

# ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ, РАБОТАЮЩИХ С УПРУГОДЕМПФИРУЮЩИМИ ПРИВОДАМИ ВЕДУЩИХ КОЛЕС

## EFFICIENCY OF USE OF MACHINE AND TRACTOR UNITS OPERATING WITH ELASTIC DAMPING DRIVES OF DRIVING WHEELS

**О.И. ПОЛИВАЕВ**, д.т.н.  
**С.Н. ПИЛЯЕВ**, к.т.н.  
**Д.Б. БОЛОТОВ**

Воронежский государственный аграрный университет  
имени императора Петра I, Воронеж, Россия,  
BDB1998@ya.ru

**O.I. POLIVAЕV**, DSc in Engineering  
**S.N. PILYAEV**, PhD in Technology  
**D.B. BOLOTOV**

Voronezh State Agrarian University n.a. Emperor Peter the Great,  
Voronezh, Russia, BDB1998@ya.ru

В настоящее время в сельском хозяйстве актуальным направлением является наращивание объемов производства продукции. Для этого необходимо иметь мощные энергетические средства, работающие на высоких скоростных режимах. Однако при этом возникают повышенные колебания в трансмиссии трактора, которые передаются от почвы. Эти колебания негативно влияют на узлы и агрегаты мобильного энергетического средства, приводят к росту расхода топливо-смазочных материалов, ухудшению плавности хода, а также оказывают отрицательное воздействие на здоровье оператора транспортного средства. По этой причине необходимо совершенствовать конструкцию современных мобильных энергетических средств.

Анализ работ по этой тематике показал, что наиболее эффективным способом защиты от динамических нагрузок со стороны внешних воздействий является установка упругих элементов в конечном звене трансмиссии. В работе проанализированы различные конструкции упругодемпфирующих приводов (УДП). Была предложена конструкция УДП ведущих колес (патент на полезную модель РФ № 203460). Предлагаемый лопастной УДП жестко закреплен на диске колеса и имеет две полости. Полость прямого хода соединена с двумя газогидравлическими аккумуляторами, один из которых имеет регулируемый дроссель, а вторая полость, обратного хода, соединена с одним газогидравлическим аккумулятором. Обе полости демпфера заполнены магнитно-реологической жидкостью, вязкость которой изменяется электромагнитными катушками, в зависимости от изменений колебаний момента на полуосях. Приводы были установлены на трактор МТЗ-80.1. Исследования проведены в составе транспортного и пахотного агрегатов. При работе с транспортным агрегатом по грунтовой дороге за счет УДП снижается буксование движителей и повышается скорость движения на 6–9 %. При работе трактора на пахоте, буксование движителей снижается на 10–16 %, а скорость движения повышается на 7–12 %. Это повышает производительность тракторного агрегата на 6–12 %.

**Ключевые слова:** упругодемпфирующий привод, колебания, ведущее колесо, машинно-тракторный агрегат.

**Для цитирования:** Поливаев О.И., Пиляев С.Н., Болотов Д.Б. Эффективность использования машинно-тракторных агрегатов, работающих с упругодемпфирующими приводами ведущих колес // Тракторы и сельхозмашины. 2021. № 6. С. 76–81. DOI: 10.17816/0321-4443-2021-6-76-81

Nowadays an urgent direction in agriculture is the issue of increasing the volume of production. In order to do this, it is necessary to have powerful energy facilities operating at high speed modes. But at the same time, the increased vibrations appear in the tractor transmission, which are transmitted from the soil. These fluctuations negatively affect the units and assemblies of the mobile power plant, lead to an increase in the consumption of fuel and lubricants, a deterioration in the ride smoothness, and also have a negative effect on the health of the vehicle operator. For this reason, it is necessary to improve the design of modern mobile power tools.

