

## Исследование температурного режима гидравлических систем лесных машин

Р.С. Тимохов<sup>а</sup>, В.А. Бурмистров<sup>б</sup>, В.Н. Волков<sup>с</sup>

Ухтинский государственный технический университет, ул. Первомайская 13, Ухта, Республика Коми, Россия

<sup>а</sup>rtimohov@ugtu.net, <sup>б</sup>oburmistrova@ugtu.net, <sup>с</sup>otimohova@ugtu.net

Статья поступила 28.07.2016, принята 23.08.2016

*В статье приведены теоретические расчеты изменения рабочей жидкости в зависимости от температуры окружающей среды, режима и продолжительности работы системы. Экспериментальные исследования тепловых режимов проводились при колебании температуры окружающего воздуха от 0 до  $-50$  °С. На основании стендовых испытаний построены графики изменения температуры рабочей жидкости в баке для гидравлической системы трактора ТТ-4 и экспериментальной установки, зависимости изменения температуры рабочей жидкости на выходе из насоса от сорта масла и продолжительности работы, изменения температуры узлов и агрегатов гидравлических систем в зависимости от времени нахождения системы в нерабочем состоянии. Приведенные в статье графики получены для двух значений температур:  $-30$  и  $-44$  °С. Характер изменения температуры рабочей жидкости в баке имеет ту же закономерность, что и температура масла на выходе из насоса. Для гидравлической системы трактора ТТ-4 температура рабочей жидкости в баке через 60 мин составила  $+38$  и  $+21$  °С соответственно при начальных температурах  $-30$  и  $-44$  °С, для гидравлической системы экспериментальной установки температура соответственно равна  $+18$  и  $+2$  °С. Анализ зависимостей, приведенных в статье, показывает, что разница температур рабочей жидкости, полученных при эксплуатационных и стендовых испытаниях, а также рассчитанных по теоретическим формулам составила  $7-9$  °С. Полученные результаты позволяют утверждать, что расчет теплового режима гидравлической системы по уточненной методике позволит уменьшить ошибку при определении температуры рабочей жидкости на  $22-30$  %.*

**Ключевые слова:** гидравлическая система; тепловой режим; масло; насос; температура.

## Investigation into temperature regime of hydraulic systems of forest machines

R.S. Timokhov<sup>a</sup>, V.A. Burmistrov<sup>b</sup>, V.N. Volkov<sup>c</sup>

Ukhta State Technical University; 13, Pervomayskaya St., Ukhta, Republic of Komi, Russia

<sup>a</sup>rtimohov@ugtu.net, <sup>b</sup>oburmistrova@ugtu.net, <sup>c</sup>otimohova@ugtu.net

Received 28.07.2016, accepted 23.08.2016

*The article presents theoretical calculations of the change of the working fluid depending on the ambient temperature, mode and system operation time. Experimental research of thermal modes have been carried out with the variation of ambient temperature from  $0$  °C to  $-50$  °C. Based on the bench testing, diagrams have been drawn for temperature change of working fluid in the tank both for hydraulic system of the tractor TT-4 and for experimental installation. Dependency diagrams have also been drawn for the temperature change of the working fluid, streaming down the pump, on the sort of oil and operation time; and for temperature change in hydraulic system nodes and components, depending on the time of being in a working state for the system. Diagrams, presented in the article, have been obtained for two temperature values:  $-30$  °C and  $-44$  °C. Temperature change for the working fluid in the tank has the same pattern as that for the oil, streaming down the pump. As for the hydraulic system of the tractor TT-4, 60 minutes after temperature change for the working fluid in the tank has been  $+38$  °C and  $+21$  °C respectively, under initial temperatures  $-30$  °C and  $-44$  °C. As for the hydraulic system of experimental installation, temperature change has been  $+18$  °C and  $+2$  °C. Dependency analysis, provided in the article, has shown that for the working fluid the temperature difference during service and bench testing, as well as calculated with theoretical formulas has been  $7-9$  °C. The results obtained for the heating mode of a hydraulic system, if calculated by the refined methodology, allow to claim that it will reduce the error in determining the temperature of the working fluid up to  $22-30$ %.*

**Key words:** hydraulic system; heating mode; oil; pump; temperature.

## Введение

Для проверки справедливости теоретических расчетов изменения рабочей жидкости в зависимости от температуры окружающей среды, режима и продолжительности работы системы были проведены стендовые и эксплуатационные испытания. Объектом исследования была выбрана гидравлическая система трактора ТТ-4.

