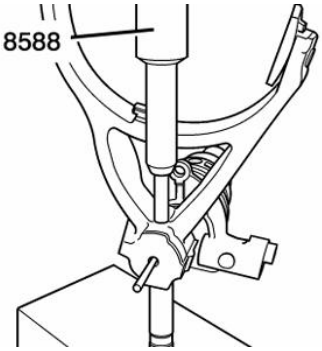
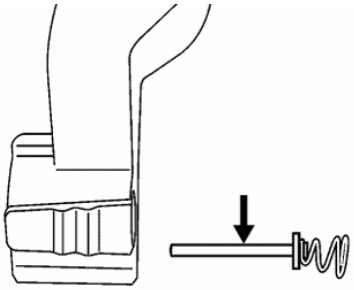
Запропонований технологічний процес виключає використання несертифікованих інструментів та «кустарних» методів ремонту (наприклад, використання невідповідних герметиків або чистка каналів механічним інструментом). Дотримання розробленого регламенту гарантує, що відновлений модуль забезпечить стабільний відгук трансмісії та виключить ризик виникнення системних помилок через негерметичність чи бруд.

2.2. Маршрутна карта розбирання та дефектування модуля керування трансмісією

Для кожного етапу ми визначили технічний зміст та вказали на візуальну схему, що є обов'язковою для контролю якості.

Таблиця 2.2 – Технологічна карта розбирання модуля (актуатора)

№ оп.	**Найменування операції**	**Технічні вказівки**	**Графічний супровід**
1	Демонтаж кришки циліндрів 2/3	Обережно відкрутити болти кріплення, використати викрутку для відшарування	 
2	Вилучення поршня циліндра 2/3	Витягнути поршень, перевірити дзеркало циліндра на наявність задирів	 

3	Демонтаж вилки циліндра	Вилучити штифт та пружину за допомогою інструменту 8588	 
4	Чистка та продувка каналів	Обов'язкова операція: продути всі пневмоканали стисненим повітрям	

Деталізований опис ключових операцій:

Операція зняття кришок. При демонтажі кришок циліндрів 2/3 важливо не пошкодити ущільнювальні площини. Використання викрутки як важеля допустиме лише у спеціально відведених місцях, щоб уникнути викривлення кришки, яке в подальшому призведе до витоку повітря.

Технологічна чистка. Після вилучення всіх компонентів, усі внутрішні порожнини модуля повинні бути ретельно очищені. Наявність навіть мікроскопічних часток металевого пилу в клапанах блоку (див. рис.1.2) викликає некоректну роботу соленоїдів.

Дефектування ущільнень. Кільце (А) та прокладка (В) підлягають безумовній заміні незалежно від їх зовнішнього вигляду. Використання старих ущільнень при збірці пневмосистеми високого тиску є грубим порушенням технологічного процесу, що веде до відмови трансмісії під навантаженням.

Під час виконання цих робіт необхідно суворо дотримуватися послідовності, вказаної у таблиці 2.1. Несанкціоноване порушення послідовності демонтажу вилки (без застосування інструменту 8588) призводить до деформації внутрішніх фіксаторів, що в подальшому унеможливлює правильну роботу датчиків зворотного зв'язку.

2.3. Алгоритм тестування електромагнітних клапанів та верифікація пневматичних контурів

Електропневматичний модуль системи Optidriver II (сімейство 17TD) поєднує в собі прецизійну механіку, пневматичні виконавчі елементи та електронні компоненти керування. Для виключення помилок під час дефектування вузлів розроблено чіткий алгоритм технічного діагностування, який базується на інструментальному контролі електричних та пневматичних параметрів системи.

Основні критерії оцінки працездатності елементів модуля зведено у загальну таблицю діагностичних параметрів.

Таблиця 2.3 – Номінальні та граничні параметри компонентів модуля керування

Об'єкт перевірки	*Контрольований параметр*	*Номінальне значення (при 20∘C)*	*Ознака несправності та її технічний характер*
Котушка соленоїда (перемикання передач)	Електричний опір обмотки (R)	11,5…15,0 Ом	R < 10 Ом (міжвиткове коротке замикання); R>100 Ом (обрив обмотки котушки)
Котушка пропорційного клапана (контур керування зчепленням)	Електричний опір обмотки ®	22,0…26,0 Ом	R < 20 Ом (внутрішнє замикання котушки); R прямує до нескінченності(деструкція обмотки, обрив кола)
Лінія зв'язку (Шина CAN–High / CAN–Low)	Напруга сигнальних ліній відносно маси (U)	2,5…3,5 В (у режимі обміну даними)	0 В (коротке замикання на масу автомобіля); 24 В (пробій лінії на бортову мережу живлення)
Пневматичний затвор клапана (сідло соленоїда)	Герметичність контуру під робочим тиском	Відсутність падіння тиску та акустичного шуму при 10…12 бар	Падіння тиску в контурі сервоприводу, постійне травлення повітря крізь дренажний отвір
Датчик положення штока (потенціометричний індикатор)	Вихідна напруга сигналу зворотного зв'язку	Пропорційна зміна напруги в межах 0,5…4,5 В	Фіксація постійного значення напруги (0 В або 5 В) при фізичному переміщенні штока

Технологічна послідовність реалізації алгоритму діагностування:

1. Етап статичного контролю. Проводиться за допомогою цифрового мультиметра без безпосереднього підключення модуля до бортової мережі автомобіля. Замір опору здійснюється на контактах колодки роз'єму модуля TECU. Фіксація параметрів за межами діапазону 11,5…15,0 Ом для дискретних клапанів однозначно вказує на термічне або механічне пошкодження ізоляції обмотки котушки соленоїда, що потребує її заміни.

2. Етап динамічної верифікації. Виконується за допомогою діагностичного комп'ютерного комплексу Renault V.I. Consult. Програмно подається серія імпульсів на примусове відкриття/закриття кожного клапана. Діагност на слух контролює наявність чіткого металевого клацання золотника. Якщо електричний опір в нормі, але клацання відсутнє або є глухим – це свідчить про механічне заклинювання золотникової пари через накопичення смолистих відкладень або металевого пилу в каналах розподільника.

