

## ТЕХНІЧНІ НАУКИ

УДК 662.99

DOI: 10.31521/2313-092X/2019-2(102)-14

### ДОСЛІДЖЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ КОНТРОЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМУ ТРАНСМІСІЇ МОБІЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ В УМОВАХ УКРАЇНИ

**В. І. Гавриш**, доктор економічних наук, професор

ORCID ID: 0000-0001-7055-1674

**В. А. Грубань**, кандидат технічних наук

ORCID ID: 0000-0001-9471-8372

Миколаївський національний аграрний університет

**А. В. Калініченко**, доктор сільськогосподарських наук, професор

ORCID ID: 0000-0001-7342-3803

Опольський університет, Польща

*Показано, що вихід на оптимальний тепловий режим коробки передач трактора з гідропіджимними муфтами відбувається протягом тривалого часу, внаслідок чого зменшується її коефіцієнт корисної дії, що призводить до підвищення витрати палива. Отримано залежність коефіцієнта корисної дії коробки передач, як функції температури повітря та часу її роботи. Доведено, що ефективним способом контролю температури є використання системи утилізації тепла відпрацьованих газів дизеля. Показано, що для тракторів тягового класу 3 використання запропонованої системи дозволить зменшити витрату палива не менш ніж 155 грн за зміну.*

**Ключові слова:** трактор, коробка передач, масло, утилізація, економія.

**Обґрунтування завдання.** При зберіганні сільськогосподарських тракторів їх температура знижується до температури навколишнього середовища (НС). Низька температура повітря значно ускладнює експлуатацію тракторів внаслідок зміни фізичних властивостей масел, палива, охолоджувальної рідини, електроліту, погіршення роботи силової передачі і ходової системи. В умовах низьких температур це ускладнює підготовку трансмісії техніки до експлуатації.

Зниження температури НС призводить до зростання втрат потужності в агрегатах трансмісії тракторів, обладнаних коробками передач (КП) з гідропіджимними муфтами. Це пояснюється тим, що ці втрати значною мірою залежать від в'язкості масла. Дослідженнями виявлено, що за умов низьких температур втрачається до 50% потужності двигуна та в 1,5-2 рази збільшується знос деталей порівняно з експлуатацією в літніх умовах [1-3]. Крім того, за позитивних температур повітря потребує час для прогріву масла КП до робочого рівня. А це призводить до того, що ККД трансмісії менше розрахованого рівня [9]. Це призводить до збільшення витрати палива.

**Аналіз останніх досліджень.** Для зменшення негативного впливу низьких температур на економічні показники двигуна застосовують різні інженерні рішення. Так, можливим є використанням об'єднаної системи мащення двигуна і КП. Таке рішення забезпечує прогрів КП за рахунок гарячого моторного масла. За існуючими дослідженнями, при 50% навантаженні двигуна і температурі НС плюс 30°C в ККД КП збільшився з 57 до 74%. Для забезпечення підігріву робочої рідини КП також використовують його дроселювання [1].

Найпростішим та достатньо ефективним способом зниження втрат потужності в агрегатах трансмісії є застосування масел з пологою в'язкісно-температурною характеристикою (ВТХ) [4]. Так, наприклад, заміна масла марки ТЕП-15 на ТСП-15к дозволяє зменшити момент опору прокручування трансмісії автомобіля за температури масла 9°C в 3-4 рази, бо заміна масла ДСП-8 в трансмісії трактора на ТСП-10 призводить до підвищення її ККД на 2-3%. Однак, застосування масел з пологої ВТХ дозволяє лише частково вирішити дану проблему. Більший ефект дає застосування цих

масел разом з іншими способами зменшення втрат потужності в трансмісії.

Однак вищевказані методи вимагають додаткових витрат енергії або використання коштовних робочих рідин. Тому перспективним напрямком є використання теплоти відпрацьованих газів (ВГ) двигунів для забезпечення оптимального теплового режиму агрегатів трансмісії. Роботи з розробки систем утилізації теплової енергії проводяться науковцями різних країн світу [10-15].

**Виявлення не вирішених проблем.** Існуючі дослідження стосуються використання систем утилізації тепла для підтримки оптимального режиму роботи коробки передач тракторів в природних умовах, які суттєво різняться від України, тому необхідне наукове обґрунтування доцільності використання систем утилізації тепла для контролю температури трансмісії в умовах України.