**Результаты исследований.** Экспериментальные исследования тепловых режимов проводились при колебании температуры окружающего воздуха от  $0^{\circ}\text{C}$  до  $-50^{\circ}\text{C}$ . В качестве рабочих жидкостей использовались масла АМГ-10, АУ, МГ-20 и зарубежное масло SAE5W-20.

На рис. 1 приведена зависимость изменения температуры рабочей жидкости от сорта масла и времени работы. Стендовые испытания показали, что температура рабочей жидкости стабилизируется через 50–60 мин при температуре воздуха  $-30^{\circ}\text{C}$  независимо от сорта масла. Максимальное значение температуры, которой достигает рабочая жидкость, для данного случая лежит в пределах  $+19...+25^{\circ}\text{C}$ . Характерно, что для таких масел, как АУ и МГ-20, рост температуры в первые 15–20 мин идет более интенсивно, чем для АМГ-10 и SAE5W-20.

Физическая картина этого явления объясняется тем, что в период запуска системы масла АУ и МГ-20 имеют высокую вязкость, в результате чего увеличиваются потери на трение, которые значительно превышают аналогичные потери для масел АМГ-10 и SAE5W-20, имеющих более пологую кривую роста температуры рабочей жидкости. Необходимо отметить интенсивную закономерность для масла SAE5W-20 — выход на стабилизированный тепловой режим через промежуток времени, равный 60–70 мин. Это объясняется тем, что данное масло имеет вязкостные присадки, которые обеспечивают ему при температурах  $+20...+40^{\circ}\text{C}$  более высокое значение вязкости, чем остальным сортам масел.

В эксплуатационных условиях испытания проводились на тракторе ТТ-4, гидравлическая система которого была заправлена маслом АМГ-10.

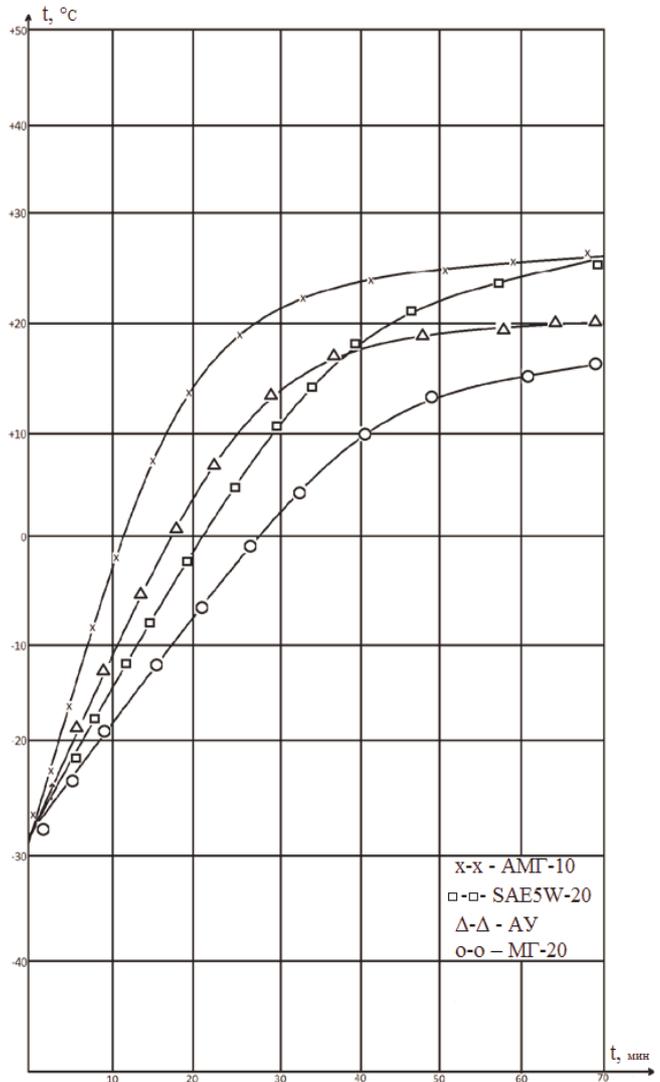
На рис. 2 приведены графики изменения температуры рабочей жидкости в баке для гидравлической системы трактора ТТ-4 и экспериментальной установки.