3. Контроль пневматичної щільності (герметичності).

До вхідного штуцера модуля підключається тестова лінія стисненого повітря під тиском 11 бар. За допомогою нанесення спеціального індикатора витоків або акустичним методом перевіряються стики корпусних деталей, зони ущільнювальних кілець поршнів та дренажні канали клапанів. Наявність витоку вказує на деградацію еластомерних ущільнень (кілець типу "А" та прокладок "В"), які підлягають заміні у складі ремкомплекту.

Впровадження розробленого алгоритму з точним фіксуванням номінальних параметрів (опору та напруги) дозволяє повністю виключити суб'єктивізм під час оцінки технічного стану модуля Optidriver II. Чіткі межі вимірювань дають змогу механіку–діагносту диференціювати електричні несправності (обриви, замикання) від суто механічних (заклинювання, втрата герметичності), що суттєво підвищує точність ремонту та знижує витрати АТП на закупівлю безпідставно замінюваних вузлів.

2.4. Розроблення рекомендацій щодо запобігання системним відмовам та оптимізація регламенту технічного обслуговування

Як було встановлено під час аналізу причин відмов (Розділ 1), основна частка несправностей електронно–пневматичного модуля керування трансмісією Optidriver II зумовлена не конструктивними недоліками самої коробки передач, а зовнішніми факторами: якістю стисненого повітря та станом електричних з'єднань.

Для підвищення безвідмовності системи та мінімізації раптових зупинок магістральних тягачів на маршруті, пропонується внести наступні корективи до стандартного регламенту технічного обслуговування (ТО) АТП:

1. Модернізація пневматичного регламенту.

Встановити скорочений інтервал заміни патрона–осушувача пневматичної системи тягача (з рекомендованих виробником 90 тис. км до 60 тис. км), оскільки поява конденсату миттєво призводить до корозії золотників клапанів та виходу з ладу поршневих ущільнень актуатора (деталі "A" та "B").

Ввести обов'язкову процедуру перевірки тиску в контурі керування трансмісією (номінал 10…12 бар) під час кожного ТО–2.

2. Профілактика електричних контактів.

Під час осінньо–зимового періоду експлуатації проводити обов'язкову обробку багатопінового роз'єму модуля TECU спеціалізованими діелектричними та антикорозійними спреями. Це запобігатиме зміні опору в шині CAN та лініях живлення соленоїдів.

3. Превентивна програмна діагностика.

Впровадити правило: під час планового заїзду на сервіс проводити зчитування "історії перемикань" через сканер Consult. Якщо час спрацювання актуатора перевищує нормативні мілісекунди (але помилка на панель приладів ще не виводиться), це є першим індикатором забруднення

пневмоканалів. Вчасна промивка (згідно з підпунктом 2.2) дозволить уникнути дороговартісного ремонту в майбутньому.

2.5. Порівняльний аналіз базового та запропонованого технологічних процесів

Для обґрунтування доцільності впровадження розробленої технології обслуговування модуля керування трансмісією Optidriver II, проведено порівняльний аналіз із базовим (традиційним) технологічним процесом, який наразі застосовується на більшості неспеціалізованих автотранспортних підприємств.

Базовий процес орієнтований на агрегатний метод ремонту (повний демонтаж коробки передач та її механічне розбирання), тоді як запропонований процес базується на прецизійному обслуговуванні електронно–пневматичної периферії з використанням попередньої програмної діагностики.

Комплексне порівняння за ключовими виробничими критеріями наведено у Таблиці 2.4.

Проведений порівняльний аналіз доводить беззаперечну перевагу запропонованого технологічного процесу. Завдяки зміщенню фокусу з механічного ремонту на системну діагностику електропневматики, АТП отримує змогу:

1. Знизити трудомісткість ремонтних робіт у понад 4 рази.
2. Скоротити час простою комерційного транспорту (тягач повертається на лінію в межах однієї робочої зміни).
3. Перевести обслуговування системи Optidriver II з розряду "капітальних ремонтів" до розряду "поточного прецизійного сервісу".

Таблиця 2.4 – Порівняльна характеристика технологічних процесів

Критерій порівняння	*Базовий технологічний процес*	*Запропонований технологічний процес*
Метод локалізації відмови	Механічний (демонтаж агрегату та візуальна дефектовка)	Електронний (зчитування кодів Consult, активація соленоїдів)
Необхідне оснащення	Загальнослюсарний інструмент, канавні підйомники, трансмісійні стійки	Діагностичний сканер, мультиметр, спецінструмент Renault (8588)
Рівень втручання в агрегат	Високий (повне розбирання картера КПП)	Мінімальний (демонтаж виключно модуля актуатора)
Загальна трудомісткість	16,5 нормо–годин	4,0 нормо–години
Вплив на ресурс деталей	Високий ризик пошкодження суміжних механічних вузлів при розбиранні	Максимальне збереження заводського складання механічної частини КПП
Якість відновлення	Залежить від кваліфікації слюсаря	Гарантується алгоритмом калібрування (ініціалізації) блоку TECU

2.6. Розрахунок технологічного ефекту та економічної ефективності від впровадження оптимізованого процесу

Впровадження розробленого технологічного процесу прецизійного обслуговування модуля керування (замість базового агрегатного ремонту КПП) має безпосередній вплив на показники ефективності роботи автотранспортного підприємства.

Оцінка ефективності базується на розрахунку двох ключових показників: зниження трудомісткості ремонтних робіт та зменшення фінансових втрат від простою комерційного рухомого складу.

2.6.1. Розрахунок технологічного ефекту

Технологічний ефект полягає у вивільненні робочого часу персоналу та ремонтних постів. Зниження трудомісткості розраховується за формулою:

$$\Delta T = T_{баз} - T_{опт} \tag{2.1}$$

$$\Delta T = 16,5 - 4,0 = 12,5 \ люд. - год.$$

Застосування нової технології дозволяє заощадити 12,5 нормо–годин на кожному випадку обслуговування, що еквівалентно звільненню ремонтного поста на 1,5 робочі зміни.

2.6.2. Розрахунок базової економічної ефективності

Економічний ефект від впровадження процесу складається з двох складових: економії фонду оплати праці ремонтних робітників та уникнення втрат прибутку від простою комерційного транспорту.