Analysis of works on this topic has shown that the most effective way to protect against dynamic loads from external influences is the setting of elastic elements in the final link of the transmission. The paper analyzes various designs of elastic damping drives (EDD). The design of the EDD of driving wheels was proposed (utility model patent of the Russian Federation No. 203460). The proposed blade EDD is rigidly fixed on the wheel disk and has two cavities. The forward stroke cavity is connected to two gas-hydraulic accumulators, one of which has an adjustable throttle, and the second cavity of the return stroke is connected to one gas-hydraulic accumulator. Both cavities of the damper are filled with a magneto-rheological fluid, which viscosity changes by electromagnetic coils, depending on changes in the oscillations of the moment on the semi-axes. The drives were installed on the MTZ-80.1 tractor. The studies were carried out as part of transport and arable units. When working with a transport unit on a dirt road due to the

EDD the slipping of the propellers is reduced and the speed of movement is increased by 6–9 %. When the tractor is plowing, the skidding of the propellers is reduced by 10–16 %, and the speed of movement is increased by 7–12 %. This increases the productivity of the tractor unit by 6–12 %.

**Keywords:** elastically damping drive, fluctuations, driving wheel, machine and tractor unit.

**Cite as:** Polivayev O.I., Pilyayev S.N., Bolotov D.B. Efficiency of use of machine and tractor units operating with elastic damping drives of driving wheels. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2021. No 6, pp. 76–81 (in Russ.). DOI: 10.17816/0321-4443-2021-6-76-81

## Введение

Повышение скорости движения и мощности тракторных агрегатов вызывает повышенную динамическую нагруженность на детали трансмиссии и почву. Следовательно, повысить производительность тракторных агрегатов возможно за счет снижения динамических нагрузок на трансмиссию, двигатель и почву [1, 2].

Для этой цели в конечное звено трансмиссии вводят упругодемпфирующие приводы (УДП) ведущих колес. Однако крутящий момент на полуосях тракторов достигает 10000 Нм и более. Поэтому УДП должны быть надежными, удобными в обслуживании, обладать малой металлоемкостью и эффективно гасить колебания крутящего момента в трансмиссии [3].

Анализ литературы и существующих конструкций упругих приводов показал, что наиболее эффективной является регрессивно-прогрессивная характеристика, имеющая большую жесткость при высоких нагрузках и запас потенциальной энергии при работе с незначительными нагрузками (рис. 1) [4–6].

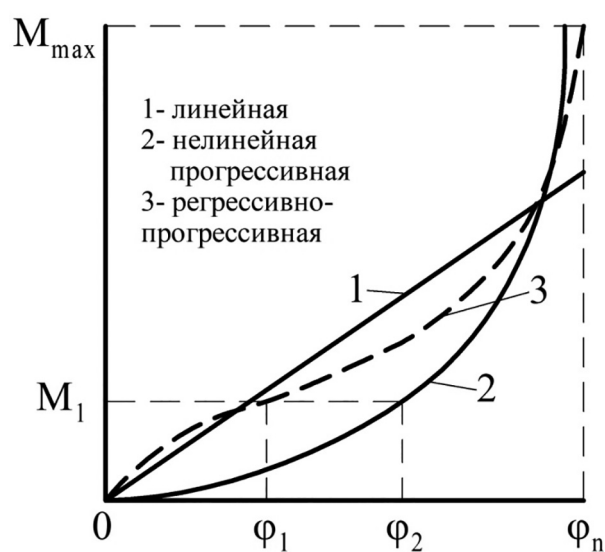


Рис. 1. Характеристики упругодемпфирующих приводов

Fig. 1. Characteristics of elastic damping drives

Нами были проведены испытания различных УДП, изготовленных на Липецком тракторном заводе. На рис. 2 показан упругий привод, установленный в конечной передаче трактора ЛТЗ-55А (а.с. № 1391977).

Привод состоит из ступицы 3 и зубчатого венца 1, между которыми установлены упругие элементы 2, 4 и 5 (рис. 2). Зубчатый венец 1 за счет сжатия упругих элементов 2, 4 и 5 поворачивается относительно ступицы. Это обеспечивает нелинейную характеристику, обладающую широким диапазоном изменения жесткости и демпфирования, что позволяет сместить область резонансных частот в нерабочую зону, а колебания сгладить.

Еще одним анализируемым УДП является привод, представленный на рис. 3 (пат. РФ № 1602770).