Приведенные графики получены для двух значений температур,  $-30$  и  $-44^{\circ}\text{C}$ . Характер изменения температуры рабочей жидкости в баке имеет ту же закономерность, что и температура масла на выходе из насоса (рис. 2). Для гидравлической системы трактора ТТ-4 температура рабочей жидкости в баке через 60 мин составила  $+38$  и  $+21^{\circ}\text{C}$  соответственно при начальных температурах  $-30$  и  $-44^{\circ}\text{C}$ , для гидравлической системы экспериментальной установки температура соответственно равна  $+18$  и  $+2^{\circ}\text{C}$ . Разница в полученных значениях показывает, что на величину изменения температуры рабочей жидкости значительное влияние оказывают дополнительные источники тепла (двигатель, радиатор и т. д.), а также характер размещения узлов и агрегатов гидравлической системы. Анализ зависимостей, приведенных на рис. 2, показывает, что разница температур рабочей жидкости, полученных при экс-

плуатационных и стендовых испытаниях, а также рассчитанных по теоретическим формулам, составила  $7-9^{\circ}\text{C}$ . Полученные результаты позволяют утверждать, что расчет теплового режима гидравлической системы по уточненной методике позволит уменьшить ошибку при определении температуры рабочей жидкости на  $22-30\%$ . Существующий в настоящее время метод расчета позволяет получить разницу значений между расчетными и действительными температурами, равную  $15-20^{\circ}\text{C}$ .

Данные по изменению температуры узлов и агрегатов гидравлической системы приведены на рис. 3.

Результаты стендовых испытаний показывают, что разница температур корпуса насоса и гидравлического бака составила  $9-10^{\circ}\text{C}$ . Различие между температурой насоса и бака объясняется тем, что при циркуляции рабочей жидкости по системе часть тепловой энергии отдается в окружающую среду, при этом интенсивность теплоотдачи от гидравлического бака намного превышает теплоотдачу от корпуса насоса из-за различия в размере теплоотдающей поверхности.



**Рис. 1.** Зависимость изменения температуры рабочей жидкости на выходе из насоса от сорта масла и продолжительности работы (диаметр всасывающей магистрали 30 мм)

Результаты экспериментальных исследований позволили установить, что максимально возможная температура рабочей жидкости при одинаковых внешних условиях будут зависеть от нагрузочного и скоростного режимов. Результаты обработки полученных данных приведены на рис. 4. Как видно, возрастание частоты вращения вала насоса сокращает время разогрева рабочей жидкости. Так, при частоте вращения, равной 2 об/с, при работе на масле АМГ-10 она нагревается в течение 60 мин от  $-44$  до  $-11$  °С (кривая 1 на рис. 4), при частоте вращения 26 об/с за это же время температура рабочей жидкости достигает значения  $-2$  °С (кривая 2).

При нагружении системы статистической нагрузкой до 3,0 МПа разница температур при частоте вращения, равной 26 об/с, составила 24 °С (кривые 2 и 4), и температура рабочей жидкости достигла значения  $+22$  °С при температуре окружающего воздуха  $-35$  °С. Но необходимо отметить, что эти методы разогрева рабочих жидкостей можно применять только для масел типа АМГ-10, так как при использовании масел с более крутой вязкостно-температурной характеристикой при низких температурах создаются повышенные давления на выходе из насоса, величина которых приближается к рабочему давлению, что вызывает резкое возрастание температуры как жидкости, так и корпуса гидравлического насоса. При определенных условиях наступает такой момент, когда перегрев корпуса насоса создает условия для схватывания первого и второго рода и последующего разрушения корпуса насоса.

