

# ТЕХНОЛОГИИ, СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

DOI

УДК 62-585.13

## ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ РАЗРЯДКИ ГИДРОАККУМУЛЯТОРА НА ПРОЦЕСС ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧ В КОРОБКАХ ПЕРЕДАЧ С ГИДРОУПРАВЛЕНИЕМ

**Володько Олег Станиславович**, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Тракторы и автомобили», ФГБОУ ВО Самарский ГАУ.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: tia\_sci\_ssaa@mail.ru

**Быченин Александр Павлович**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Тракторы и автомобили», ФГБОУ ВО Самарский ГАУ.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: tia\_sci\_ssaa@mail.ru

**Черников Олег Николаевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Тракторы и автомобили», ФГБОУ ВО Самарский ГАУ.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: tia\_sci\_ssaa@mail.ru

**Ключевые слова:** передача, переключение, время, гидроаккумулятор, давление.

*Цель исследования – обеспечить снижение времени буксования гидроджимных муфт оптимизацией давления разрядки гидроаккумулятора. При эксплуатации тракторов с гидромеханическими коробками передач при нагрузках, близких к номинальным, возникает проблема пробуксовывания фрикционных муфт при переключении передач без разрыва потока мощности. Существует актуальная научная проблема снижения буксования гидромеханических передач при эксплуатации энергонасыщенных тракторов. Приведены теоретические предпосылки повышения ресурса фрикционных за счет снижения буксования при уменьшении длительности процесса переключения передачи, обосновано влияние давления масла в бустере выключаемой передачи. Приведены методика и результаты исследования процесса переключения передач в коробке передач трактора «Кировец» при использовании штатного гидроаккумулятора и гидроаккумулятора постоянного давления разрядки. Исследовался процесс переключения передач на новой коробке со штатным гидроаккумулятором, на изношенной до предельного состояния коробке со штатным гидроаккумулятором и на новой коробке передач с гидроаккумулятором постоянного давления разрядки. Установлено, что при работе новой коробки передач со штатным гидроаккумулятором давление разрядки на 0,2 МПа превышает оптимальное значение, что приводит к увеличению длительности процесса переключения с 0,91...0,92 с при давлении 0,45...0,46 МПа до 1,39...1,40 с при давлении 0,65...0,66 МПа. Установка на новой коробке передач гидроаккумулятора постоянного давления разрядки позволяет снизить давление разрядки до величины 0,48...0,49 МПа, что приводит к уменьшению длительности процесса переключения передач до 1,03...1,04 с, что всего на 4,2...6,6% превышает оптимальное значение. Даны рекомендации по оптимизации процесса переключения передач в коробке передач трактора «Кировец».*

## PRESSURE ACCUMULATOR DISCHARGE EFFECT ON GEAR SHIFT WITH HYDRAULIC CONTROL BOX

**O. S. Volodko**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Tractors and automobiles», FSBEI HE Samara SAU.

446442, Samara region, settlement Ust-Kinelsky, Uchebnaya street, 2.

E-mail: tia\_sci\_ssaa@mail.ru

**A. P. Bychenin**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Tractors and automobiles», FSBEI HE Samara SAU.

446442, Samara region, settlement Ust-Kinelsky, Uchebnaya street, 2.

E-mail: tia\_sci\_ssaa@mail.ru

**O. N. Chernikov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Tractors and automobiles», FSBEI HE Samara SAU.

446442, Samara region, settlement Ust-Kinelsky, Uchebnaya street, 2.