1. Економія фонду оплати праці:

$$E_{зп} = \Delta T \cdot C_{год} \cdot \left(1 + K_{дод}\right) \tag{2.2}$$

$$E_{зп} = 12,5 \cdot 150 \cdot \left(1 + 0,35\right) \approx 2531 \ год \ \textit{(на одному ремонті)}$$

2. Економія від зниження часу простою тягача:

Магістральний тягач Renault Magnum є комерційним транспортом, який приносить прибуток лише перебуваючи на лінії. Зменшення часу ремонту на 12,5 годин означає, що автомобіль повертається в рейс на 1 добу раніше.

$$E_{пр} = \Delta Д_{пр} \cdot П_{д} \tag{2.3}$$

$$E_{пр} = 1 \cdot 4000 = 4000 \ грн$$

Загальний економічний ефект на один ремонтний випадок:

$$E_{заг} = E_{зп} + E_{пр} \tag{2.4}$$

$$E_{заг} = 2531 + 4000 = 6531 \ грн.$$

Проведені розрахунки доводять, що розроблений технологічний процес не лише підвищує якість ремонту завдяки збереженню прецизійності агрегату, але й є економічно доцільним. Економія понад 6500 грн на кожному зверненні з несправністю системи Optidriver II дозволяє АТП оптимізувати експлуатаційні витрати та підвищити коефіцієнт технічної готовності автопарку.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1. Обґрунтування доцільності розроблення стенда для діагностики модуля керування

Аналіз технологічного процесу, наведеного у попередньому розділі, виявив критичний недолік у традиційній схемі обслуговування системи Optidriver II. Після виконання прецизійного ремонту актуатора (заміни ущільнень, очищення каналів) перевірка його працездатності та герметичності зазвичай здійснюється безпосередньо на автомобілі, після повного монтажу вузла на картер коробки передач.

У разі виявлення внутрішнього витоку повітря або відмови соленоїда (через прихований дефект) виникає необхідність повторного демонтажу. Це призводить до втрати щонайменше 2,0 нормо–годин робочого часу та підвищує ризик пошкодження кріпильних елементів.

Для усунення цієї проблеми в рамках даної кваліфікаційної роботи пропонується розробити спеціалізований контрольно–діагностичний стенд.

Основним призначення стенда є імітація робочих умов трансмісії для проведення статичних та динамічних випробувань електронно–пневматичного модуля у відриві від автомобіля (на робочому столі агрегатної дільниці).

Стенд повинен забезпечувати виконання таких операцій:

1. Пневматична верифікація: подача стисненого повітря під робочим тиском трансмісії (10–12 бар) для перевірки герметичності клапанного блоку та відсутності внутрішніх перетікань між контурами.

2. Електрична верифікація: імітація напруги бортової мережі (24 В) для перевірки цілісності обмоток електромагнітних клапанів.

3. Динамічне тестування: примусова активація поршневої групи вибору передач та діапазонів із візуальним контролем виходу штоків.

Вимоги до проектованої конструкції:

- стенд має бути настільного типу (компактним) і підключатися до стандартної цехової пневмомагістралі.
- конструкція повинна мати перехідну плиту, що геометрично повторює посадкову площину картера КПП Renault Magnum для забезпечення герметичного прилягання модуля під час тестування.
- наявність вбудованого манометра та регулятора тиску (редуктора) для контролю параметрів пневматичного живлення.

Впровадження такого стенда дозволить реалізувати принцип «нульового дефекту» на етапі складання, що є обов'язковою вимогою сучасних стандартів технічного сервісу комерційного транспорту.

3.2. Аналіз існуючих конструкцій діагностичного обладнання

Для формування технічного завдання на розроблення контрольно–діагностичного стенда було проведено патентно–інформаційний пошук та аналіз існуючих на ринку сервісного обладнання рішень. Аналіз показав, що обладнання для тестування систем комерційного транспорту поділяється на три основні категорії, кожна з яких має суттєві недоліки для умов середнього автотранспортного підприємства.

Універсальні пневматичні діагностичні валізи (типу WABCO Test Case / Knorr–Bremse)

Являють собою набір манометрів, редукторів та швидкороз'ємних фітингів. Призначені для перевірки тиску та витоків у гальмівних модуляторах.

Недоліки – це виключно механіко–пневматичне обладнання. Воно не здатне генерувати електричні керівні імпульси широтно–імпульсної модуляції (ШІМ) та не має інтерфейсу для зв'язку з CAN–шиною. Відповідно, перевірити динаміку спрацювання електромагнітних клапанів модуля Optidriver II за допомогою цього обладнання неможливо.

Електронні симулятори сигналів (CAN–емулятори)

Компактні мікропроцесорні блоки, що підключаються до колодки ECU (TECU) і програмно імітують сигнали від систем автомобіля (швидкість, положення зчеплення).

Недоліки – це електронні симулятори перевіряють лише логіку процесора. Вони не мають можливості підключення до пневматичної магістралі. Якщо котушка соленоїда електрично справна, але її золотник фізично заклинив від бруду або зносилися ущільнення поршня (кільця «А» та «В»), симулятор покаже, що вузол «справний», що призведе до встановлення бракованого модуля на тягач.

Спеціалізовані дилерські стендові комплекси (заводські рішення Renault Trucks)

Великогабаритні стаціонарні комплекси, що забезпечують 100% перевірку всіх параметрів трансмісії відповідно до заводських стандартів.

Недоліки – це надзвичайно висока вартість (понад 15–20 тис. євро) та орієнтація виключно на авторизовані дилерські центри. Для незалежних АТП закупівля такого обладнання є економічно недоцільною через надто довгий термін окупності.