В процессе работы гидравлической системы возможны временные остановки (ремонт, перегрев и т. д.), в течение которых узлы, агрегаты системы и рабочая жидкость успевают охладиться до некоторого значения. На рис. 5 приведены графики изменения температуры узлов и агрегатов гидравлических систем в зависимости от времени нахождения системы в нерабочем состоянии. Анализ кривых показывает, что наибольшую скорость охлаждения (через 60 мин) имеет гидравлический силовой цилиндр. Корпус цилиндра при температуре воздуха  $-44$  °С имел температуру  $-28$  °С. Медленнее идет охлаждение корпуса бака, насоса и распределителя. За этот же промежуток времени температура бака снизилась до  $-8$  °С. Медленное снижение температуры бака объясняется большим объемом масла (60 л). Полное охлаждение узлов и агрегатов гидравлической системы, а также рабочей жидкости наступает через 3,5–4 ч.

### Выводы

Исследования показали, что установившийся температурный режим тракторной системы при работе в зимнее время года ( $0...-50$  °С) наступает через 70–110 мин работы. На повышение температуры рабочей жидкости большое влияние оказывают дополнительные источники тепла (двигатель и т. д.), скоростной и нагрузочный режимы работы насоса. Но даже применение этих мероприятий не обеспечивает сокращение продолжительности подготовки системы к пуску и работе под нагрузкой в диапазоне температур  $0...-50$  °С, которая согласно ГОСТ19674-74 должна быть равна 45 мин.

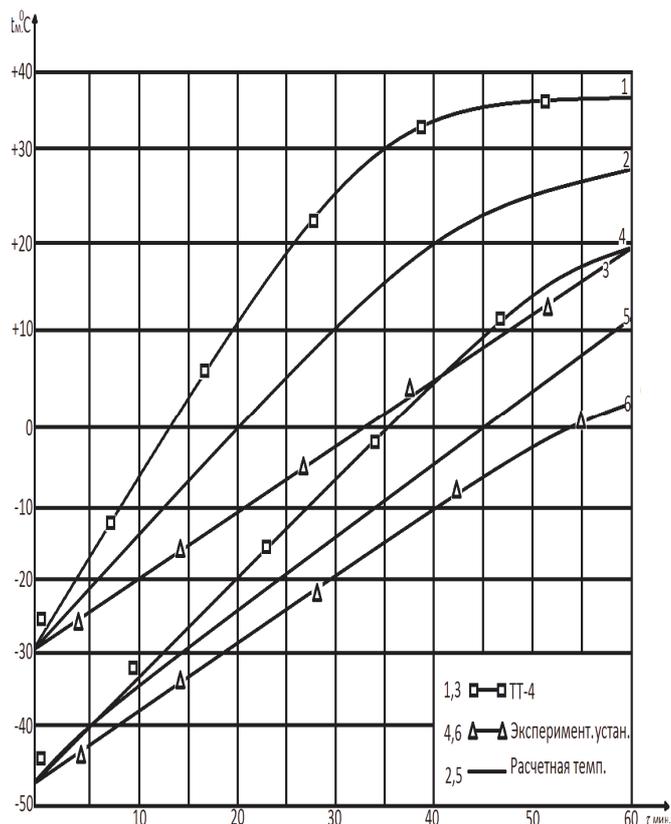


Рис. 2. Изменение температуры рабочей жидкости в зависимости от продолжительности работы в период прогрева