E-mail: tia\_sci\_ssaa@mail.ru

**Keywords:** transmission, switching, time, hydraulic accumulator, pressure.

The purpose of the study is the reduction of the time of hydraulic couplings slipping by optimization of hydraulic accumulator discharge pressure. When operating tractors with hydroshift transmission at loads close to the nominal values, there is a problem of slipping of the friction coupling during gear shift without interruption in torque delivery. There is a critical scientific problem of reducing the slipping of hydroshift transmission during the operation of major tractors. Theoretical prerequisites for increasing friction force due to the reduction of slipping via the reduction of gear shift time and influence of oil pressure in the booster of the released drive are justified. Procedure and results of study of gear shift in transmission of tractor «Kirovets» with the use of both standard and constant discharge pressure hydraulic accumulators are given. The process of gear shift was investigated on the new gearbox with standard hydraulic accumulator, on the box with standard hydraulic accumulator worn to the limit provided, and on the new gearbox with constant discharge pressure hydraulic accumulator. It has been established that during operation of a new transmission with standard hydraulic accumulator the 0.2MPa discharge pressure exceeds the optimal value, which leads to an increase in the duration of the shift from 0.915...0.920 s at a pressure of 0.45...0.46 MPa to 1.395...1.04 s at a pressure of 0.65...0.66 MPa. The installation of a constant discharge pressure hydraulic accumulator on the new transmission reduces the discharge pressure to 0.48...0.49 MPa, which reduces the gear shift process to 1.034...1.040 s, that is only 4.2...6.6% higher than the optimal value. Recommendations are given to optimize the gear shift process in the transmission of the «Kirovets» tractor.

В настоящее время во всем мире и в Российской Федерации в производстве продуктов растениеводства широко применяются средства механизации, в частности, тракторная техника. Значительную долю в тракторном парке составляют энергонасыщенные тракторы, трансмиссия которых позволяет осуществлять переключение передач без разрыва потока мощности, включающие автоматические (гидродинамические или гидрообъемные) или гидромеханические коробки передач. Примером таких тракторов могут послужить отдельные модели таких производителей, как John Deere, Fendt, Massey-Ferguson, «Ростсельмаш», но наиболее распространенными в условиях Самарской области являются энергонасыщенные тракторы семейства «Кировец» производства Петербургского тракторного завода. При эксплуатации тракторов с гидромеханическими коробками передач при нагрузках, близких к номинальным, возникает проблема пробуксовывания фрикционных муфт при переключении передач без разрыва потока мощности [1]. Данный процесс способствует потерям полезной мощности, что ведет к увеличению эксплуатационных затрат при повышении погектарного расхода топлива, а также снижению срока службы ресурсопределяющих сопряжений, в данном случае, пар трения «ведущий диск – ведомый диск» фрикционных коробки передач, за счет более интенсивного изнашивания трущихся поверхностей [2, 3, 4, 5]. В связи с этим существует актуальная научная проблема снижения буксования гидромеханических передач при эксплуатации энергонасыщенных тракторов в условиях сельхозпроизводителя.

**Цель исследований** – обеспечить снижение времени буксования гидроподжимных муфт оптимизацией давления разрядки гидроаккумулятора.

**Задачи исследований** – теоретически обосновать влияние давления разрядки гидроаккумулятора на скорость изнашивания фрикциона при переключении передач; экспериментально оценить влияние давления разрядки гидроаккумулятора на время буксования фрикционных; дать рекомендации по оптимизации процесса переключения передач в коробках передач энергонасыщенных тракторов семейства «Кировец».

**Материал и методы исследований.** Для решения первой задачи был проведен теоретический анализ влияния момента трения во фрикционе при переключении передач на параметры буксования фрикциона. Известно, что для оценки параметров буксования фрикционной муфты используется такой показатель, как коэффициент запаса фрикциона  $\beta$ :

$$\beta = \frac{M_{\phi}}{M_c}, \quad (1)$$

где  $M_{\phi}$  – крутящий момент, передаваемый фрикционом, Н·м;  
 $M_c$  – момент сопротивления, приведенный к валу фрикциона, Н·м.

Коэффициент запаса фрикциона оказывает существенное влияние на динамические свойства трактора в целом, а также на нагруженность и ресурс элементов трансмиссии, в частности, фрикционные муфты с гидроуправлением. По данным Петербургского тракторного завода [6], предельные значения коэффициента  $\beta$  для трактора, находящегося в эксплуатации, лежат в пределах 1,7...2,0. Именно при таких параметрах фрикциона будет обеспечиваться оптимальное время перекрытия фрикционов во включаемой и отключаемой передачах, которое составляет 0,35...0,45 с.