Привод включает внутренний и наружный трубчатые элементы со сквозными отверстиями, внутри которых установлены упругие элементы 2, 3 и 4. Во время движения трактора ступица 5 поворачивается относительно

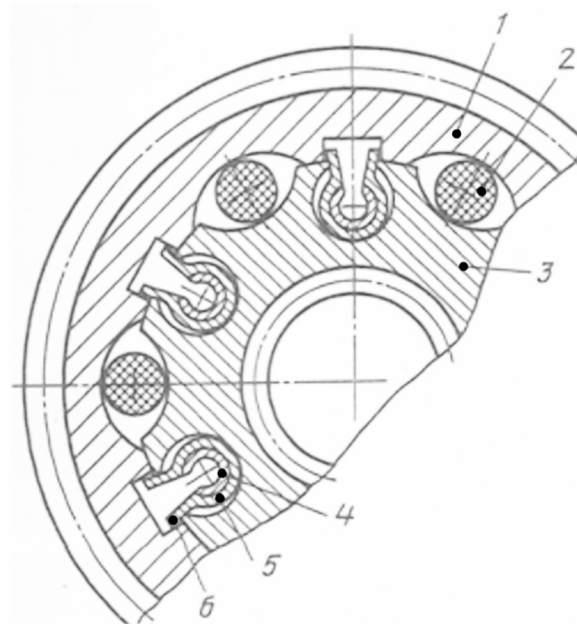


Рис. 2. Упругий привод трактора ЛТЗ-55А

Fig. 2. The elastic drive of LTZ-55A tractor

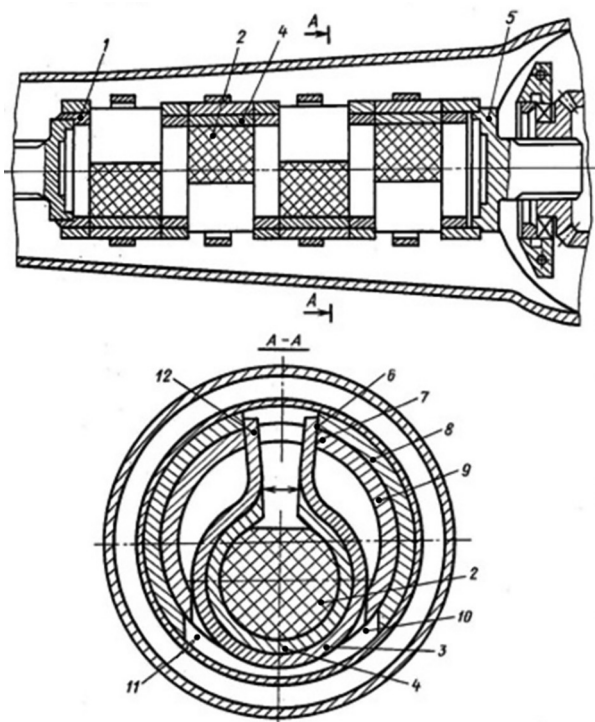


Рис. 3. УДП в полусях трактора ЛТЗ-155

Fig. 3. EDD in the axle shafts of the tractor LTZ-155

ступицы полуоси 1, что приводит к сжатию упругих элементов 2, 3 и 4. Возникающие колебания со стороны движителей сглаживаются упругими элементами, а при ударных нагрузках в работу вступают опорные концы 12 пружин 3, которые воспринимают значительные перегрузки. Это снижает динамическую нагруженность трансмиссии и двигателя.

Данные приводы (рис. 2, 3) были изготовлены на Липецком тракторном заводе и прошли государственные испытания. Опытное внедрение на тракторах Липецкого тракторного завода показало их эффективность. У тракторов ЛТЗ-55А и ЛТЗ-155 с упругими приводами повышается производительность и снижается расход топлива на 5–9 % [2].

Недостатком данных конструкций является ограниченный динамический диапазон регулирования упругодемпфирующих свойств приводов, кроме того они не могут мгновенно реагировать на колебания, которые передаются на ведущие колеса со стороны внешних воздействий. Это снижает эксплуатационные возможности тракторного агрегата.

### Цель исследований

Улучшение эксплуатационных характеристик машинно-тракторного агрегата путем

оптимального регулирования упругодемпфирующих свойств привода во всех тягово-скоростных диапазонах его работы.