**Мета дослідження.** Метою статті є дослідження доцільності оснащення гідросистеми коробки передач сільськогосподарського трактора, пристроями для контролю температури робочої рідини в умовах України з використанням енергії відпрацьованих газів двигуна. Для досягнення поставленої мети необхідно:

- 1) проаналізувати кліматичні умови України;
- 2) визначити обсяг технологічних операцій, які виконуються в холодну пору року;
- 2) проаналізувати тепловий режим роботи трансмісії трактора;
- 3) визначити способи підтримки теплового режиму коробки передач;
- 4) визначити можливості застосування системи утилізації тепла відпрацьованих газів для підтримки оптимального режиму роботи коробки передач.

**Викладення основного матеріалу.** Регіони України відрізняються за погодно-кліматичними умовами. Нами проведено аналіз погодних умов характерних кліматичних зон країни: Львівська, Харківська та Миколаївська області.

Дослідження показали, що середні температури повітря взимку знаходяться в діапазоні від -5 до +5°C (рис.1), найбільші швидкості вітру у Харківській та Львівській областях (рис.2). Найменша відносна вологість повітря спостерігається у Миколаївській області (рис.3) [5-7].

Для визначення технічної жорсткості холодного клімату в балах використовується формула [9]:

$$E_k = (0,75t_{mincp} + 0,25t_{minabс}) (1 + 0,015\sigma_x) \times$$

$$\times (1 + 0,7V_x) \times (1 + 0,26\varphi_x) (1 + 0,14П.Т.М.) \times (1 + 0,22\tau_x). \quad (1)$$

де  $t_{mincp}$  – середнє значення мінімальних температур повітря за три найбільш холодні місяці, °C;  $t_{minabс}$  – середнє значення абсолютного мінімуму температур повітря за три найбільш холодні місяці, °C;  $\sigma_x$  – середня неперіодична температура добових коливань температури повітря за три найбільш холодні місяці, °C;  $V_x$  – середня швидкість вітру за три найбільш холодні місяці, м/с;  $\varphi_x$  – середнє значення відносної вологості повітря за три найбільш холодні місяці, в частках одиниці; ПТМ – середнє значення за місяць числа днів з туманом і хуртовинами за три найбільш холодні місяці, в днях;  $\tau_x$  – тривалість дії середньої температури повітря нижче нуля, в місяцях.

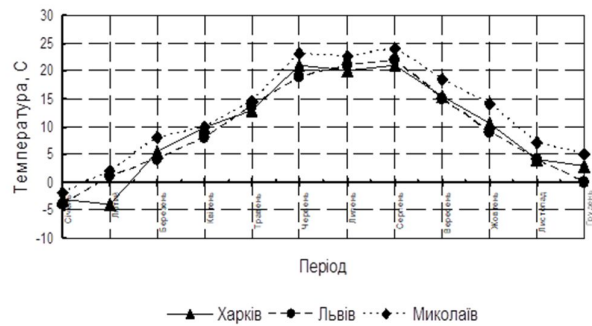


Рис. 1. Середні температури повітря у Миколаєві, Харкові та Львові. Джерело: адаптовано з [5-7]

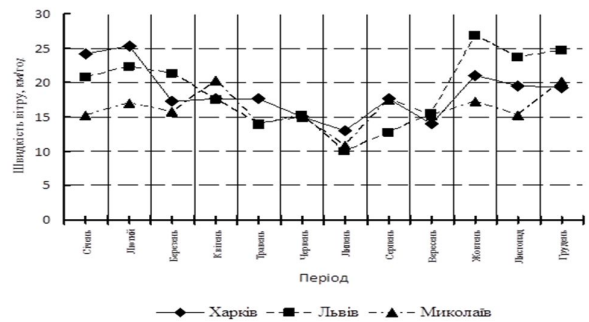


Рис. 2. Швидкість вітру в Харкові, Львові, Миколаєві Джерело: адаптовано з [5-7]