По данным того же завода-производителя, такое время перекрытия выдерживается при давлении разрядки гидроаккумулятора 0,45 МПа, которое является минимальным предельным давлением для переключения передач без разрыва потока мощности для коробок передач тракторов семейства «Кировец». На практике же, с учетом постепенного изнашивания элементов гидросистемы коробки передач, для поддержания коэффициента  $\beta$  в рекомендуемых пределах в течение всего времени эксплуатации трактора до капитального ремонта, давление разрядки гидроаккумулятора устанавливается производителем на уровне 0,60...0,65 МПа, что на новом тракторе, или тракторе, выработавшем ресурс частично, приводит к увеличению удельной работы и удельной максимальной мощности буксования при переключении передач, что, в свою очередь, влияет на топливную экономичность и долговечность энергетического средства. По литературным источникам [7] известна взаимосвязь между ресурсом фрикционной муфты  $T_p$  и параметрами ее трибологической системы:

$$T_p = \frac{I_{\text{доп}}}{U \cdot n_{\text{перекл}}}, \text{ мото}\cdot\text{ч}, \quad (2)$$

где  $I_{\text{доп}}$  – допустимый предельный износ пакета дисков фрикциона, мм;  
 $U$  – скорость изнашивания пакета дисков за одно переключение, мм/перекл.;  
 $n_{\text{перекл}}$  – среднестатистическое количество переключений за один мото·ч, шт.

В свою очередь, скорость изнашивания пакета дисков описывается выражением:

$$U = a_1 \cdot A_{y\phi} + a_2 \cdot N_{y\phi} + a_3 \cdot A_{y\phi}^2 + a_4 \cdot N_{y\phi}^2, \text{ мм/перекл.}, \quad (3)$$

где  $A_{y\phi}$  – удельная работа буксования, Н·м/см<sup>2</sup>;  
 $N_{y\phi}$  – удельная максимальная мощность буксования, Н·м/(с·см<sup>2</sup>);  
 $a_1...a_4$  – эмпирические коэффициенты, определяемые экспериментально.

Из формулы (3) видно, что скорость изнашивания фрикциона зависит и от удельной работы буксования, и от удельной максимальной мощности буксования. Данные показатели в свою очередь являются функциями момента трения во фрикционе [7]:

$$A_{y\phi} = f(t_{\phi}; M_{\phi mp}), \quad (4)$$

$$N_{y\phi} = f(M_{\phi mp}), \quad (5)$$

где  $t_{\phi}$  – длительность буксования фрикционов при переключении передач, с;  
 $M_{\phi mp}$  – момент трения буксующего фрикциона, Н·м.

Момент трения буксующего фрикциона можно определить по формуле [7]:

$$M_{\phi mp} = \mu \cdot R_{cp} \cdot z \cdot (p \cdot S_{\phi} - P_{np} + P_{ц\phi}), \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (6)$$

где  $\mu$  – динамический коэффициент трения фрикционной пары;  
 $R_{cp}$  – средний радиус дисков трения, м;

$z$  – количество пар трения в муфте, шт.;  
 $p$  – давление масла в бустере фрикциона, МПа;  
 $S_b$  – площадь бустера, м<sup>2</sup>;  
 $P_{пр}$  – сила упругости пружин, Н;  
 $P_{цб}$  – осевая сила, сжимающая диски фрикциона, Н.

Таким образом, можно заключить, что, согласно формуле (6), момент трения в буксующем фрикционе зависит от давления масла в бустере, которое для выключаемой передачи будет определяться давлением разрядки гидроаккумулятора. Следовательно, давление разрядки гидроаккумулятора является определяющим фактором, от которого зависит величина удельной работы и удельной мощности буксования (и, как результат, скорость изнашивания фрикционов), а также длительность буксования фрикционов при переключении передач, которая также оказывает влияние на скорость изнашивания фрикционных дисков. Следовательно, оптимизация давления разрядки гидроаккумулятора позволит оптимизировать условия работы пар трения фрикциона для повышения его ресурса. Для оптимизации давления разрядки рационально использовать гидроаккумулятор постоянного давления разрядки [7].