### Материалы и методы

В основу проведения исследований был принят ГОСТ 7057–2001 «Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний» и ГОСТ 30745–2001 «Тракторы сельскохозяйственные. Методы определения тяговых показателей». В качестве объекта сравнительных исследований был выбран трактор МТЗ 80.1 с прицепом 2ПТС-4,5, а также в составе пахотного агрегата с плугом ПЛН 3-35 (рис. 4, 5).



Рис. 4. Объект испытаний – трактор МТЗ 80.1 с прицепом 2 ПТС-4

Fig. 4. Test object – tractor MTZ 80.1 with trailer 2 PTS-4



Рис. 5. Объект испытаний – трактор МТЗ 80.1 с плугом ПЛН 3-35

Fig. 5. Test object – tractor MTZ 80.1 with plow PLN 3-35

Для проведения испытаний была изготовлена ступица 1 с лопастным приводом, установленным на диске ведущего колеса, и газогидравлические аккумуляторы 2. Кроме того была изготовлена тензорамка, установленная на ведущих полуосях, для снятия колебаний крутящего момента при работе трактора. Сигнал с тензорамки подается через токосъемник 3 на электронный блок управления и далее на электромагнитные катушки и регулируемые дроссели (рис. 6, 7).

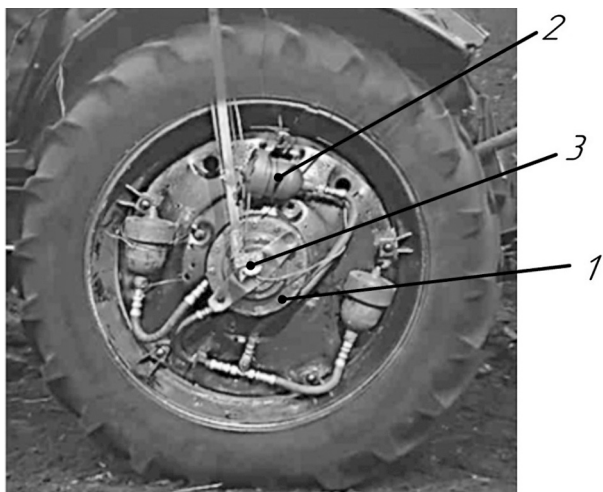


Рис. 6. Опытный привод на ведущих колесах трактора МТЗ 80.1

Fig. 6. The experimental drive on the driving wheels of the MTZ 80.1 tractor

Схема подключения оборудования, которое использовалось при проведении испытаний трактора МТЗ 80.1 с установленным опытным приводом на ведущих колесах, представлена на рис. 8.

### Результаты и обсуждение

Схема испытуемого УДП с газогидравлическими аккумуляторами представлена на рис. 9 [7].

Привод включает диск ведущего колеса 1, ступицу демпфера 2, установленную подвижно на оси 3, внутри которой, на этой же полуоси, жестко установлена лопасть 6, которая упирается в упор 7 ступицы 2. Лопасть 6 делит ступицу на две полости 4 и 5. В упор демпфера вмонтированы электромагнитные катушки 8 и 9, связанные с электронным блоком управления (ЭБУ) 10, который получает сигнал от датчика колебаний крутящего момента 11, установлен-

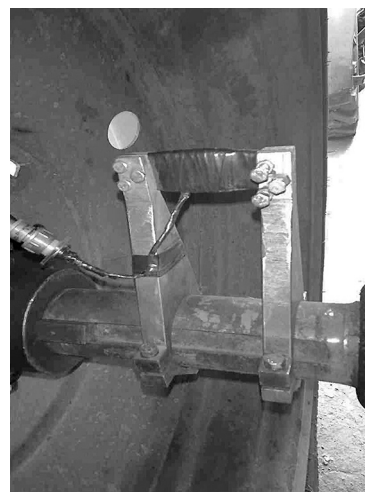


Рис. 7. Тензорамка, установленная на полуосях ведущих колес

Fig. 7. Tensor frame mounted on the axle shafts of the driving wheels

ного на ведущей оси 6. Внутренняя полость ступицы заполнена магнитно-реологической жидкостью, которая является активным элементом и меняет вязкость за счет электромагнитного поля катушек 8 и 9. При этом на входе газогидравлического аккумулятора 17 установлен управляемый ЭБУ регулируемый дроссель 23. Полость прямого хода 4 гидравлического демпфера соединена гидромагистралью 12 с полостями 14 и 15 соответственно газогидравлических аккумуляторов 17 и 18, имеющих газовые полости 20 и 21. А полость обратного хода 5 через магистраль 13 соединена с полостью 16 газогидравлического аккумулятора 19, имеющим газовую полость 22. Магнитно-реологическая жидкость состоит из смеси синтетического масла, содержащего в себе железные микрочастицы размером 1–5 мкм.

