

шины – 23°.

В ходе испытаний установлено, что конструкция транспортера-снегоболотохода обеспечивает достаточную работоспособность во всем диапазоне дорожных условий и скоростей движения. Изделие показало высокую проходимость по снежной целине, при движении на подъеме и спуске на крутых склонах ручьев, высокую скорость и плавность хода.

Конструкция трансмиссии подтвердила работоспособность кинематической схемы с четырьмя ведущими колесами. Тягово-скоростной диапазон трансмиссии обеспечивает подвижность машины во всех дорожных условиях.

Выводы

1. Предложены новые схемы МП, разработанные на основе серийно выпускаемых агрегатов автомобилей, новизна которых защищена патентами России.
2. Разработана, изготовлена и прошла эксплуатационные и полевые испытания на транспортерах «Вегус» трансмиссия, выполненная по схеме 4 (патент РФ №2233766). В результате установлено, что тягово-скоростной диапазон трансмиссии обеспечивает подвижность машины во всех дорожных условиях. Изделие показало высокую проходимость по снежной целине, при движении на подъеме и спуске на крутых склонах, высокую скорость, плавность хода и маневренность.
3. Разработаны математические модели установившегося поворота ГМ с новыми типами МП и на их основе методы расчета кинематических параметров, силовой и энергетической нагруженности в элементах схемы с учетом потерь мощности в трансмиссии и ходовой системе. Достоверность математических моделей подтверждена результатами полевых испытаний транспортеров-снегоболотоходов «Вегус». Расхождение между результатами расчетов нагруженности элементов трансмиссии и результатами экспериментальных исследований при минимальных радиусах поворота машины не превышает 8,6...12%, а при повороте машины с радиусами больше минимального - 16...18%.

Литература

1. Львов Е.Д. Теория трактора. – М.: Машгиз, 1960. – 252 с.
2. Забавников Н.А. Основы теории транспортных гусеничных машин. – М.: Машиностроение, 1975. – 448 с.
3. Трансмиссии гусеничных и колесных машин/ В.М. Труханов, В.Ф. Зубков, Ю.И. Крыхин, В.О. Желтобрюхов; Под ред. В.М. Труханова. – М.: Машиностроение, 2001. – 736 с.
4. Шарипов В.М. Конструирование и расчет тракторов. М.: Машиностроение, 2009. – 752 с.
5. Сергеев Л.В., Кадобнов В.В. Гидромеханические трансмиссии быстроходных гусеничных машин. – М.: Машиностроение, 1980. – 200 с.
6. Конструирование и расчет гусеничных машин/ Н.А. Носов, В.Д. Гальшев, Ю.П. Волков, А.П. Харченко; Под ред. Н.А. Носова. – Л.: Машиностроение, 1972. – 560 с.
7. Тракторы. Конструкция/ В.М. Шарипов, Д.В. Апельинский, Л.Х. Арустамов и др.; Под общ. ред. В.М. Шарипова. – М.: Машиностроение, 2012. – 792 с.
8. Устройство тракторов/ В.М. Шарипов, К.И. Городецкий, А.П. Маринкин и др.; Под общ. ред. В.М. Шарипова. – М.: МГТУ «МАМИ», 2007. – 320 с.
9. Тракторы и автомобили/ В.М. Шарипов, М.К. Бирюков, Ю.В. Дементьев и др.; Под общ. ред. В.М. Шарипова. – М.: Издательский дом «Спектр», 2010. – 351 с.

Рабочий процесс разгона тракторного агрегата и переключения передач с подвключением фрикционных муфт

д.т.н. проф. Городецкий К.И., Аландеев Е.М., Тимофиевский А.А.,
к.т.н. проф. Парфенов А.П.

Университет машиностроения, ОАО «НИИ стали»
8 (495) 223-05-23, доб. 1527, kg1101@yandex.ru

Аннотация. На примере простого варианта коробки передач проведен анализ

рабочего процесса разгона тракторного агрегата и переключения передач с подвключением муфт на однопарном переключении.

Ключевые слова: процесс разгона тракторного агрегата, переключение передач, безразрывность потока мощности, подвключение фрикционных муфт

Рабочий процесс разгона тракторного агрегата и переключения передач с помощью фрикционных муфт подробно рассмотрен в работах [1-10]. Однако в настоящее время отсутствуют работы, в которых изучен процесс переключения передач и разгона тракторного агрегата с подвключением фрикционных муфт.