Для решения второй и третьей задач были проведены стендовые испытания коробки передач трактора «Кировец», оснащенной предлагаемым гидроаккумулятором постоянного давления разрядки. Испытания проводились на стендовой установке (рис. 1), оснащенной новой коробкой передач трактора типа «Кировец».

Испытания заключались в переключении с первой передачи (выключаемый фрикцион) на вторую (включаемый фрикцион) при частоте вращения якоря электродвигателя электробалансирной машины 2, равной 1900 мин<sup>-1</sup> (соответствует номинальной частоте вращения коленчатого вала двигателя трактора «Кировец»), и температуре масла в гидросистеме коробки передач 90...95°C (соответствует максимально допустимой температуре при эксплуатации трактора).

Фиксировалось давление масла в бустерах выключаемого и подключаемого фрикционов, а также строились графики изменения давления от времени. Каждое испытание проводилось с трехкратной повторностью. Техническое состояние коробки передач имитировалось при помощи пробок с отверстиями диаметром 3,2 мм (обеспечивалось давление в гидросистеме 0,85 МПа, что соответствует лимитированному минимальному давлению, при котором возможно осуществление процесса переключения передач, при предельном износе деталей коробки передач), вкрученных в отверстия А и Б, или глухих пробок (соответствует техническому состоянию новой коробки передач). Проводились испытания трех режимов работы: новая коробка передач со штатным гидроаккумулятором; новая коробка передач с гидроаккумулятором постоянного давления разрядки; предельно изношенная коробка передач со штатным гидроаккумулятором.

Для решения четвертой задачи был проведен анализ полученных графических зависимостей давления масла в бустерах выключаемого и подключаемого фрикционов при использовании штатного и экспериментального гидроаккумуляторов.

**Результаты исследований.** Результаты оценки эффективности процесса переключения передач в коробке передач трактора «Кировец» приведены на рисунке 2. Анализируя представленную графическую зависимость, нужно отметить следующее. Когда процесс переключения передач не осуществляется (линия *n-a* кривых 1, 2 и 4, рис. 2), давление в бустере выключаемой передачи не зависит от технического состояния коробки передач (линии для всех трех случаев совпадают), так как в гидросистеме присутствует редукционный клапан, а высокая производительность штатного масляного насоса позволяет создавать избыточное давление масла. Аналогично давление в бустере включающей передачи (линия *k-m* кривой 3) также не зависит от технического состояния гидросистемы коробки передач.