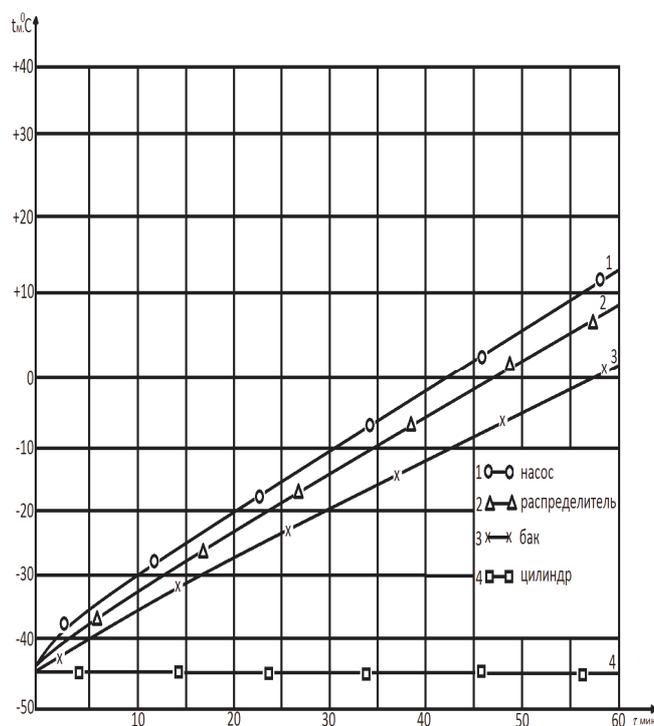


Рис. 3. Изменение температуры узлов и агрегатов гидравлической системы экспериментальной установки от времени работы

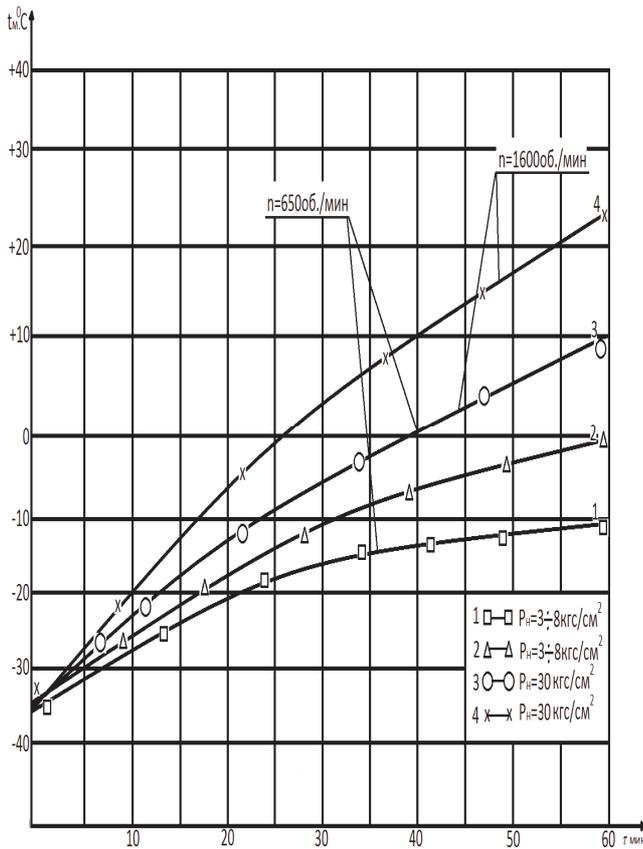


Рис. 4. Изменение температуры рабочей жидкости в баке экспериментальной гидравлической системы от скоростного и нагрузочного режимов работы (температура воздуха  $-35^{\circ}\text{C}$ )

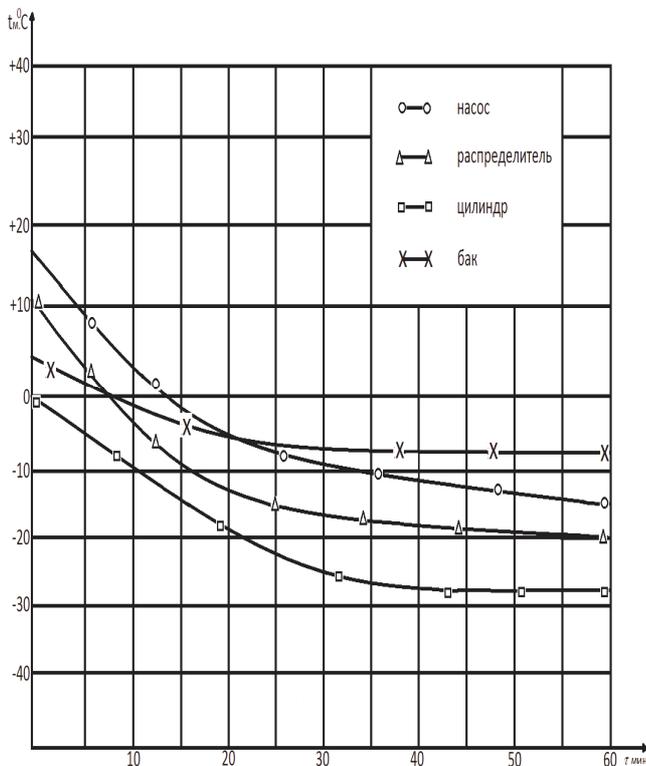


Рис. 5. Зависимость охлаждения узлов и агрегатов экспериментальной гидравлической системы от времени