В статье рассмотрен простой вариант коробки передач (КП) с тремя фрикционными муфтами Φ_{k-1} , Φ_k , Φ_{k+1} на входном валу и датчиками оборотов на входном и выходном валах T_1 , T_2 (рисунок 1) для анализа рабочего процесса разгона и однопарного переключения передач без разрыва потока мощности с муфт.

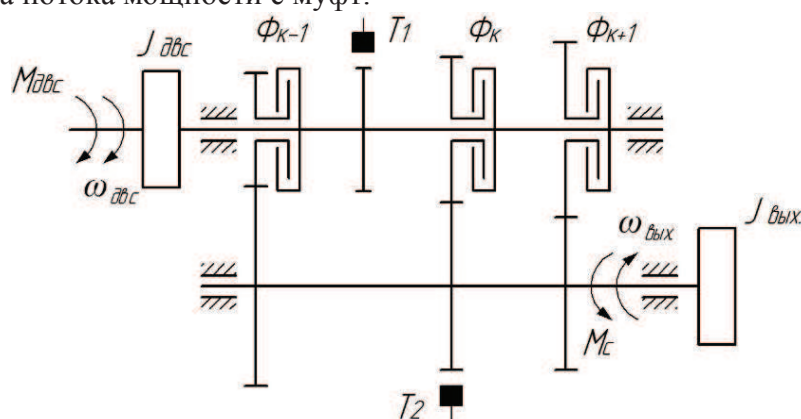


Рисунок 1. Кинематическая схема простейшего варианта КП при расположении фрикционных муфт на входном валу

Совместная работа нескольких муфт позволяет снизить мощность буксования включаемой муфты, что возможно только при подвключении на переключениях вверх муфт высших передач, а на переключениях вниз – муфт низших передач. Это связано с тем, что на переключениях вверх частота вращения ведомых дисков муфты высшей передачи меньше ведущих, т.е. данная муфта подводит момент к выходному валу. Для переключений вниз характерно, что включаемая муфта выполняет функцию тормоза, а частота вращения ведомых дисков муфты низшей передачи больше ведущих, т.е. муфта также тормозит выходной вал.

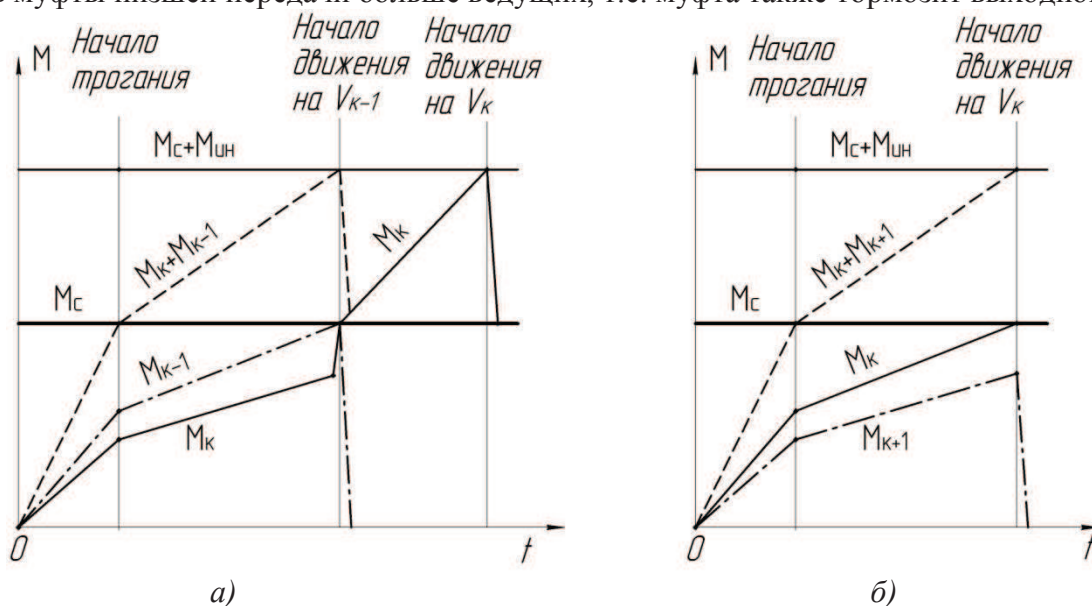


Рисунок 2. Разгон на двух муфтах для трогания на передаче K: а) при совместной работе муфт Φ_k и Φ_{k-1} ; б) при совместной работе муфт Φ_k и Φ_{k+1}