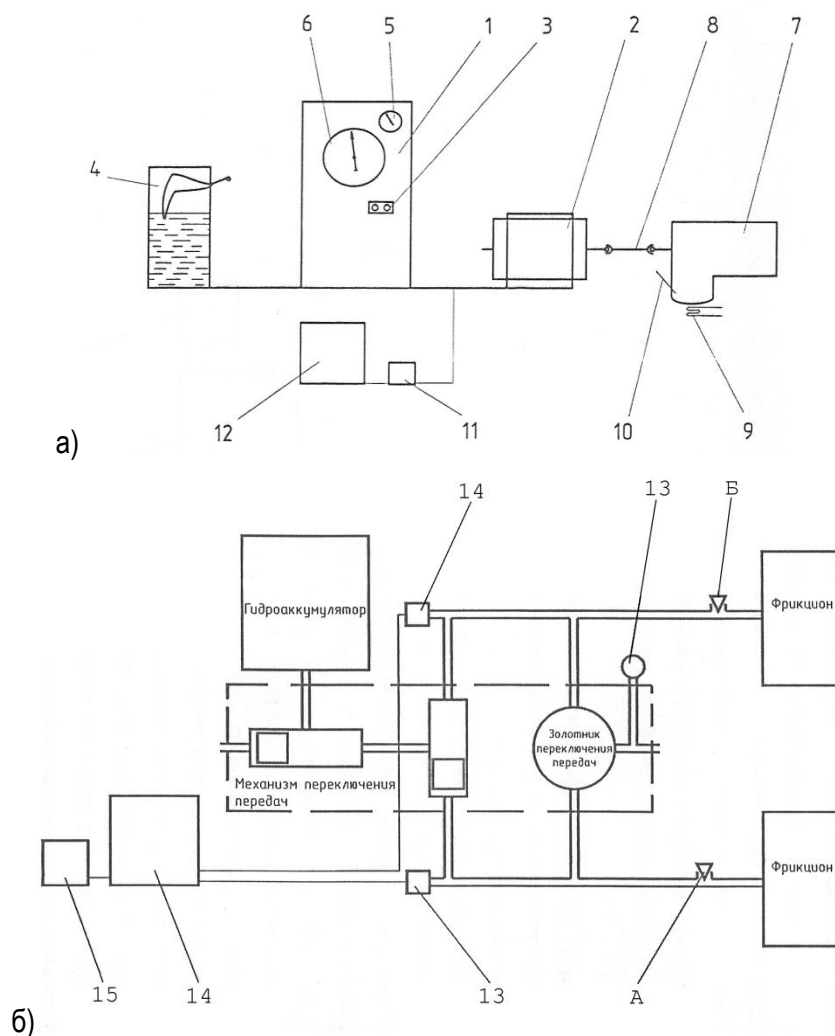


Рис. 1. Стендовая установка:

а – схема стендовой установки; б – схема включения измерительной аппаратуры в гидравлическую систему коробки передач; 1 – пульт управления; 2 – электробалансирная машина АКБ-92-4; 3 – кнопки включения и выключения электродвигателя; 4 – реостат; 5 – тахометр ТЭ-204; 6 – весовой механизм; 7 – коробка передач трактора «Кировец»; 8 – карданная передача; 9 – ТЭН; 10 – термометр; 11 – самописец НЗ95; 12 – трансформатор УТТ-5М; 13 – манометр МОШ1-100; 14 – датчик давления ДТМ-10; 15 – блок питания постоянного тока ИСНУ; А, Б – сверления

На начальном этапе процесса переключения давление в бустере выключаемого фрикциона резко падает (участки  $a-b$  кривой 2,  $a-b'$  кривой 1 и  $a-b''$  кривой 4). Как видно из графика, наибольшее падение соответствует предельно изношенному состоянию коробки передач, наименьшее – новой коробке передач со стандартным гидроаккумулятором. Далее давление в бустере выключаемого фрикциона поддерживается гидроаккумулятором (участки  $b-c$  кривой 2,  $b'-c'$  кривой 1 и  $b''-c''$  кривой 4). В точке  $c$  ( $c'$  и  $c''$ ) происходит выравнивание давлений в бустерах выключаемой и подключаемой передач, что соответствует моменту взаимодействия переключаемых фрикционов, когда крутящий момент от трансмиссии, передаваемый на движители от фрикциона выключаемой передачи, выравнивается с крутящим моментом, передаваемым на движители от подключаемой передачи.