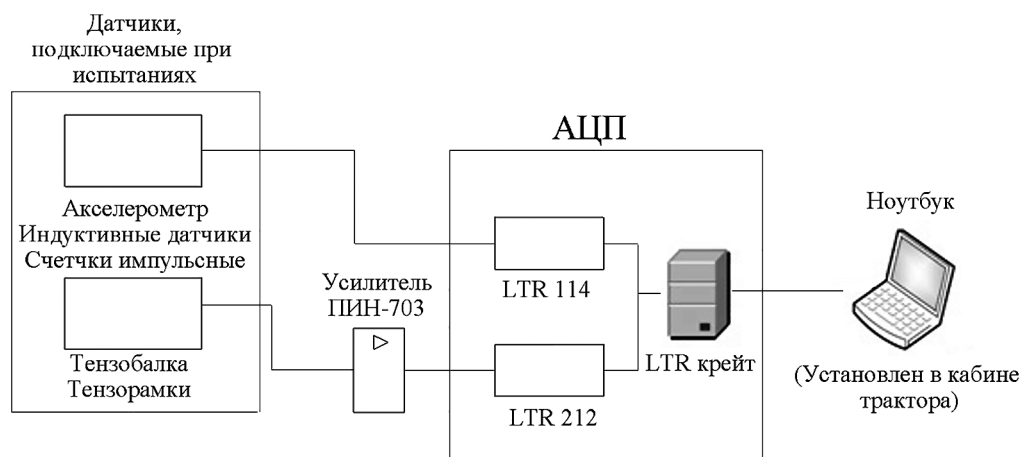


Рис. 8. Принципиальная схема подключения оборудования

Fig. 8. Schematic diagram of equipment connection

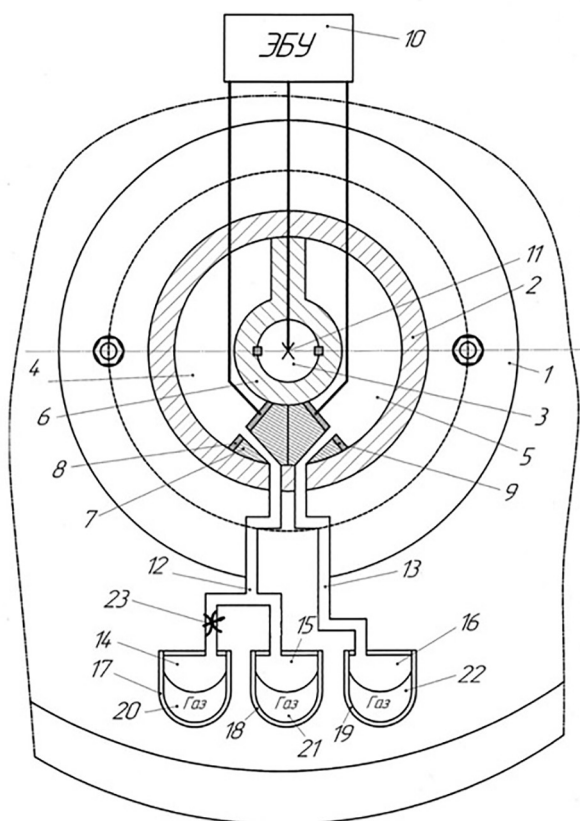


Рис. 9. Упругодемпфирующий привод с газогидравлическими аккумуляторами

Fig. 9. The elastic damping drive with gas-hydraulic accumulators

Изменение вязкости магнитно-реологической жидкости и работа управляемого регулируемого дросселя 23 находится в зависимости от команды датчика колебаний крутящего момента на ЭБУ, который по заданной программе обеспечивает оптимальное регулирование упругодемпфирующих свойств приводов ведущих колес, что приводит к минимуму колебаний при работе тракторного агрегата. Активным элементом данного привода, кроме магнитно-реологической жидкости, является регулируемый дроссель, который по заданной программе ЭБУ изменяет демпфирующие свойства жидкости и регулирует ее поток.