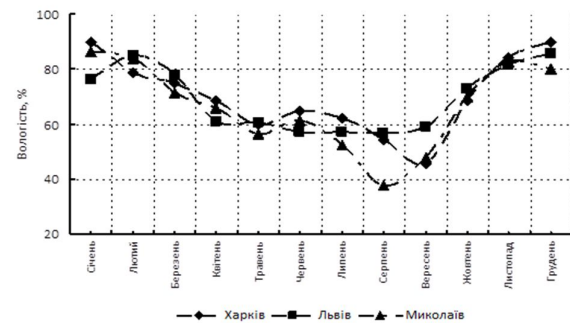


Рис. 3. Вологість повітря в Харкові, Львові, Миколаєві  
Джерело: адаптовано з [5-7]

Можливий діапазон технічної жорсткості холодного клімату знаходиться в межах від 0 до 170 балів. Даний діапазон розділений на п'ять груп: маложорсткий клімат - 0-30 балів; помірно жорсткий клімат – 31-60 балів; жорсткий клімат - 61-90 балів; дуже жорсткий клімат – 91-120 балів; найбільш жорсткий клімат – 121-170 балів. За нашими розрахунками, технічна жорсткість

клімату становить: Миколаїв – 3,28 бали; Львів – 2,32 бали; Харків – 7,26 бали.

За низьких температур повітря сільськогосподарськими тракторами виконується низка технічних операцій (табл.1). У цей період трактори широко використовують для перевезення кормів, господарських вантажів, палива, внесення добрив, снігозатримання, очищення доріг тощо. У табл.1 показано операції, які виконують трактори тягового класу 3.

Таблиця 1

## Тривалість технологічних операцій

Сільсько-господарська культура	Технічна операція	Сільсько-господарська машина	Витрати часу, год/га	Час виконання, год	Температура повітря		
					Львів	Миколаїв	Харків
Тяговий клас 3							
Кукурудза	Суцільна культивация	КПП-8,2	0,210	III дек. 03	-2	3	2
Соняшник	Суцільна культивация	КПП-8,2	0,210	III дек. 03	-2	3	2

Тепловий режим у процесі роботи трактора залежить від багатьох факторів (визначаються надходженням та відведенням теплоти). Розігрів масла в трансмісії тракторів відбувається практично тільки за рахунок енергії, що витрачається на подолання сил тертя в кінематичних парах, вузлах і агрегатах трансмісії. Теплота, що виділяється при цьому, може бути визначена за формулою, кДЖ:

$$Q_{\text{п}} = 3600 (1 - \eta_{\text{тр}}) P_{\text{тр}} \tau, \quad (2)$$

де  $\eta_{\text{тр}}$  – механічний коефіцієнт корисної дії (ККД) трансмісії;  $P_{\text{тр}}$  – потужність на вході в трансмісію, кВт;  $\tau$  – час роботи трактора, год.

Таким чином, навіть при позитивних значеннях температури НС досягти оптимального теплового режиму в агрегатах трансмісії досить складно. В умовах зимової експлуатації створення оптимального температурного режиму в трансмісії тракторів часто є нездійсненним завданням.

В експлуатаційних умовах при оранці тракторами тягових класів 3 та 5 (Т-150К, К-701 тощо) і температурі НС плюс 25°C температура масла в КП не перевищує 45-50°C. Таким чином, навіть при позитивних значеннях температури НС досягти оптимального теплового режиму в агрегатах трансмісії досить складно.

Роботи зі зниження втрат потужності в агрегатах трансмісії ведуться за трьома основними напрямками:

застосування масел з пологою в'язкостно-температурною характеристикою;

створення оптимального температурного режиму за рахунок підведення теплоти від стороннього джерела;

удосконалення конструкції вузлів і агрегатів трансмісій машин.

Третій напрям зниження втрат потужності в трансмісії дозволяє примусово підтримувати оптимальний тепловий режим.

Способи підтримки оптимального теплового режиму поділяють на пасивні та активні. Пасивні способи – це утеплення вузлів і агрегатів трансмісії, вимкнення масляних радіаторів у зимню пору року. До активних способів відносять: дроселювання масла, електричний підігрівач масла, використання системи утилізації тепла відпрацьованих газів двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ). Активним способом, який не вимагає додаткових джерел енергії, є використання енергії відпрацьованих газів (ВГ).

Проведено дослідження можливості використання енергії відпрацьованих газів. Для підтримання температурного режиму коробки передач можна використовувати енергію відпрацьованих газів, які мають високий

потенціал. Так, наприклад, температура відпрацьованих газів двигуна ЯМЗ-238М2, змінюється в діапазоні від 130 °С (на режимі холостого ходу), 420 °С (номінальна потужність) (рис. 4).

