

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ШЕВЦОВ ВАДИМ МИХАЙЛОВИЧ

УДК 631.372

ДИСЕРТАЦІЯ

ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ГІДРООБ'ЄМНО – МЕХАНІЧНОЇ ТРАНСМІСІЇ КОЛІСНОГО ТРАКТОРА

Спеціальність 05.22.02 – автомобілі та трактори
Галузь знань 13 – механічна інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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

Blaney

В.М. Шевцов

Науковий керівник - Самородов Вадим Борисович, доктор технічних наук,
професор

Здекласифікуйте за змістом
з іменами присяжними
директорів: заст. дир.

Венет едотерар
в ециянголаи брени
багнор 64.850.13

Харків – 2018



АНОТАЦІЇ

Шевцов В.М. Вибір і обґрунтування температурних режимів роботи гідрооб'ємно – механічної трансмісії колісного трактора. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.02 – автомобілі та трактори. – Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, 2018 р.

Дисертацію присвячено підвищенню ефективності використання тракторів з гідрооб'ємно-механічною трансмісією (ГОМТ) за рахунок визначення впливу температурних режимів роботи гідрооб'ємної передачі (ГОП) на показники роботи трансмісії, обґрунтуванню параметрів системи охолодження гідрооб'ємної передачі.

Для вирішення поставленої задачі було проведено аналіз наукових джерел, встановлено, що дослідженню температурних станів роботи гідросистем присвячується досить багато уваги. Актуальність цього питання визначається значним впливом температури робочої рідини на параметри роботи систем через зміну конструктивних параметрів обладнання або фізичних властивостей рідини. Проаналізовано підходи щодо урахування температурних режимів роботи гідросистем та визначено, що основними напрямками є введення коефіцієнтів приблизного урахування температури при визначенні об'ємних втрат, послідовне визначення температури робочої рідини на кожній ланці з перерахуванням втрат на кожній ітерації або завдання постійних значень втрат та визначення конструктивних геометричних змін в обладнанні.

В якості прикладу для розглядання була обрана трансмісія ГОМТ-1С. Для опису кінематичних параметрів роботи трансмісії було складено математичну модель ГОМТ. Отримана математична модель була реалізована в програмі MATLAB Simulink та включає в себе модель ДВЗ, ГОМТ та модель плуга для визначення навантаження при виконанні технологічних операцій.

В рамках дослідження було складено матричну математичну модель, яка була розширена введенням до її складу рівнянь теплового балансу для визначення перепаду температури робочої рідини на різних ланках ГОП. Отримана матрична система представляє собою об'єднану матрицю, яка складається з кінематичної матриці з урахуванням об'ємного ККД ГОП, силової матриці з урахуванням ККД механічних редукторів та механічного ККД ГОП та температурної матриці з заданою температурою робочої рідини на довільній ланці. Розширена матриця вирішується ітераційним методом з послідовним наближенням до заданої точності розрахунку.

При розрахунку були обґрунтовані допущення про неврахування зміни температури робочої рідини при теплообміні через стінки гідромашин та стінки допоміжної арматури. Була складена математична модель розрахунку втрат теплової енергії через явище теплопереносу. Модель складалася із схематичної та математичної моделі, які враховують конструктивні параметри об'єкту та кінематичні складові руху робочої рідини через цей об'єкт. Виявлено, що перепад температури робочої рідини знаходиться в межах менш ніж 0,2% від загальної температури, тому при розрахунку теплових режимів гідромашин враховувати цей перепад не доцільно.

Для підтвердження складеної математичної моделі були проведені стендові дослідження ГОП та ГОМТ. В ході експериментального стендового дослідження використовувався стенд повнопотокової гідрооб'ємної передачі та гідрооб'ємно – механічної трансмісії, створений кафедрою «Автомобіле та тракторобудування» сумісно з ПАТ «ХТЗ». Стенд складається з привідного електродвигуна, навантажувального пристрою, ГОП (або ГОМТ), масляного баку, радіатору та фільтру. Для реєстрації даних в процесі проведення експериментальних досліджень використовувався модуль АЦП, система живлення вимірювального комплексу, три датчики надлишкового тиску, три датчики частоти обертів, два датчики крутного моменту та три датчики температури. В зв'язку з тим, що частина датчиків не була сертифікована, проводилися тарувальна характеристика датчиків крутного моменту та

визначалася залежність значення вихідного вольтового сигналу від значення навантаження на приладі.