Для наочності, результати порівняльного аналізу зведено у таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика аналогів діагностичного обладнання

Критерій оцінки	***Універсальні пневмо–тестери***	***Електронні CAN–емулятори***	***Дилерський комплекс***	***Проектований стенд***
Функція пневматичної перевірки (10–12 бар)	Так	Ні	Так	Так

Закінчення таблиця 3.1

Функція керування соленоїдами (24 В)	Ні	Так	Так	Так
Наявність перехідної матриці під модуль 17TD	Ні	Ні	Так	Так
Мобільність / Тип виконання	Переносний	Компактний	Стаціонарний (великогабаритний)	Настільний (комбінований)
Економічна доступність для АТП	Висока	Висока	Низька	Висока

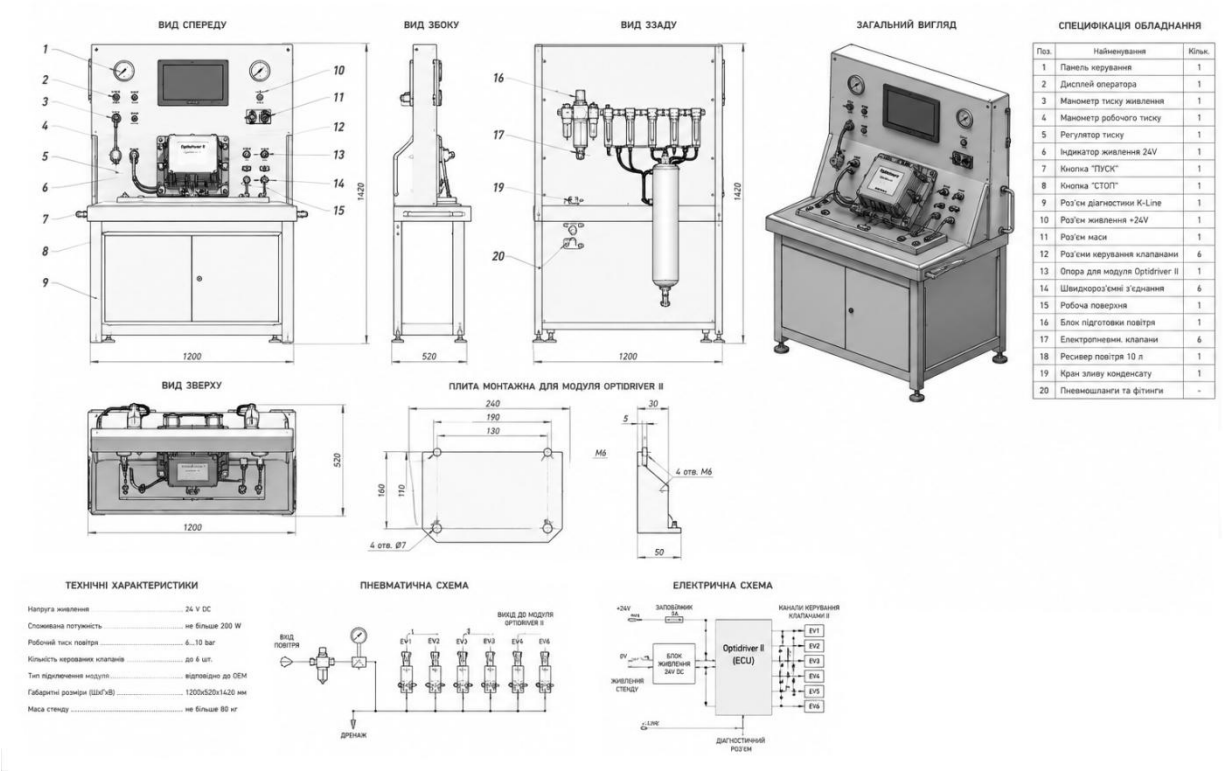
Критичний аналіз аналогів доводить, що на ринку відсутнє доступне комплексне рішення. Тому найраціональнішим інженерним кроком є розроблення власного комбінованого електропневматичного настільного стенда.

Він повинен поєднати в собі переваги пневматичного тестера (власний блок підготовки повітря та ресивер) та електронного симулятора (блок живлення 24 В та вихід на діагностичний роз'єм K–Line). Ключовою інновацією нашої розробки, що відрізнятиме її від універсальних приладів, стане виготовлення спеціальної монтажної плити, яка геометрично повторюватиме посадкове місце картера коробки передач 17TD.

3.3. Будова, технічні характеристики та принцип дії розробленого контрольно–діагностичного стенда

Для реалізації завдань із прецизійного тестування електропневматичного модуля (актуатора) системи Optidriver II було спроєктовано спеціалізований комбінований настільний стенд. Його

компонувальна схема, габаритні розміри та специфікація обладнання наведені на рисунку 3.1.



Поз.	Найменування	Кільк.
1	Панель керування	1
2	Дисплей оператора	1
3	Манометр тиску живлення	1
4	Манометр робочого тиску	1
5	Регулятор тиску	1
6	Індикатор живлення 24V	1
7	Кнопка "ПУСК"	1
8	Кнопка "СТОП"	1
9	Роз'єм діагностики K-Line	1
10	Роз'єм живлення +24V	1
11	Роз'єм маси	1
12	Роз'єми керування клапанами	6
13	Опора для модуля Optidriver II	1
14	Швидкороз'ємні з'єднання	6
15	Робоча поверхня	1
16	Блок підготовки повітря	1
17	Електропневмк. клапани	6
18	Ресивер повітря 10 л	1
19	Кран зливу конденсату	1
20	Пневмошланги та фітинги	-

Рисунок 3.1 – Загальний вигляд, компонувальна та принципові схеми електропневматичного діагностичного стенда

3.3.1 Технічні характеристики розробленої конструкції

Згідно з розробленою специфікацією, стенд має наступні експлуатаційні параметри, які повністю адаптовані під вимоги бортової мережі автомобілів Renault Magnum:

- напруга живлення: 24 В (DC) – імітація бортової мережі тягача.
- споживана потужність: не більше 200 Вт.
- робочий тиск повітря: регульований, у діапазоні 6...10 бар.
- кількість керованих каналів (клапанів): до 6 одиниць (EV1–EV6), що відповідає кількості виконавчих контурів (перемикання, Range, Splitter).
- габаритні розміри (ШхГхВ): 1200 х 520 х 1420 мм, що дозволяє ергономічно розмістити його на робочому місці діагноста.
- маса стенда: не більше 80 кг.

3.3.2. Конструктивні особливості та будова стенда

Стенд являє собою зварну просторову раму з масивною робочою поверхнею, на якій інтегровано три основні підсистеми: механічну, пневматичну та електронну.