Для обеспечения повышения надежности и работоспособности гидравлической системы при эксплуатации в условиях отрицательных температур необходимо, чтобы все узлы и агрегаты системы при подготовке механизмов к зимней эксплуатации были покрыты теплоизоляционными материалами, что позволит уменьшить теплоотдачу энергии в окружающую среду. С целью сокращения времени прогрева системы необходимо в основном баке предусмотреть циркуляционный бачок емкостью 10–15 л, в котором должен быть смонтирован теплообменник в виде змеевика.

Проведение этих мероприятий позволит поддерживать тепловой режим гидравлической системы в оптимальных пределах при температуре окружающего воздуха в диапазоне  $0 \dots -50^{\circ}\text{C}$ .

#### Литература

- Афанасенко М.В. Исследование режимов эксплуатации узлов тракторной гидросистемы: дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 1970.
- Башта Т.Н. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем. М.: Машиностроение, 1974
- Вардугин В.Н. Исследование влияния низких температур на показатели работы тракторных гидронасосных систем: дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 1973.
- Кальбус Г.Л. Навесные системы и гидромеханизмы сельскохозяйственных тракторов. Киев: Машгиз, 1964.
- Некрасов Б.Б. Гидравлика и ее применение на летательных аппаратах. М.: Машиностроение, 1967.
- Бурмистров В.А. Основы технической эксплуатации и ремонта машин в лесном комплексе: моногр. Воронеж: ИД «Воронежский университет», 2011. 160 с.
- Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В., Дорохин С.В., Бурмистров В.А. Повышение качества и эффективности технической эксплуатации автотранспортных средств по результатам исследований их эксплуатационной надёжности с применением методов имитационного моделирования: моногр. Воронеж: Истоки, 2013. 356 с.
- Бурмистров В.А. Павлов А.И. Исследование взаимосвязи диагностических признаков различных способов тестового диагностирования РВД // Материалы научно-технической конференции (17-20 апр. 2012 г.): сб. науч. тр. Ухта, 2012. С. 133 – 136.
- Bianchetta D., Freedy A.L., Rhodes S. Hydraulic system having selective simultaneous pressure and flow control (Русский перевод: Гидравлическая система управления). М., 1979. Вып. 60, № 6. Деп. в ВИНТИ 6.60.45.
- Freeze Z.W. Ventilnörding för automatik avstängning av flödet genom att ledningsavsnitt vid i detta upprädante brott eller läckage (Русский перевод: Устройство для автоматического закрывания трубопровода гидросистемы при повреждении). М., 1980. Вып. 60, № 10. Деп. в ВИНТИ 10.60.35.
- Тарко Л.М. Волновые процессы в трубопроводах гидросистем. М.: Машиностроение, 1963. 215 с.
- Тарко Л.М. Переходные процессы в гидравлических механизмах. М.: Машиностроение, 1973. 168 с.
- Bzewez A.F. Lube Tines pumpability Lubzication endd.1957. Vol. 13, № 2. 81 p.
- Stazkman E.S. Pumpability of aizcraft tuzbine Lubzicants at low tempezaruzes. 1956. I-II. Vol. 12, № 1. P. 43-47.

15. Witzig H. Vozzichrung zum vozvazmen des Motozenols an einem Motjz fo hzend. 1972. № 62 13. 406n.

16. Павлов А.И., Надежность гидроприводов лесосечных машин: науч. изд. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2004. 212 с.

17. Павлов А.И. Повышение надежности гидроприводов лесных машин: дис. .... д-ра техн. наук. Йошкар-Ола, 2004. 414 с.