З метою отримання математичної моделі експериментального дослідження та перевірки масиву отриманих даних на адекватність був складений повний факторний експеримент. Брак в паралельних дослідженнях визначався по критерію Стюдента – перевірка показала що результати паралельних дослідів не можна вважати помилковими. Перевірку однорідності дисперсії виконувалася по критерію Фішера – перевірка показала, що дисперсії однорідні. Адекватність математичної моделі визначалася по критерію Фішера – перевірка показала що модель адекватна.

Для обробки експериментальних даних з датчиків використовувалася апроксимація поліномом n -ї ступені. Апроксимація була потрібна через те, що отриманий та записаний сигнал мав деяку кількість шумових завад. В цілому ці завади мали вигляд нерівномірного відхилення в двох протилежних напрямках від центральної кривої. Для датчиків температури та тиску використовувалася лінійна залежність представлена виробником. Для датчиків крутного моменту використовувалася тарувальна характеристика.

Була складена методика проведення експериментальних досліджень, підготовки та перевірки на працездатність стендового обладнання та контрольної обкатки. Ця методика включає в себе складання стенду з попередньою перевіркою окремо усіх елементів, перший запуск та перевірка органів керування, та безпосередньо проведення випробувань з фіксацією усіх необхідних параметрів.

В результаті проведення стендових досліджень була встановлена максимальна похибка 9,2% при визначенні перепаду тиску. Спираючись на це зроблено висновок про адекватність математичної моделі та можливість використання її в подальших дослідженнях.

Використовуючи складену математичну модель проведений аналіз параметрів роботи ГОП в складі ГОМТ на прикладі трансмісії ГОМТ-1С. Аналіз проводився на двох режимах: виконання технологічних операцій

(закладалося навантаження, що відповідає виконанню операції оранки) та транспортному режимі. Визначалися температура на ділянках гідросистеми та в гідромашинах, об'ємний та механічний ККД ГОП та загальний ККД трансмісії. В ході аналізу впливу кінематичних та силових параметрів роботи ГОМТ на перепад температури робочої рідини в ГОП виявлено, що пікові значення перепаду спостерігаються в особливій зоні (зона, розташована біля 0 по параметру регулювання гідромашини), що зумовлено співвідношенням потужності, що проходить через гідравлічну гілку, та механічних і об'ємних втрат. При визначенні температури робочої рідини на ділянках ГОП враховувалися явища послідовного накопичення температури, а також зміщення потоків. Максимальне значення перепаду складає 12 °С та спостерігається на II передачі.

В ході дослідження впливу температурних режимів роботи ГОП на параметри роботи ГОМТ трактора виявлено, що збільшення температури до критичного значення знижує об'ємний ККД майже на 30%, а мінімальне значення загального ККД складає 0.6. При цьому відбувається зсув початку роботи гідропередачі майже на 25%. Це явище спостерігається через зміну фізичних властивостей робочої рідини, а саме зміна в'язкості та густини. Ці фізичні властивості входять до виразів визначення об'ємного ККД гідропередачі.

Проведений аналіз визначення параметрів та підбору елементів системи охолодження гідросистем. Розповсюджений підхід спирається на визначення загальної потужності, що проходить через гідропривід на вибір обладнання з урахуванням 20% запасу потужності. В ГОМТ загальна потужність з двигуна нерівномірно розподіляється між гідравлічною та механічною гілками. При використанні гідрооб'ємно-механічних трансмісій виконаних за схемою з диференціалом на вході не існує варіантів. Коли через гідравлічну гілку проходить 100% потужності. Для більш раціонального підбору обладнання пропонується застосовувати методологію, що передбачає розрахунок розподілу потужності між двома гілками. Спираючись на аналіз розподілу

потоків потужності розроблені рекомендації щодо методології вибору обладнання системи охолодження ГОП, що працює в складі ГОМТ колісного трактору. Розроблена методологія дозволяє більш раціонально вибрати обладнання з меншим запасом, та, відповідно менших розмірів і вартості.

Список публікацій здобувача:

1. Шевцов В.М. Обоснование применения гидрообъемно-механических трансмиссий на колесных тракторах путем экспериментального определения основных эксплуатационных характеристик гидрообъемной передачи / В.Б. Самородов, О.И. Деркач, С.А. Шуба, Н.А. Митцель, В.М. Шевцов // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2015. – №9 (1118). – С. 3 – 8.