Механічна підсистема (Модуль сполучення): Ключовим інженерним рішенням є спеціальна монтажна плита (поз. 13 на специфікації), виготовлена з високоміцної сталі. Як видно з креслення (розділ "Плита монтажна"), її габарити (240x160x50 мм) та координати чотирьох кріпильних отворів (М6) з прецизійною точністю повторюють геометрію посадкового місця на картері коробки передач 17TD. Це дозволяє жорстко та герметично зафіксувати відремонтований блок керування без ризику деформації його алюмінієвого корпусу.

Пневматична підсистема (Імітація контуру тягача): Відповідно до пневматичної схеми стенда, стиснене повітря із загальноцехової магістралі проходить через блок підготовки повітря (поз. 16), який очищує його від конденсату та стабілізує тиск. Далі повітря накопичується у вертикальному ресивері об'ємом 10 літрів (поз. 18), оснащеному краном зливу конденсату (поз. 19). Наявність власного ресивера є критично важливою: вона гасить пневматичні удари (пульсації) і гарантує стабільний об'єм повітря в момент одночасного спрацювання кількох клапанів. Розподіл повітря до модуля здійснюється через гребінку з шести електропневматичних клапанів (поз. 17) за допомогою швидкороз'ємних з'єднань (поз. 14).

Електронно–діагностична підсистема: На верхній лицьовій панелі (поз. 1) розміщено органи контролю: дисплей оператора (поз. 2), кнопки силового керування "Пуск/Стоп" (поз. 7, 8), індикацію напруги та високоточні аналогові манометри тиску живлення і робочого тиску (поз. 3, 4). Згідно з електричною схемою, живлення стенда забезпечується перетворювачем (блоком живлення 24V DC) із захисним запобіжником (5А). Найважливішим елементом є виведення роз'єму діагностики K–Line (поз. 9). Це дозволяє

напряму підключити до ECU модуля дилерський сканер (Renault V.I. Consult) і читати дані з CAN–шини в режимі реального часу, перебуваючи за столом, а не під автомобілем.

3.3.3. Принцип дії (Алгоритм випробувань)

Процес верифікації модуля на стенді відбувається за алгоритмом.

Зібраний після ремонту (за технологією з Розділу 2) блок керування фіксується на монтажній плиті.

До ECU (блоку управління) підключається кабель живлення 24V та шлейф K–Line. Пневматичні входи актуатора з'єднуються зі штуцерами стенда (через канали EV1–EV6).

За допомогою регулятора (поз. 5) оператор задає робочий тиск (наприклад, 9,5 бар).

Через діагностичне програмне забезпечення ініціюється процедура "Actuator Test". Блок управління стендом подає електричні імпульси на відповідні клапани.

Відбувається комплексна перевірка:

- пневматична щільність: контроль відсутності падіння тиску на манометрі (виявлення внутрішніх витоків повітря).
- електромеханічна реакція: контроль швидкості та плавності переміщення вилок перемикання (зворотний зв'язок зчитується через дисплей оператора з потенціометричних датчиків модуля).

Розроблена конструкція стенда забезпечує повну, 100% симуляцію робочого середовища коробки передач. Наявність інтегрованої CAN–діагностики та стабілізованої пневмолінії дозволяє виявляти будь–які дефекти збірки чи негерметичності ще до монтажу вузла на важкий комерційний автомобіль.

3.4. Конструкторські розрахунки параметрів діагностичного стенда

3.4.1. Розрахунок необхідного об'єму пневматичного ресивера

Головним завданням пневматичної підсистеми розробленого стенда є забезпечення стабільного робочого тиску під час пікових навантажень (наприклад, під час процедури «Actuator Test», коли дилерський сканер почергово та швидко активує всі 6 електромагнітних клапанів модуля). Відсутність достатнього запасу стисненого повітря призведе до просадки тиску в магістралі та помилкової фіксації несправності блоком керування (TECU).

Вихідні дані для розрахунку:

Максимальний робочий тиск у системі: $P_{\max} = 10\ бар$;

Мінімально допустимий робочий тиск (при якому клапани ще здатні подолати опір пружин): $P_{\min} = 8\ бар$;

Атмосферний тиск: $P_{атм} = 1\ бар$;

Діаметр пневмоциліндра актуатора 17TD (середнє значення): $d = 40\ мм\ (0,04\ м)$;

Робочий хід штока поршня: $L = 30\ мм\ (0,03\ м)$;

Кількість циклів спрацювання під час одного тесту калібрування: $n = 20\ разів$;

Коефіцієнт запасу (враховує можливі мікровитоки та стабільність потоку): $k = 2,5$.

Визначення робочого об'єму одного пневмоциліндра актуатора.

Спочатку розрахуємо площу поперечного перерізу поршня за формулою:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \tag{3.1}$$

$$S = \frac{3,14 \cdot 0,04^2}{4} = 0,001256\ м^2$$

Фізичний об'єм повітря, який заповнює циліндр за один хід штока:

$$V_c = S \cdot L \tag{3.2}$$

$$V_c = 0001256 \cdot 0,03 = 0,00003768 \ м^3 \approx 0,0377 \ л$$

Витрата стисненого повітря на один цикл тестування.

Під час програмного тестування (ініціалізації) відбувається серія швидких перемикань. Об'єм спожитого вільного (приведеного до атмосферного) повітря розраховується з урахуванням ступеня стиснення:

$$V_{цикл} = n \cdot V_c \cdot \frac{P_{\max}}{P_{атм}} \tag{3.3}$$

$$V_{цикл} = 20 \cdot 0,0377 \cdot \frac{10}{1} = 7,54 \ л.$$

Отже, для виконання одного повного циклу діагностики модуль Optidriver II споживає 7,54 л вільного повітря.

Розрахунок мінімально необхідного об'єму ресивера стенда.

Ресивер повинен забезпечити віддачу необхідного об'єму повітря таким чином, щоб падіння тиску в системі не перевищило допустиму дельту $\Delta P = P_{\max} - P_{\min}$).