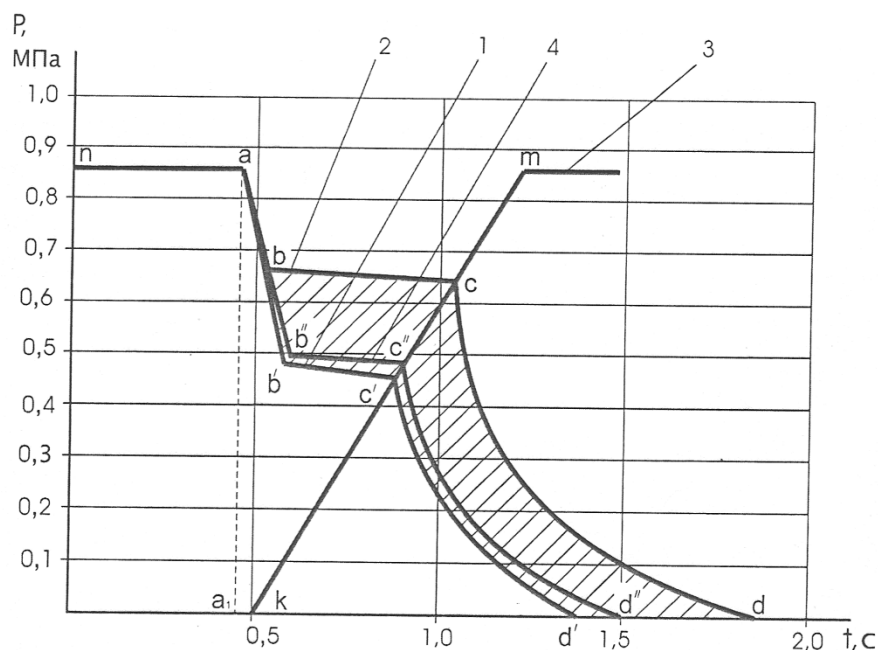


Рис. 2. Графики изменения во времени давления масла в бустерах выключаемого и включаемого фрикционов:

- 1 – изменение давления в бустере выключаемого фрикциона коробки передач, требующей капитального ремонта;
- 2 – изменение давления в бустере выключаемого фрикциона новой коробки передач со стандартным гидроаккумулятором;
- 3 – изменение давления в бустере включаемого фрикциона;
- 4 – изменение давления в бустере выключаемого фрикциона новой коробки передач с экспериментальным гидроаккумулятором

Далее давление в бустере выключаемой передачи падает в соответствии с линией  $c-d$  кривой 2 ( $c'-d'$  кривой 1 и  $c''-d''$  кривой 4). В точке  $d$  ( $d'$  и  $d''$ ) процесс переключения передач, а следовательно, и буксование ведущих и ведомых дисков, завершаются. Таким образом, длительность процесса переключения передач определяется длиной отрезка  $a_1-d$  для новой коробки передач со штатным гидроаккумулятором (кривая 2), и составляет 1,39...1,40 с. Для коробки передач в предельно изношенном состоянии время переключения составляет 0,91...0,92 с, а для новой коробки передач, оборудованной гидроаккумулятором постоянного давления разрядки, время переключения составляет 1,03...1,04 с. Давление разрядки штатного гидроаккумулятора для новой коробки передач составило 0,65...0,66 МПа и существенно (на 0,2 МПа) превысило оптимальное давление, при котором возможно осуществление переключения передач без разрыва потока мощности. Для новой коробки передач, оснащенной гидроаккумулятором постоянного давления разрядки, эта величина составила 0,48...0,49 МПа, что превышает оптимальное значение на 4,2...6,6% (против 43,5...44,4% для штатного гидроаккумулятора).

Таким образом, можно утверждать, что в соответствии с предложенной зависимостью скорости изнашивания ведущих и ведомых дисков фрикционов от удельных работы и мощности буксования (формула (3)), использование гидроаккумулятора постоянного давления разрядки позволит повысить ресурс фрикционов коробки передач трактора «Кировец».

**Заключение.** Установлено, что на ресурс фрикционов коробки передач трактора «Кировец» существенное влияние оказывает длительность процесса переключения передач, которая определяется величиной давления масла в бустерах выключаемого и подключаемого фрикционов. При работе новой коробки передач со штатным гидроаккумулятором давление разрядки на 0,2 МПа превышает оптимальное значение, что приводит к увеличению длительности процесса переключения с 0,91...0,92 с при давлении 0,45...0,46 МПа до 1,39...1,40 с при давлении 0,65...0,66 МПа. Установка на новой коробке передач гидроаккумулятора постоянного давления разрядки позволяет снизить давление разрядки до величины 0,48...0,49 МПа, что приводит к уменьшению длительности процесса переключения передач до 1,03...1,04 с, что всего на 4,2...6,6% превышает оптимальное

значение. Данный режим работы гидроаккумулятора является наиболее рациональным, так как позволяет повысить эффективность процесса переключения передач и ресурс фрикционов, и рекомендуется для использования в коробках передач тракторов «Кировец».