2. Шевцов В.М. Экспериментальное исследование полнопоточной гидрообъемной передачи./ Шевцов В.М. // Вісник Харківського національного автомобільно – дорожнього університету. – Харків: ХНАДУ. – 2016. - №75. – С. 58 – 63.

3. Шевцов В.М. Розвиток трансмісійного матричного аналізу введенням температурних матриць в системах гідроприводів гідрооб’ємно – механічних трансмісій. / В.Б. Самородов, В.М. Шевцов // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2017. – №14 (1236). – С. 85 – 92.

4. Шевцов В.М. Результати експериментального дослідження гідрооб’ємної передачі. / В.Б. Самородов, В.М. Шевцов // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2017. – №5 (1227). – С. 41 – 46.

5. Шевцов В.М. Теоретичне дослідження безступінчастої трансмісії автомобіля КрАЗ 63221-02 для ремонту нафтогазових свердловин. / О.О. Островерх, А.П. Кожушко, В.М. Шевцов // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2017. – №6 (1228). – С. 45 – 51.

6. Shevtzov V.M. Experimental Appropriateness Verification of K. Gorodetsky's Mathematical Model for Losses Determination in Hydrostatic

Transmissions for Modern Hydraulic Machines / V.B. Samorodov, S.A. Shuba, O.I. Derkach, N.A. Mittsel, V.M. Shevtsov // Eastern European Scientific Journal: Düsseldorf (Germany): Auris Verlag. – 2014. – № 6. – P. 285 – 291.

7. Shevtsov V. Temperature operation of hydrostatic transmission as part hydrostatic – mechanical transmissions of wheeled tractors of general purpose / V. Samorodov, V. Shevtsov // International Collection of scientific proceedings. – Warszawa: Consilium Sp. z o.o. – 2016. – Vol. 6 (13). – P. 58 – 66.

8. Шевцов В.М. Матричная температурная модель гидравлической системы трактора / В.М. Шевцов // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: міжнарод. науч. – техн. конф., 15-17 жов. 2014 р.: тези доп. – Х., 2014. - С. 247.

9. Шевцов В.М. Матричная температурная модель гидрообъемно-механической трансмиссии трактора / В.М. Шевцов // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: міжнарод. науч. – техн. конф., 20-22 трав. 2015 р.: тези доп. – Х., 2015. - С. 22.

10. Шевцов В.М. Оптимальні режими роботи трактора оснащеного гідрооб'ємно механічною трансмісією з урахуванням температурних режимів / В.М. Шевцов // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: міжнарод. науч. – техн. конф., 18-20 трав. 2016 р.: тези доп. – Х., 2016. - С. 237.

11. Шевцов В.М. Розвиток трансмісійного матричного аналізу введенням температурних матриць / В.М. Шевцов // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: міжнарод. науч. – техн. конф., 17-19 трав. 2017 р.: тези доп. – Х., 2017. - С. 238.

12. Шевцов В.М. Розвиток трансмісійного матричного аналізу введенням температурних матриць. / В.Б. Самородов, В.М. Шевцов // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: міжнарод. науч. – техн. конф., 16-18 трав. 2018 р.: тези доп. – Х., 2018. - С. 185

13. Шевцов В.М. Аналіз температурних режимів роботи гідрооб'ємної передачі в складі гідрооб'ємно-механічної трансмісії трактора. The development of technical sciences: problems and solutions: Conference Proceedings, April 27–28,. Brno: Baltija Publishing – 2018, С. 36 - 38.

ABSTRACT

Shevtsov V.M. Choice and substantiation of temperature modes of operation of a hydraulic - mechanical transmission of a wheeled tractor. - Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

The dissertation for obtaining the scientific degree of the candidate of technical sciences on the specialty 05.22.02 - cars and tractors. - National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, 2018

The dissertation is devoted to increase of efficiency of use of tractors with hydromechanical transmission (GOMT) due to determination of influence of temperature modes of work of a hydro-volume transmission (GOP) on parameters of work of a transmission, substantiation of parameters of a system of cooling of a hydro-volume transmission.

To solve the problem, an analysis of scientific sources was made, it was established that a lot of attention is devoted to the study of the temperature states of the hydrosystems. The urgency of this issue is determined by the significant influence of the temperature of the working fluid on the parameters of the operation of systems through the change in the design parameters of equipment or physical properties of the liquid. The approaches to taking into account the temperature regimes of the work of the hydrosystems are analyzed and the main directions are the introduction of coefficients of the rough calculation of temperature in the determination of volume losses, the consistent determination of the temperature of the working fluid at each link with the transfer of losses on each iteration, or the problem of constant values of losses and determination of constructive geometric changes in equipment.