Формула для розрахунку об'єму ємності має вигляд:

$$V_{рсв} = \frac{V_{цикл} \cdot P_{атм}}{P_{\max} - P_{\min}} \cdot k \tag{3.4}$$

Підставляємо отримані значення:

$$V_{рсв} = \frac{7,54 \cdot 1}{10 - 8} \cdot 2,5 = 9,42 \ л$$

Розрахунковий мінімальний об'єм ємності для згладжування пневматичних пульсацій становить 9,42 л. З огляду на існуючий стандартний ряд пневматичного обладнання, до встановлення на стенд приймаємо ресивер об'ємом 10 л.

Це повністю технічно обґрунтовує специфікацію нашого обладнання (позиція 18 на складальному кресленні, рис. 3.1) і доводить, що обрана ємність гарантовано забезпечить стабільність робочого тиску (не нижче 8 бар) під час проведення найінтенсивніших етапів динамічного тестування електромагнітних клапанів.

РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Сучасний розвиток автомобільного транспорту, зокрема великовагових комерційних автомобілів Renault Magnum Trucks, характеризується широким впровадженням складних мікропроцесорних систем. Технічне обслуговування, глибока комп'ютерна діагностика та компонентний ремонт блоку керування трансмісією сімейства 17TD є високотехнологічним процесом. Оскільки цей процес поєднує в собі як роботу безпосередньо на автомобілі, так і лабораторний ремонт електронних плат, він вимагає комплексного підходу до безпеки. Згідно із Законом України «Про охорону праці», створення безпечних умов на робочому місці є пріоритетним завданням. Метою даного розділу є комплексна ідентифікація шкідливих і небезпечних виробничих факторів при роботі з електронними блоками керування комерційного транспорту та розробка інженерно–технічних заходів для забезпечення безпеки праці, збереження здоров'я працівника та захисту дороговартісного діагностичного обладнання.

4.1. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих чинників на дільниці діагностики та ремонту електронних блоків керування

Робоче місце фахівця з діагностики систем керування (діагноста–електронщика) поділяється на дві основні зони: пост активної діагностики (де знаходиться автомобіль) та антистатичний лабораторний стіл для ремонту плат. Відповідно до гігієнічної класифікації праці та санітарних норм України, на працівника впливає специфічний комплекс чинників.

Фізичні небезпечні та шкідливі чинники

Небезпека ураження електричним струмом. Під час роботи з бортовою мережею автомобіля (24 В), а також під час використання осцилографів, паяльних станцій, лабораторних блоків живлення та діагностичних сканерів,

підключених до промислової мережі 220 В, існує ризик електротравматизму через можливе пошкодження ізоляції або відсутність захисного заземлення.

Вплив статичної електрики (ESD). Накопичення статичного заряду на одязі чи тілі працівника є не стільки загрозою для життя людини (хоча й викликає рефлекторні рухи, що можуть призвести до механічних травм), скільки критичною небезпекою для мікропроцесорів та мікросхем пам'яті (EEPROM, Flash) блоку керування 17TD. Електростатичний розряд (ESD) здатний миттєво пробити p–n переходи напівпровідників.

Електромагнітне випромінювання. Використання бездротових діагностичних інтерфейсів (Bluetooth/Wi–Fi), мобільних терміналів та робота поблизу працюючого двигуна з потужними генераторами створює електромагнітне поле, тривалий вплив якого викликає підвищену втомлюваність.

Недостатнє освітлення та зорове напруження. Робота з SMD–компонентами (дрібними деталями поверхневого монтажу) на друкованих платах, читання складних електросхем та безперервне спостереження за графіками на екранах моніторів вимагає найвищої концентрації зору.

Хімічні шкідливі чинники

Виділення шкідливих аерозолів під час паяння. У разі компонентного ремонту плати блоку 17TD використовуються свинцево–олов'яні припої та активні флюси. Їх нагрівання супроводжується виділенням у повітря робочої зони токсичних аерозолів свинцю та оксиду вуглецю.

Небезпека від акумуляторних батарей (АКБ). Діагностика часто вимагає перевірки напруги безпосередньо на клемах АКБ. У процесі їх заряджання виділяється водень (що створює вибухонебезпечну суміш), а також існує ризик хімічних опіків розчином сірчаної кислоти (електролітом).

Відпрацьовані гази. Процес активної діагностики трансмісії та зчитування «Live Data» (живих параметрів) часто вимагає роботи двигуна

вантажівки. Без ефективної вентиляції концентрація чадного газу (CO) стрімко зростає.

Психофізіологічні чинники

Нервово–емоційне перенапруження. Висока вартість електронних блоків Renault Magnum та складність алгоритмів пошуку несправностей створюють значне інтелектуальне навантаження.

Статична робоча поза. Тривале сидіння за мікроскопом або монітором призводить до остеохондрозу шийного відділу хребта.

Таблиця 4.1 – Матриця виробничих чинників при діагностиці блоків 17TD

Фактор небезпеки	***Джерело виникнення на дільниці***	***Можливий наслідок***	***Нормативний документ***
Електричний струм	Блоки живлення, діагностичні стенди (220 В)	Електротравма, термічні опіки	НПАОП 40.1–1.21–98 (ПБЕЕ)
Статична електрика	Синтетичний одяг, відсутність заземлення столу	Знищення плати 17TD, нервовий шок	ДСТУ EN 61340–5–1:2014
Токсичні аерозолі	Нагрівання флюсу та припою паяльником	Інтоксикація свинцем, астма	ДСН 3.3.6.042–99
Хімічні речовини	Електроліт АКБ, очисники контактів	Хімічні опіки шкіри та очей	ДСТУ 2293:2014
Зорове напруження	Екрани комп'ютерів, дрібні SMD компоненти	Зниження гостроти зору	ДБН В.2.5–28:2018

4.2. Комплексні інженерно–технічні заходи з охорони праці та виробничої санітарії

Для створення безпечних та ергономічних умов праці інженера–діагноста розроблено низку сучасних інженерних та організаційних рішень, що відповідають європейським стандартам безпеки.

Заходи електробезпеки

Захист від ураження електричним струмом є критично важливим.

Усі металеві корпуси діагностичних стендів, осцилографів та комп'ютерів повинні бути підключені до системи захисного заземлення (система TN–S або TN–C–S). Опір заземлювального контуру не повинен перевищувати 4 Ом.