Потенційна потужність утилізаційного котла визначається за наступною формулою:

$$Q = \frac{1}{3600} \alpha L_0 B C_p (T_g - T_a), \quad (6)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт надлишку повітря;  $L_0$  – стехіометрична кількість повітря для згорання дизельного палива;  $B$  – витрата дизельного палива, кг/год;  $C_p$  – питома теплоємність відпрацьованих газів, кДж/(кг·К);  $T_g$  – температура відпрацьованих газів;  $T_a$  – температура газів після утилізаційного котла.

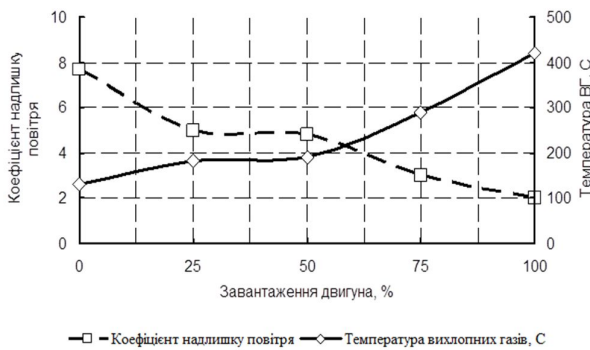


Рис. 4. Навантажувальна характеристика двигуна ЯМЗ-238М2  
Джерело: адаптовано з [5-7]

За нашими розрахунками, теоретична потужність утилізаційного котла (рис. 5) на всіх режимах роботи трактора тягового класу 3 може забезпечити прогрів масла коробки передач. Цієї потужності достатньо для швидкого прогріву масла коробки передач до оптимального рівня.

ККД трансмісії трактора від температури повітря та часу їх роботи показана на рис.6. Так, початковий ККД трансмісії за температури повітря -30°С становить 35%, а при підвищенні температури повітря до +30°С збільшується до 57%. Під час роботи ККД поступово зростає. Нами отримано залежність ККД, як функції температури повітря та часу роботи трансмісії:

$$\eta_{mp} = (1,81 \cdot 10^{-7} - 3,33 \cdot 10^{-10} T) \tau^3 + (-141 \cdot 10^{-6} + 0,33 \cdot 10^{-6} T) \tau^2 + (-293,5 \cdot 10^{-5} - 45 \cdot 10^{-5} T) \tau + (-0,5445 + 0,003667 T),$$

де  $\tau$  – тривалість роботи, хвилин;  $T$  – температура, К.

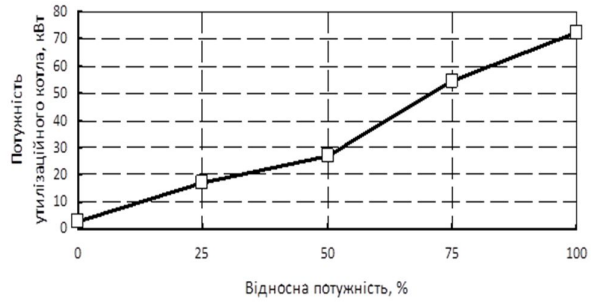


Рис. 5. Теоретична потужність утилізаційного котла двигуна ЯМЗ-238М2. Джерело: Власні розрахунки

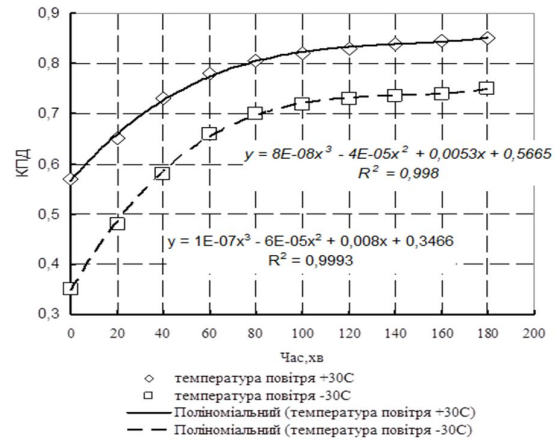


Рис. 6. Динаміка ККД КП трактора при різних температурах повітря.  
Джерело: адаптовано

Визначимо потенційну економію палива внаслідок прогріву масла коробки передач. Потужність двигуна визначаємо за наступною формулою:

$$Ne_{oe} = \frac{Ne_T}{\eta_{TP} \eta},$$

де  $Ne_T$  – тягова потужність, кВт;  $\eta_{TP}$  – ККД трансмісії;  $\eta$  – ККД головної передачі.