As an example, GOMT-1C transmission was chosen for consideration. To describe the kinematic parameters of the operation of the transmission, a mathematical model of the GOMT was compiled. The obtained mathematical model was implemented in the MATLAB Simulink program and includes a model of DIC, GOMT and a plow model to determine the load when performing a technological operation.

In the framework of the study, a matrix mathematical model was developed, which was expanded by introducing into it the equations of thermal balance for determining the temperature difference of the working fluid at various links of the GOP. The resulting matrix system is a combined matrix consisting of a kinematic matrix based on the volume efficiency of the GOP, a power matrix, taking into account the efficiency of the mechanical reducers and the mechanical efficiency of the GOP and the temperature matrix with a given temperature of the working fluid at the arbitrary link. An expanded matrix is solved by an iterative method with successive approximation to a given accuracy of calculation.

In the calculation, the assumptions about the failure to take into account the change in the temperature of the working fluid during heat exchange through the walls of the hydromachines and the wall of the auxiliary armature were substantiated. A mathematical model for calculating heat energy losses through a heat transfer phenomenon was compiled. The model consisted of a schematic and mathematical model that takes into account the design parameters of the object and the kinematic components of the working fluid through this object. It was found that the temperature difference of the working fluid is within the limits of less than 0.2% of the total temperature, therefore, when calculating the thermal regimes of hydromashes, it is not advisable to take into account this difference.

For confirmation of the compiled mathematical model, bench surveys of GOP and GOMT were conducted. In the course of the experimental bench survey, a stand of full flow hydro-bulk transmission and a hydro-mechanical transmission was created, created by the department "Automobile and tractor" in cooperation with PJSC "KhTZ". The stand consists of a drive motor, a loading device, a GOP (or GOMT), an oil tank, a radiator and a filter. To register data in the course of experimental research, the ADC module, the measuring system's power system, three surge suppressors, three speed sensors, two torque sensors and three temperature sensors were used. Due to the fact that some of the sensors were not certified, a torsional characteristic of torque sensors was carried out and the

dependence of the value of the output volt signal on the load value on the device was determined.

In order to obtain a mathematical model of experimental study and verification of the array of data obtained on adequacy, a complete factor experiment was compiled. The lack of parallel research was determined by the Student's criterion - the test showed that the results of parallel experiments can not be considered false. The verification of homogeneity of the dispersion was carried out according to the Fisher test - the test showed that the variances are homogeneous. The adequacy of the mathematical model was determined by the Fisher test - the test showed that the model is adequate.

For the processing of experimental data from the sensors, the approximation of the n -th polynomial was used. Approximation was needed because the received and recorded signal had a certain amount of noise interference. In general, these interferences looked like an uneven deviation in two opposite directions from the central curve. For the temperature and pressure sensors, the linear dependence represented by the manufacturer was used. For tilt sensors a tare characteristic was used.

A methodology for carrying out experimental research, preparation and testing on the performance of bench equipment and control run-up was made. This technique includes the assembly of a stand with a pre-inspection of all elements separately, the first start and check of the control bodies, and directly testing with fixing all the necessary parameters.

As a result of bench testing, a maximum error of 9.2% was established when determining the pressure drop. Based on this, it was concluded that the mathematical model is adequate and that it can be used in further research.

Using the composite mathematical model, an analysis of the parameters of the GOP operation in the GOMT was performed on the example of the GOMT-1C transmission. The analysis was carried out in two modes: the implementation of technological operations (the load was set corresponding to the operation of the plow) and the transport mode. The temperature was determined on the sections of

the hydrosystem and in the hydromachines, the volume and mechanical efficiency of the GOP and the total efficiency of the transmission. During the analysis of the influence of the kinematic and power parameters of the work of the GOMT on the temperature difference of the working fluid in the GOP, it was found that the peak values of the difference are observed in a special zone (a zone located near 0 according to the parameter of the control of the gidromix), which is due to the ratio of power passing through the hydraulic branch, and mechanical and volumetric losses. In determining the temperature of the working fluid in the sections of the GOP, the phenomena of successive accumulation of temperature, as well as the mixing of flows, were taken into account. The maximum value of the difference is 12 °C and is observed on the second transmission.