Електричні кола, що живлять лабораторний стіл діагноста, повинні бути обов'язково оснащені пристроями захисного відключення (ПЗВ) зі струмом спрацьовування не більше 30 мА. Це гарантує миттєве відключення живлення у разі дотику працівника до струмоведучих частин.

Підключення діагностичних сканерів до роз'єму OBD–II автомобіля дозволяється виконувати виключно при вимкненому запалюванні.

Захист електронних компонентів від статичної електрики (ESD–захист).

Блок керування 17TD містить високочутливі CMOS–компоненти. Відповідно до стандарту ДСТУ EN 61340–5–1:2014:

Робоче місце для розбирання та ремонту блоку (ESD–зона) повинно мати спеціальне антистатичне настільне покриття, підключене до шини заземлення через резистор 1 МОм.

Працівник зобов'язаний одягати індивідуальний антистатичний браслет на зап'ястя, який також підключається до вузла заземлення. Це забезпечує постійне та безпечне стікання статичного заряду з тіла людини.

Одяг працівника (халат) та взуття повинні бути виготовлені зі спеціальних антистатичних матеріалів (з вплетеними струмопровідними нитками). Забороняється використання вовняних та синтетичних светрів на робочому місці.

Вимоги до освітлення, вентиляції та мікроклімату

Освітлення. Приміщення лабораторії повинно мати комбіноване освітлення. Загальне освітлення (світлодіодні панелі) має забезпечувати не менше 300 лк. Робочий стіл електронщика, де виконується мікропайка, обладнується безтіньовою лампою з лупою, що забезпечує локальну освітленість на рівні 1000–1500 лк згідно з ДБН В.2.5–28:2018.

Вентиляція. Робоче місце для паяльних робіт обов'язково обладнується системою місцевої витяжної вентиляції (гнучкий витяжний рукав або настільний димовловлювач), що ефективно видаляє токсичні дими безпосередньо від жала паяльника. Пост діагностики вантажівок оснащується потужним шланговим відсмоктувачем вихлопних газів, що надягається на вихлопну трубу Renault Magnum.

Ергономіка. Відповідно до Вимог безпеки під час роботи з екранними пристроями, монітор повинен розташовуватися на відстані 60–70 см від очей. Після кожної години інтенсивної роботи з комп'ютером діагност повинен робити 10–хвилинну перерву для виконання спеціальної гімнастики для очей (профілактика спазму акомодації).

Заходи безпеки при роботі з хімічними речовинами.

Для очищення контактів електронного блоку 17TD від окислів використовуються спеціальні аерозольні спреї (Contact Cleaner). Роботу з ними слід проводити в захисних окулярах та нітрилових рукавичках у добре провітрюваному приміщенні, подалі від джерел відкритого вогню та іскріння.

4.3. Пожежна безпека при експлуатації електротехнічного обладнання та дії у разі надзвичайних ситуацій

Дільниця діагностики та ремонту автомобільної електроніки належить до приміщень категорії «В» за пожежною небезпекою. Основною причиною пожеж тут може стати коротке замикання в бортовій мережі автомобіля, перевантаження електропроводки стендів або залишення без нагляду увімкнених паяльних станцій.

Протипожежна профілактика (згідно з НАПБ А.01.001–2014)

Суворо забороняється залишати увімкнені вимірювальні прилади, паяльники та зарядні пристрої без нагляду.

Використання саморобних подовжувачів (переносок) та нестандартних («жучків») запобіжників у ланцюгах живлення діагностичних приладів категорично заборонено.

Кабелі сканерів та мотортестерів під час роботи в зоні автомобіля повинні бути прокладені таким чином, щоб унеможливити їх перетискання дверима кабіни вантажівки, наїзд коліс або торкання до гарячих частин двигуна (випускного колектора).

Специфіка оснащення засобами пожежогасіння

Для дільниці ремонту електронних блоків керування вибір типу вогнегасника має вирішальне значення:

Використання порошкових вогнегасників (ВП) для гасіння мікропроцесорної техніки категорично не рекомендується. Вогнегасний порошок при високій температурі плавиться, утворюючи на електронних платах і мікросхемах тверду незмивну кірку. Це призводить до безповоротної втрати дороговартісного блоку керування 17TD та діагностичних сканерів навіть у разі незначного займання.

Єдино правильним рішенням є оснащення лабораторії вуглекислотними вогнегасниками (ВВ–5, ВВ–7). Двоокис вуглецю витісняє кисень із зони горіння та різко охолоджує її (до –70 °С), при цьому газ повністю випаровується, не залишаючи жодних слідів на ніжних електронних компонентах. Вони дозволені для гасіння установок під напругою до 1000 В.

Дії діагноста у разі виникнення пожежі або аварії

При виявленні ознак горіння (запах плавленої ізоляції, іскріння в районі блоку керування або системного блоку ПК): працівник повинен негайно знеструмити лабораторний стенд (вимкнути загальний автомат) та від'єднати мінусову клему від акумуляторної батареї автомобіля, якщо роботи проводились на посту.

Оповіщення: Негайно зателефонувати до пожежно–рятувальної служби («101») та повідомити керівника дільниці.

Гасіння: Використати вуглекислотний вогнегасник, направляючи струмінь газу в основу полум'я. Під час гасіння забороняється братися незахищеною рукою за розтруб вогнегасника, оскільки можливе сильне обмороження шкіри.

Надання домедичної допомоги: У разі ураження працівника електричним струмом необхідно негайно звільнити потерпілого від дії струму (вимкнути рубильник, відкинути провід сухою струмонепровідною палицею). Викликати екстрену медичну допомогу. Якщо потерпілий не дихає – негайно розпочати серцево–легеневу реанімацію (непрямий масаж серця та штучне дихання) до прибуття медиків. У разі потрапляння електроліту АКБ на шкіру – рясно промити уражену ділянку проточною водою та обробити 2% розчином харчової соди для нейтралізації кислоти.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було вирішено актуальне інженерно–технологічне завдання щодо підвищення ефективності діагностування, обслуговування та ремонту електронно–пневматичного модуля керування трансмісією Optidriver II (сімейство 17TD) автомобілів Renault Magnum.