Погодинна витрата палива становить:

$$B_{П} = Ne_{oe} b_e = \frac{Ne_T}{\eta_{TP} \eta} b_e,$$

де  $b_e$  – питома витрата палива, кг/(кВт·год)

Витрата палива за час прогріву масла трансмісії:

$$B_{Пш} = \int_0^{\tau} B_{П} d\tau = \int_0^{\tau} \frac{Ne_T}{\eta_{TP} \eta} b_e dt.$$

За цей час, у випадку, якщо  $\eta_{TP} = \eta_{TP0}$  (на сталому режимі)

$$B_{Пш0} = \frac{Ne_T}{\eta_{TP0} \eta} b_e \tau,$$

де  $\eta_{TP0}$  – ККД трансмісії після її прогріву до сталого режиму.

Тоді, економія палива (кг) становитиме:

$$\Delta V_{III} = V_{III} - V_{III0} = \frac{N_{eTPbe}}{\eta} \left[ \int_0^{\tau} \frac{d\tau}{\eta_{TP}} - \frac{\tau_{II}}{\eta_{TP0}} \right].$$

А вартість (грн) цього палива:

$$V_{II} = \Delta V_{III} C_{II}.$$

де  $C_{II}$  – ціна палива, грн/кг.

За нашими розрахунками, навіть влітку, економія палива для тракторів тягового класу 3 може становити не менше 155 грн за зміну (за цінами квітня 2019 року). У холодну пору року це значення значно вище.

**Висновки.** На прогрів масла коробки передач витрачається значна кількість енергії та

вихід на робочий режим (по температурі) потребує до 2 годин, що негативно впливає на економічні показники. У холодну пору року мають місце додаткові втрати потужності у КП.

Отримано залежність ККД КП трактора як функції температури повітря та часу роботи. Вона дозволяє виконувати математичне моделювання теплового режиму КП.

На основі аналізу методів підтримки оптимального режиму КП трактора доведено, що перспективним та енергозощаджувальним методом є використання системи утилізації тепла відпрацьованих газів. Тому доцільно провести дослідження з метою визначення оптимальних конструктивних параметрів цих систем.