During the study of the influence of the temperature regimes of the GOP on the parameters of the GOMT of the tractor, it was found that an increase in temperature to a critical value reduces the volume efficiency by almost 30%, and the minimum value of the total efficiency is 0.6. At the same time there is a shift of the beginning of hydro transmission by almost 25%. This phenomenon is observed due to changes in the physical properties of the working fluid, namely the change in viscosity and density. These physical properties are included in the expressions for determining the volume efficiency of the hydraulic transmission.

The analysis of determination of parameters and selection of elements of the system of cooling of hydrosystems is carried out. The widespread approach is based on the definition of the total power passing through the hydraulic drive for the choice of equipment, taking into account 20% of the power reserve. In GOMT, the total engine power is distributed unevenly between the hydraulic and mechanical branches. When using hydro-mechanical transmissions performed according to the scheme with a differential at the input there are no options. When the hydraulic branch passes 100% of the power. For a more rational selection of equipment it is proposed to apply a methodology that involves calculating the distribution of power between the two branches. Based on the analysis of the distribution of power flows, recommendations for the methodology of selecting the equipment of the cooling

system of the GOP, working in the GOMT wheeled tractor, have been developed. The developed methodology allows more rationally to choose equipment with less stock, and, accordingly, smaller sizes and cost.

List of publisher publications:

1. Shevtsov V.M. Substantiation of application of hydraulic and mechanical transmissions on wheeled tractors by experimental determination of basic operational characteristics of hydro-displacement transmission / VB Samorodov, O.I. Derkach, SA Shuba, N.A. Mitzel, V.M. Shevtsov // Bulletin of the National Technical University "KhPI". - Kharkiv: NTU "KhPI". - 2015. - No. 9 (1118). - P. 3 - 8.

2. Shevtsov VM Experimental study of full-flow hydro-volumetric transmission. / Shevtsov V.M. // The Bulletin of the Kharkiv National Automobile and Road University. - Kharkiv: KhNADU. - 2016 - №75. - P. 58 - 63.

3. Shevtsov V.M. Development of transmission matrix analysis by introduction of temperature matrices in hydroelectric drive systems of hydrostatic mechanical transmissions. / VB Samorodov, V.M. Shevtsov // Bulletin of the National Technical University "KhPI". - Kharkiv: NTU "KhPI". - 2017 - No. 14 (1236). - P. 85 - 92.

4. Shevtsov V.M. Results of the experimental study of the hydro-volume transmission. / VB Samorodov, V.M. Shevtsov // Bulletin of the National Technical University "KhPI". - Kharkiv: NTU "KhPI". - 2017 - №5 (1227). - P. 41 - 46.

5. Shevtsov V.M. Theoretical study of the stepless transmission of the KrAZ 63221-02 car for oil and gas well repairs. / O.O. Ostroverh, AP Kozhushko, VM Shevtsov // Bulletin of the National Technical University "KhPI". - Kharkiv: NTU "KhPI". - 2017 - No. 6 (1228). - P. 45-51.

6. Shevtzov V.M. Experimental Appropriateness Verification of K. Gorodetsky's Mathematical Model for Losses Determination in Hydrostatic Transmissions for Modern Hydrolic Machines / V.B. Samorodov, S.A. Shuba, O.I. Derkach, N.A. Mittsel, V.M. Shevtsov // Eastern European Scientific Journal: Düsseldorf (Germany): Auris Verlag. - 2014. - No. 6. - P. 285 - 291.

7. Shevtsov V. Temperature operation of hydrostatic transmission as part of hydrostatic - mechanical transmissions of wheeled tractors of general purpose / V. Samorodov, V. Shevtsov // International Collection of scientific proceedings. - Warszawa: Consilium Sp. z o.o. - 2016 - Vol. 6 (13). - P. 58 - 66.

8. Shevtsov V.M. Matrix temperature model of hydraulic tractor system / VM Shevtsov // Information Technologies: science, technology, technology, education, health: international. scientific - Tech. Conf., 15-17 oct. 2014: Theses Add. - X., 2014. - P. 247.

9. Shevtsov V.M. Matrix temperature model of hydraulic / mechanical transmission of tractor / VM Shevtsov // Information Technologies: science, technology, technology, education, health: international. scientific - Tech. Conf., May 20-22. 2015: Theses Add. - X., 2015. - P. 22.