**Работа привода.** Во время движения транспортного средства по неровностям почвы крутящий момент на его ведущей оси 3 постоянно колеблется с различной амплитудой и частотой. С учетом этого демпфер привода ведущих колес транспортного средства мгновенно изменяет демпфирующее свойство магнитно-реологической жидкости.

При прямом ходе лопасть 6 давит на рабочую жидкость и направляет ее по магистрали 12 через управляемый ЭБУ регулируемый

дроссель 23 в камеру 14 газогидроаккумулятора 17. Кроме того, рабочая жидкость поступает по этой же магистрали 12 в полость 15 второго газогидроаккумулятора, сжимая при этом газ в полостях 20 и 21. Транспортное средство плавно трогается с места без значительного буксования движителей. При трогании магнитно-реологическая жидкость из полости 16 газогидравлического аккумулятора 19 поступает в полость 5. При разгоне происходит отдача запасенной энергии пневмоаккумуляторами 17 и 18, что приводит к увеличению разгонных свойств тракторного агрегата. При дальнейшем движении колебания гасятся за счет изменения вязкости магнитно-реологической жидкости в демпфере привода и работе управляемого ЭБУ регулируемого дросселя 23 совместно с газогидравлическими аккумуляторами 17 и 18.

Проходное сечение управляемого регулируемого дросселя по заданной программе ЭБУ изменяется в зависимости от колебаний момента сопротивления. При изменении колебаний момента сопротивления в прямом и обратном движении за счет управляемого регулируемого дросселя 23 и изменения вязкости магнитно-реологической жидкости устраняются динамические и резонансные колебания в приводе ведущих колес, и они не передаются на трансмиссию и двигатель.

Во время работы с малыми и средними значениями колебаний момента сопротивления уровень сигнала с датчика колебаний крутящего момента 11 поступает на ЭБУ-10, где происходит обработка этого сигнала и по заданной программе он воздействует на электромагнитные катушки 8 и 9, а также на регулируемый дроссель 23, который управляет потоком магнитно-реологической жидкости, тем самым поддерживая оптимальное заданную жесткость газогидравлических аккумуляторов 17 и 18; при этом происходит гашение колебаний.

При возникновении повышенных колебаний на полуосях колес (переезд препятствий, значительные динамические нагрузки или попадание в зону резонанса) с датчика колебаний крутящего момента 11 подается сигнал на ЭБУ-10. Далее этот сигнал с ЭБУ изменяет силу тока в электромагнитных катушках 8 и 9 гидравлического демпфера, а следовательно, вязкость жидкости. При этом сигнал также с ЭБУ-10 по заданной программе воздействует на регулируемый дроссель 23, закрывая проход жидкости в газогидравлический аккумулятор 17. Таким образом, в работе остается только один газогидравлический аккумулятор 18 с повышенной жесткостью

пневмоэлемента. Это позволяет увеличить жесткость привода и мгновенно изменяет его характеристику, что приводит к устранению пробоев и резонансных режимов.

Испытания активного упругодемпфирующего привода (рис. 4, 5) были проведены на транспортных работах, а также при работе с пахотным агрегатом (плуг ПЛН-3-35). Результаты испытаний показали, что при работе с транспортным агрегатом по грунтовой дороге за счет УДП снижается буксование движителей и повышается скорость движения на 6–9 %. При работе трактора на пахоте буксование движителей снижается на 10–16 %, а скорость движения повышается на 7–12 %. Это повышает производительность тракторного агрегата на 6–12 %.

Таким образом, работа управляемого ЭБУ регулируемого дросселя совместно с меняющейся вязкостью магнитно-реологической жидкостью и двумя газогидравлическими аккумуляторами различной жесткости позволяет приводу ведущих колес активно реагировать на любые изменения почвенного фона. Это приводит к повышению эксплуатационных возможностей тракторного агрегата за счет расширения динамического диапазона его работы.