Аналіз конструкції та умов експлуатації показав, що переважна більшість несправностей (зависання передач, системні помилки) зумовлена не зносом механічної частини картера, а деградацією еластомерних ущільнень пневмоциліндрів та забрудненням каналів клапанного блоку продуктами зносу і вологою.

Створено покрокову маршрутну карту прецизійного демонтажу, дефектування та очищення актуатора. На відміну від традиційного агрегатного методу, запропонована технологія базується на локальному обслуговуванні (заміні ущільнень та продувці магістралей) без безпідставного демонтажу всієї коробки передач.

Визначено та систематизовано номінальні параметри компонентів модуля. Встановлення жорстких допусків (наприклад, електричний опір котушок у межах 11,5...15,0 Ом) дозволяє діагносту безпомилково диференціювати електричні обриви обмоток від механічного заклинювання золотників.

Для реалізації принципу «нульового дефекту» на етапі складання розроблено конструкцію комбінованого настільного стенда. Завдяки унікальній перехідній матриці, власному пневморесиверу на 10 л та інтеграції роз'єму K–Line, стенд забезпечує 100% імітацію робочих умов і дозволяє перевірити герметичність та відгук клапанів ще до встановлення модуля на тягач.

Розрахунки підтвердили, що впровадження запропонованої технології прецизійного ремонту та стендових випробувань дозволяє знизити загальну трудомісткість робіт у понад 4 рази (з 16,5 до 4,0 нормо–годин). За рахунок економії робочого часу та різкого зменшення простою комерційного транспорту, економічний ефект для автотранспортного підприємства складає понад 6500 грн на кожному ремонтному випадку.

Запропоновані в роботі технологічні процеси та конструкторські рішення є математично та технічно обґрунтованими. Їх впровадження дозволить перевести обслуговування трансмісій Optidriver II на якісно новий, сучасний рівень надійності, що відповідає стандартам сервісу комерційного автотранспорту.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра за освітнім рівнем «бакалавр» галузі знань 27 «Транспорт», спеціальність 274 «Автомобільний транспорт» / О.Л. Ляшук, Ю.І. Пиндус, М.Г. Левкович, А.Б. Гупка, Р.В. Хорошун. – Тернопіль : Видавництво ТНТУ, 2022. – 61 с.

2. Renault Magnum Trucks. Том 3: Електрообладнання, електронні системи керування двигуном та трансмісією. Керівництво з діагностики та ремонту: СпецІнфо, 2014. 384 с.

3. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Гудь В.З., Левкович М.Г., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. – Тернопіль : Вид–во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 544 с.

4. Техніко–економічне обґрунтування інженерних рішень на СТО та АТП : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Ляшук О.Л., Луциків І.В., Плекан У.М., Клендій В.М. – Тернопіль : Вид–во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 276 с.

5. Конспект лекцій з дисципліни «Технічна експлуатація автомобілів» для студентів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» / О.Л. Ляшук, В.М. Клендій, Р.В. Хорошун. – Тернопіль: Вид. ТНТУ – 2018. –302 с.

6. Конспект лекцій з дисципліни «Відновлення деталей» для здобувачів освітнього рівня бакалавр за спеціальністю 274 «автомобільний транспорт» / Левкович М.Г., Гупка А.Б., Сіправська М.Д. –Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. – Тернопіль.: ТНТУ, 2021. – 136 с.

7. Конспект лекцій з дисципліни «Аналіз конструкцій, робочі процеси та основи розрахунку автомобілів» для здобувачів освітнього рівня бакалавр за спеціальністю 274 «автомобільний транспорт» / Левкович М.Г., Кищун В.А., Гандзюк М.О. –Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. – Тернопіль.: ТНТУ, 2021. – 242 с.

8. Будова і експлуатація автомобілів: Підручник. / Кисляков В.Ф., Лущик В.В. – К.: Либідь. 2006. – 400 с.

9. Конспект лекцій (частина І) з дисципліни «Транспортні засоби» для студентів усіх форм навчання першого рівня освіти за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт», 275 «Транспортні технології» галузі знань 27 «Транспорт» / О.Л. Ляшук, Т.Д.Навроцька., Р.Р. Заверуха., Л.М. Слободян., Р.В. Хорошун. – Тернопіль, ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 132 с.

10. Конспект лекцій (частина ІІ) з дисципліни «Транспортні засоби» для студентів усіх форм навчання першого рівня освіти за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт», галузі знань 27 «Транспорт» / О.Л. Ляшук, Т.Д. Навроцька., Л.М. Слободян., Р.В. Хорошун. – Тернопіль, ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 184 с.

11. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В.М., Туряб Л.В., Лико Х.В. Практикум з охорони праці. Навчальний посібник / За ред.. В.Ц. Жидецького. – Львів: Афіша, 2000. – 352 с.

12. Охорона праці на автомобільному транспорті : навчальний посібник / Пістун І.П., Хом'як Й.В., Хом'як В.В. 2–ге вид., стер. – Суми.: Універсальна книга. – 2015. – 376 с.

13. Навчально-методичний посібник до практичних заняття з дисципліни «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» для студентів освітнього ступеня „бакалавр" усіх спеціальностей та форм навчання / Укладачі : О. Я. Гурик, І. Б. Окіпний, В. С. Сенчишин, С. Ю. Мариненко, О. І. Король. Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2025. – 123 с.

14. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів: навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль: ТДТУ, 2009. – 108 с.

ДОДАТКИ

$T_{баз}$ – трудомісткість за базовим процесом (повне розбирання), 16,5 люд.–год;

$T_{опт}$ – трудомісткість за розробленим процесом (локальне обслуговування модуля), 4,0 люд.–год.

$C_{год}$ – середня годинна тарифна ставка слюсаря–діагноста (умовно приймаємо 150 грн/год для розрахунку);

$K_{дод}$ – коефіцієнт додаткової заробітної плати та нарахувань (умовно 0,35).

$\Delta Д_{пр}$ – скорочення простою в днях (1 доба);

$П_{д}$ – середньодобовий чистий прибуток від роботи тягача (умовно приймаємо 4000 грн/добу).