18. Лозовский В.Н. Надежность гидравлических агрегатов. М.: Машиностроение, 1974. 320 с.

19. Любимов В.А., Паллон Ю.Н. О долговечности рукавов гидросистем при ударных нагрузках // Исследование гидравлических приводов тракторов: тр. НАТИ. М.: ЦНИИТЭ-Итракторосельхозмаш, 1974. Вып. 230. С. 7 – 12.

20. Лебедев Н.И. Объемный гидропривод машин лесной промышленности. М.: Лесная промышленность, 1986. 296 с.

#### References

1. Afanasenko M.V. Study of modes of operation of the tractor hydraulic system components: dis. ... kand. tekhn. nauk. Voronezh, 1970.

2. Bashta T.N. Positive displacement pumps and hydraulic motors, hydraulic. М.: Mashinostroenie, 1974.

3. Vardugin V.N. Investigation of the effect of low temperatures on the performance of the tractor Hydraulic systems: dis. ... kand. tekhn. nauk. Chelyabinsk, 1973.

4. Kal'bus G.L. Mounted systems and hydraulic mechanisms of agricultural tractors. Kiev: Mashgiz, 1964.

5. Nekrasov B.B. Hydraulics and its application in aircraft. М.: Mashinostroenie, 1967.

6. Burmistrov V.A. Fundamentals of technical maintenance and repair of machines in the forestry complex: monogr. Voronezh: ID «Voronezhskii universitet», 2011. 160 p.

7. Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Dorokhin S.V., Burmistrov V.A. Improving the quality and efficiency of technical operation of vehicles on the results of studies of their operational reliability with the use of simulation methods: monogr. Voronezh: Istoki, 2013. 356 p.

8. Burmistrov V.A., Pavlov A.I. Study of the interrelationship of diagnostic features different ways to test diagnose RSD // Materialy nauchno-tekhnicheskoi konferentsii (17-20 apr. 2012 g.): sb. nauch. tr. Ukhta, 2012. P. 133-136.

9. Bianchetta D., Freedy A.L., Rhodes S. Hydraulic system having selective simultaneous pressure and flow control (Russkii perevod: Gidravlicheskaya sistema upravleniya). М., 1979. Vyp. 60, № 6. Dep. v VINITI 6.60.45.

10. Freeze Z.W. Ventilanordning för automatik avstängning av flödet genom att ledningsavsnitt vid i detta upprädante brott eller läckage (Russkii perevod: Ustroistvo dlya avtomaticheskogo zakryvaniya truboprovoda gidrosistemy pri povrezhdenii). М., 1980. Vyp. 60, № 10. Dep. v VINITI 10.60.35.

11. Tarko L.M. Wave processes in hydraulic pipes. М.: Mashinostroenie, 1963. 215 p.

12. Tarko L.M. Transients in hydraulic mechanisms. М.: Mashinostroenie, 1973. 168 p.

13. Bzewez A.F. Lube Tines pumpability Lubzication endd.1957. Vol. 13, № 2. 81 p.

14. Stazkman E.S. Pumpability of aizczaft tuzbine Lubzicants at low tempezaruzes. 1956. I-II.Vol. 12, № 1. P. 43-47.

15. Witzig H. Vozzichrung zum vozvazmen des Motozenols an einem Motjz fo hzend. 1972. № 62 13. 406n.

16. Pavlov A.I. The reliability of hydraulic drives of harvesting machines: науч. изд. Ioshkar-Ola: MarGTU, 2004. 212 p.

17. Павлов А.И. Improving the reliability of hydraulic drives of forest machines: dis. .... д-ра техн. наук. Ioshkar-Ola, 2004. 414 p.

18. Lozovskii V.N. The reliability of hydraulic aggregates. М.: Mashinostroenie, 1974. 320 p.

19. Lyubimov V.A., Pallon Yu.N. About longevity hydraulic hoses under shock loads // Issledovanie gidravlicheskih privodov traktorov: tr. NATI. М.: TsNIITEItraktorosel'khovmash, 1974. Vyp. 230. P. 7-12.

20. Lebedev N.I. Volume hydraulic machines for the wood industry. М.: Lesnaya promyshlennost', 1986. 296 p.