## Выводы

1. Совместная работа управляемых ЭБУ регулируемых дросселей, газогидравлических аккумуляторов и изменение вязкости магнитно-реологической жидкости, в зависимости от колебаний момента сопротивления, позволяет приводу настраиваться на оптимальное значение его жесткостных и демпфирующих качеств. Это дает возможность приводу ведущих колес практически мгновенно реагировать на любые изменения сопротивлению движения машинно-тракторного агрегата.

2. Установка активного упругодемпфирующего привода повышает производительность машинно-тракторного агрегата (транспортные работы и пахота) на 6–12 % за счет расширения динамического диапазона его работы.

## Литература

1. Кравченко В.А. Результаты исследований пахотного агрегата на базе трактора класса 1,4 с упругодемпфирующим механизмом в трансмиссии // Вестник ВИЭСХ. 2017. № 2 (27). С. 87–91.
2. Поливаев О.И., Иванов В.И. Повышение тягово-динамических свойств мобильных энергетических средств за счет совершенствования приводов ведущих колес: монография. М.: Русайнс, 2016. 184 с.

3. Жутов А.Г., Аврамов В.И., Ляпкосова И.А. Динамическая жесткость конечной передачи трактора с встроенным пневмогидравлическим демпфером // Тракторы и сельхозмашины. 2010. № 10. С. 51–52.
4. Поливаев О.И. Влияние приводов ведущих колес трактора на выполнение отдельных технологических операций // Тракторы и сельхозмашины. 1981. № 6. С. 18–19.
5. Носов Н.А., Галышев В.Д., Волков Ю.П., Харченко А.П. Расчет и конструирование гусеничных машин. Л.: Машиностроение, 1972. 560 с.
6. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля. М.: Машиностроение, 1972. 265 с.
7. Поливаев О.И., Золотых Е.Д., Болотов Д.Б., Можейко А.В. Привод ведущего колеса транспортного средства: патент на полезную модель № 203460 Российская Федерация, МПК В60 G 11/18 (2020.08) / заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ; заявлено. 21.09.2020; опубл. 06.04.2021, Бюл. № 10.

## References

1. Kravchenko V.A. Results of studies of an arable unit based on a class 1.4 tractor with an elastic damping mechanism in the transmission. Vestnik VIESKH. 2017. No 2 (27), pp. 87–91 (in Russ.).
2. Polivayev O.I., Ivanov V.I. Povysheniye tyagovo-dinamicheskikh svoystv mobil'nykh energeticheskikh sredstv za schet sovershenstvovaniya privodov vedushchikh koles [Improving the traction and dynamic properties of mobile power vehicles by improving the drives of the driving wheels]: monografiya. Moscow: Rusayns Publ., 2016. 184 p.
3. Zhutov A.G., Avramov V.I., Lyapkosova I.A. Dynamic rigidity of the final drive of the tractor with a built-in pneumohydraulic damper. Traktory i sel'khoz mashiny. 2010. No 10, pp. 51–52 (in Russ.).
4. Polivayev O.I. Influence of tractor driving wheels on the Performance of Certain Technological Operations. Traktory i sel'khoz mashiny. 1981. No 6, pp. 18–19 (in Russ.).
5. Nosov N.A., Galyshev V.D., Volkov Yu.P., Kharchenko A.P. Raschet i konstruirovaniye gusenichnykh mashin [Calculation and design of tracked vehicles]. Leningrad. «MashinostroyeniYE» Publ., 1972. 560 p.
6. Rotenberg R.V. Podveska avtomobilya [Vehicle suspension]. Moscow: Mashinostroyeniye Publ., 1972. 265 p.
7. Polivayev O.I., Zolotyykh Ye.D., Bolotov D.B., Mozheyko A.V. Privod vedushchego koleasa transportnogo sredstva [Drive of the driving wheel of the vehicle]: patent na poleznuyu model' No 203460 Rossiyskaya Federatsiya, MPK V60 G 11/18 (2020.08); zayavitel' i patentoobladatel' FGBOU VO Voronezhskiy GAU; zayavleno. 21.09.2020; opubl. 06.04.2021 Byul. No 10.