### Список використаних джерел:

1. Крохта, Г.М. Повышение эффективности эксплуатации энергонасыщенных тракторов в условиях Западной Сибири: дис. д-ра техн. наук: 05.20.03, 05.04.02. Новосибирск, 1995. 329 с.
2. А.В. Неговора, М.М. Разяпов, М.Г. Закиев, Н.А. Шерстнев. Изучение влияния низких температур на коробку передач автомобиля КАМАЗ ZF 16S 1820. Материалы 90-й Международной научно-технической конференции ассоциации автомобильных инженеров в ИРНТУ «Автомобиль для Сибири Крайнего севера: конструкция, эксплуатация, экономика». Иркутск, 2015. С. 273-278.
3. Панкратов, Г.П. Сборник задач по теплотехнике. М.: Высшая школа, 1995. 178 с.
4. Разогрев и подогрев двигателя горелками инфракрасного излучения. URL: [ustroistvo-avtomobilya.ru/dvigatel/razogrev-i-podogrev-dvigatelya-gorelkami-infrakrasnogo-izlucheniya](http://ustroistvo-avtomobilya.ru/dvigatel/razogrev-i-podogrev-dvigatelya-gorelkami-infrakrasnogo-izlucheniya)
5. Метеорологічний архів Львів: сайт. URL: [meteoblue.com/ru/pogoda/prognoz/archive/Львов\\_Украина\\_702550?fcstlength=1m&year=2017&month=1](http://meteoblue.com/ru/pogoda/prognoz/archive/Львов_Украина_702550?fcstlength=1m&year=2017&month=1)
6. Метеорологічний архів Миколаїв: сайт. URL: [meteoblue.com/ru/pogoda/prognoz/archive/Николаев\\_Украина\\_700569?fcstlength=1m&year=2017&month=1](http://meteoblue.com/ru/pogoda/prognoz/archive/Николаев_Украина_700569?fcstlength=1m&year=2017&month=1)
7. Метеорологічний архів Харків: сайт. URL: [meteoblue.com/ru/pogoda/prognoz/archive/Харьков\\_Украина\\_706483?fcstlength=1m&year=2017&month=1](http://meteoblue.com/ru/pogoda/prognoz/archive/Харьков_Украина_706483?fcstlength=1m&year=2017&month=1)
8. Федин К.И. Инновационная технология создания газовых поршневых двигателей с искровым зажиганием. *Инновационные Ресурсы России*. 2012. №2. С.11-15.
9. Иванников А.Б. Вторичное использование теплоты выхлопных газов двигателя для повышения эффективности функционирования агрегатов на примере коробки передач трактора. Новосибирск, 2017.
10. Jadhao, J.S.; Thombare, D.G. Review on Exhaust Gas Heat Recovery for I.C. Engine. *Int. J. Eng. Innov. Technol. (IJEIT)* 2013, 2, 93–100.
11. Nadaf, S.L.; Gangavati, P.B. A review on waste heat recovery and utilization from diesel engines. *Int. J. Adv. Eng. Technol.* 2014, 31, 39–45.
12. Ibrahim, T.M.; Syahir, A.Z.; Zulkifli, N.W.M.; Masjuki, H.H.; Osman, A. Enhancing vehicle's engine warmup using integrated mechanical approach. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 2017, 210, 012064.
13. Kalinichenko, A., Havrysh, V., Hruban, V. (2018) Heat Recovery Systems for Agricultural Vehicles: Utilization Ways and Their Efficiency. *Agriculture*. 2018, 8, 199; doi:10.3390/agriculture8120199
14. Kauranen, P.; Heikkinen, J.; Laurikko, J.; Seppala, A. Heat and Cold Accumulator in Vehicles. URL: [motiva.fi/files/3507/Heat\\_and\\_cold\\_accumulators\\_in\\_vehicles.pdf](http://motiva.fi/files/3507/Heat_and_cold_accumulators_in_vehicles.pdf) (accessed on 10 July 2018).
15. Heat Accumulator. URL: [avtomasta.ru/elektroborudovanie/teplovoj-akkumulyatorgrelka-dlya-motora.html](http://avtomasta.ru/elektroborudovanie/teplovoj-akkumulyatorgrelka-dlya-motora.html) (accessed on 20 September 2018).

**В. И. Гавриш, В. А. Грубань, А. В. Калініченко. Исследование целесообразности контроля теплового режима трансмиссии мобильных энергетических средств в условиях Украины**

*Показано, что выход на оптимальный тепловой режим коробки передач трактора с гидродождимными муфтами происходит в течение длительного времени. Это приводит к уменьшению ее коэффициента полезного действия и, как следствие, к повышению расхода топлива. Получена зависимость коэффициента полезного действия коробки передач как функция температуры воздуха и времени ее работы. Обосновано, что эффективным способом контроля температуры является использование системы утилизации тепла отработавших газов дизеля. Показано, что для*

*тракторов тягового класса 3 использование предложенной системы позволит уменьшить расход топлива не менее чем, на 155 грн за смену.*

**Ключевые слова:** трактор, коробка передач, масло, утилизация, экономия.

**V. Havrysh, V. Hruban, A. Kalinichenko. Feasibility of controlling the thermal regime of the transmission of agricultural machines in conditions of Ukraine**

*During the heating of the tractor gearbox oil, there is a decrease in the efficiency, which leads to an increase in fuel consumption. This is observed at any time of the year. The efficiency of a gearbox as a function of the ambient temperature and the operating time has been obtained. This allows you to predict the effectiveness of the work of the tractor. Various methods to improve transmission performance were analyzed. The article analyzes the parameters of the exhaust gas of a tractor diesel engine. It was proved that one of the effective methods for temperature control is to use of an exhaust gas heat recovery system. It was shown that the capacity of the exhaust gas recovery system is sufficient to ensure the warming up of transmission oil to the optimum parameters. It is determined that the use of the proposed system may reduce fuel consumption by 155 UAH per shift (for tractors with drawbar pull of three tons). The direction of subsequent research is to determine the specific design parameters of the proposed system to ensure the optimum temperature of transmission oil.*

**Keywords:** tractor, gearbox, oil, recovery, economy.