#### Библиографический список

1. Шарипов, В. М. Потери на трение в коробках передач автомобилей и тракторов с гидropоджимными фрикционными муфтами / В. М. Шарипов, Н. А. Щельцын, В. А. Крючков // Евразийское научное объединение. – 2016. – Т. 1, №6 (18). – С. 15-19.
2. Карпиевич, Ю. Д. Работа трения как интегральный показатель степени износа фрикционных дисков гидropоджимных муфт коробок передач / Ю. Д. Карпиевич, В. Б. Ловскис, И. И. Бондаренко // Наука и техника. – 2014. – №2. – С. 32-35.
3. Карташевич, А. Н. Прогнозирование остаточного ресурса гидropоджимных фрикционных муфт тракторных коробок передач / А. Н. Карташевич, А. А. Рудашко, Р. В. Понталев, А. Ф. Скадорва // Агропанорама. – 2010. – № 3. – С. 33-35.
4. Володько, О. С. Трибологические методы повышения ресурса фрикционных передач тракторных трансмиссий / О. С. Володько, М. С. Приказчиков // Актуальные проблемы трибологии : материалы научной конференции. – Самара : Самарский государственный технологический университет, 2015. – С. 39-41.
5. Приказчиков, М. С. Оценка влияния режима трения фрикционных дисков на ресурс гидropоджимных муфт / М. С. Приказчиков // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – №3. – С. 57-62.
6. Шувалов, Е. А. Повышение работоспособности трансмиссий тракторов / Е. А. Шувалов. – Л. : Машиностроение, 1986. – 126 с.
7. Петин, С. В. Повышение ресурса гидромеханических коробок передач улучшением трибологических параметров работы фрикционов : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Петин Сергей Викторович. – Самара, 2004. – С. 166.

#### References

1. Sharipov, V. M., Shcheltsy, N. A., & Kryuchkov, V. A. (2016). Poteri na trenie v korobkakh peredach avtomobilei i traktorov s gidropodzhimnymi frikcionnymi muftami [Friction Losses in gearboxes of cars and tractors with hydraulic friction clutches]. *Evrazijskoe nauchnoe obiedinenie – Eurasian scientific Association*, 1, 6 (18), 15-19 [in Russian].
2. Karpievich, Yu. D., Lovskis, V. B., & Bondarenko, I. I. (2014). Rabota treniia kak integralinii pokazatel stepeni iznosa frikcionnikh diskov gidro-podzhimnikh muft korobok peredach [The work of friction as an integral indicator of the degree of wear of friction discs of hydraulic compression couplings of gearboxes]. *Nauka i tekhnika – Science and technology*, 2, 32-35 [in Russian].
3. Kartashevich, A. N., Rudashko, A. A., Pontalev, R. V., & Skadorva, A. F. (2010). Prognozirovanie ostatochnogo resursa gidropodzhimnikh frikcionnikh muft traktornikh korobok peredach [Predicting the residual resource of hydraulic friction clutches of tractor transmissions]. *Agropanorama – Agropanorama*, 3, 33-35 [in Russian].
4. Volodko, O. S., & Prikazchikov, M. S. (2015). Tribologicheskie metodi povisheniia resursa frikcionnikh peredach traktornikh transmissii [Tribological methods of increasing the resource of friction gears of tractor transmissions]. *Actual problems of tribology '15: materiali nauchnoi konferencii – proceedings of the scientific conference*. (pp. 39-41). Samara [in Russian].
5. Prikazchikov, M. S. (2014). Ocenka vliianiia rezhima treniia frikcionnikh diskov na resurs gidropodzhimnikh muft [Evaluation of the influence of the friction mode of friction disks on the hydraulic compression couplings]. *Izvestiia Samarskoi Gosudarstvennoi Selskokhoziaistvennoi Akademii – Bulletin Samara state agricultural academy*, 3, 57-62 [in Russian].
6. Shuvalov, E. A. (1986). Povishenie rabotosposobnosti transmissii i traktorov [Improving the performance of tractor transmissions]. Leningrad: Mashinostroenie [in Russian].
7. Petin, S. V. (2004). Povishenie resursa gidromekhanicheskikh korobok peredach uluchsheniem tribologicheskikh parametrov raboti frikcionov [Increasing the resource of hydro-mechanical gearboxes by improving the tribological parameters of the friction operation]. Candidate's thesis. Samara [in Russian].