10. Shevtsov V.M. Optimum operating modes of the tractor equipped with a hydromechanical transmission, taking into account temperature regimes / B.M. Shevtsov // Information Technologies: science, technology, technology, education, health: international. scientific - Tech. Conf., May 18-20. 2016: theses of additional. - Kh., 2016. - P. 237.

11. Shevtsov V.M. Development of transmission matrix analysis by the introduction of temperature matrices / V.M. Shevtsov // Information Technologies: science, technology, technology, education, health: international. scientific - Tech. Conf., 17-19 May. 2017: theses of additional. - Kh., 2017. - P. 238.

12. Shevtsov V.M. Development of transmission matrix analysis by introduction of temperature matrices. / VB Samorodov, V.M. Shevtsov // Information Technologies: science, technology, technology, education, health: international. scientific - Tech. Conf., 16-18 May. 2018: Theses Add. - Kh., 2018. - P. 185

13. Shevtsov V.M. Analysis of temperature modes of operation of a hydro-volume transmission in a hydraulic-mechanical transmission of a tractor. The development of technical sciences: problems and solutions: Conference Proceedings, April 27-28. Brno: Baltic Publishing - 2018, S. 36 - 38.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПИТАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ СТАНІВ РОБОТИ ГІДРОСИСТЕМ ТА МЕТОДІВ ЇХ ВИЗНАЧЕННЯ	10
Висновки за розділом	34
РОЗДІЛ 2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ГІДРООБ'ЄМНО – МЕХАНІЧНОЇ ТРАНСМІЇ З УРАХУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ГІДРООБ'ЄМНОЇ ПЕРЕДАЧІ	35
2.1 Математична модель гідрооб'ємно – механічної трансмісії по схемі з диференціалом на виході.	36
2.2 Матрична математична модель гідрооб'ємно – механічної трансмісії по схемі з диференціалом на виході.	52
2.3 Математична модель визначення температурних режимів роботи гідрооб'ємної передачі в складі гідрооб'ємно – механічної трансмісії.	58
2.4 Втрати тепла при русі робочої рідини по силовим трубопроводам високого тиску.	61
2.5 Втрати тепла при русі робочої рідини по дренажним трубопроводам.	71
2.6 Втрати тепла робочої рідини в корпусі гідромашин.	73
Висновки за розділом	77
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ СТЕНДОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ГІДРООБ'ЄМНОЇ ПЕРЕДАЧІ	78
3.1 Постановка задачі експериментального стендового дослідження.	78
3.2 Вибір об'єкту експериментальних стендових досліджень.	78
3.3 Описання приладів та обладнання, що використовуються в ході експериментальних досліджень.	83
3.4 Тарувальна характеристика датчиків крутного моменту.	87
3.5 Складання повного факторного експерименту.	92
3.6 Обробка експериментальних даних.	99
3.7 Методика проведення експериментального дослідження	103

3.8 Порівняння результатів теоретичних та експериментальних досліджень.	109
Висновки за розділом.	110
4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ГІДРООБМ'ЄМНОЇ ПЕРЕДАЧІ В СКЛАДІ ГІДРООБ'ЄМНО – МЕХАНІЧНОЇ ТРАНСМІСІЇ ТРАКТОРА.	113
4.1 Температурні режими роботи на різних ланках гідروоб'ємної передачі при різних режимах роботи.	113
4.2 Аналіз накопичення температури робочої рідини при повній реалізації теплової енергії на теплообміннику.	127
4.3 Вибір обладнання системи охолодження при умові роботи в складі двопотокової трансмісії.	132
4.4 Вплив зміни температури робочої рідини на техніко – економічні показники роботи трактора.	136
Висновки за розділом	139
ВИСНОВКИ	140
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	142
ДОДАТОК А Схема розподілу витрати робочої рідини насоса підживлення при роботі в навантаженому режимі з не нульовим положенням органу керування	163
ДОДАТОК Б Результати теоретичного та експериментального дослідження гідрооб'ємної передачі.	166
ДОДАТОК В Схема стенду повнопотокової гідрооб'ємної передачі та двопотокової гідрооб'ємно - механічної передачі	169
ДОДАТОК Д Схема розрахунку теплових режимів роботи ГОП	172
ДОДАТОК Е Результати моделювання розподілу кінематичних, силових та температурних параметрів роботи ГОМТ на робочих та транспортних передачах	174
ДОДАТОК Ж Акти впровадження результатів дисертаційної роботи	181
ДОДАТОК З Список публікацій здобувача за темою дисертації	185