Рассмотрим рабочий процесс при трогании на передаче K , когда с муфтой Φ_K дополнительно подвключается Φ_{K-1} . Первоначально крутящие моменты двух муфт высшей Φ_K и низшей Φ_{K-1} передач складываются. Как только их сумма станет равна или несколько превысит момент сопротивления на выходном валу, происходит трогание и разгон трактора. При достижении скорости движения на передаче $K-1$ муфта Φ_{K-1} перестанет пробуксовывать (рисунок 2а). Дальнейшее увеличение скорости выходного вала за счет соответствующей подачи давлений в муфту высшей передачи Φ_K приведет к тому, что муфта низшей передачи Φ_{K-1} начнет буксовать и отбирать момент от выходного вала, т.е. моменты муфт начнут вычитаться.

На рисунках 2 и 3 изображены характеры изменения моментов муфт (M_{K-1} , M_K , M_{K+1}), момента сопротивления M_c , момента от сил инерции машинно-тракторного агрегата $M_{ин}$, приведенные к выходному валу КП. Для графиков на данных рисунках условно принято, что моменты на муфтах обеспечивают равноускоренное вращение выходного вала на всем интервале его разгона или замедления, тогда момент $M_{ин}$ будет носить постоянный характер.

Процесс трогания в соответствии с рисунком 2а протекает в три этапа:

- 1) до достижения выходным валом КП оборотов, соответствующих скорости V_{K-1} – подвключаемая и включаемая муфты буксуют;
- 2) с момента достижения выходным валом КП оборотов, соответствующих скорости V_{K-1} до начала движения на V_K – включаемая муфта буксует, подвключаемая – разомкнута;
- 3) после начала движения на V_K – подача полного давления в муфту Φ_K .

На первом этапе разгона совместная работа включаемой муфты Φ_K и подвключаемой Φ_{K-1} позволяет уменьшить мощность буксования Φ_K . Во избежание возникновения циркуляции мощности в контуре муфт Φ_{K-1} и Φ_K сброс давлений в подвключаемой муфте необходимо обеспечивать ко времени выхода момента муфты Φ_K на момент сопротивления. Момент времени, когда давление на подвключаемой муфте должно быть сброшено, определяется на основе скорости выходного вала с датчика оборотов Т2: как только скорость выходного вала станет равна V_{K-1} , давление в Φ_{K-1} сбрасывается.

Разгон в соответствии с рисунком 2б протекает аналогично выше описанному способу, но только в два этапа. Первый этап характеризуется тем, что сложение моментов от включаемой муфты Φ_K и подвключаемой Φ_{K+1} обеспечивает разгон выходного вала и длится до начала движения на V_K . Момент времени сброса давлений на подвключаемой муфте также определяется по датчику Т2: как только скорость выходного вала станет равна V_K , давление в Φ_{K+1} сбрасывается, а в Φ_K – подается максимальное. Второй этап соответствует третьему этапу по рисунку 2а.

Переключение вверх (увеличение скорости) при совместной работе включаемой, выключаемой и подвключаемой муфт

На рисунке 3 изображены переключения с передачи $K-1$ на K . Условно процесс переключения можно также разделить на 3 этапа:

- 1) выключаемая муфта замкнута, включаемая буксует. Цель: перехватить включаемой муфтой передачу крутящего момента на выходной вал; удерживать выключаемую муфту замкнутой до полного падения передаваемого момента, но не допустить циркуляции мощности;
- 2) включаемая муфта буксует, выключаемая – разомкнута. Цель: синхронизировать вращение дисков во включаемой муфте и замкнуть её;
- 3) включаемая муфта замкнута, выключаемая – разомкнута. Цель: подача полного давления в муфту Φ_K ; прекращение управления процессом переключения.

Поскольку муфта высшей передачи при движении со скоростью ниже ее передачи обеспечивает подвод мощности к выходному валу, то на первом этапе идет сложение моментов включающей и выключающей муфт (рисунок 3 а, б). Включаемая муфта начинает передавать момент на выходной вал, тормозя на этот же момент вал ДВС, тогда на муфту низшей передачи будет поступать со стороны ДВС меньший момент. Заштрихованная область будет характеризовать запас по моменту от срыва выключающей муфты в буксование. Если подво-

дидая к выходному валу включаемой муфтой мощность превысит мощность, потребную для движения, то избыток мощности через замкнутую выключаемую муфту направится на входной вал, создавая циркуляцию мощности. Циркуляция мощности в свою очередь приведет к увеличению тепловых потерь в буксующей муфте, что ведёт к увеличению нагрузки на двигатель.

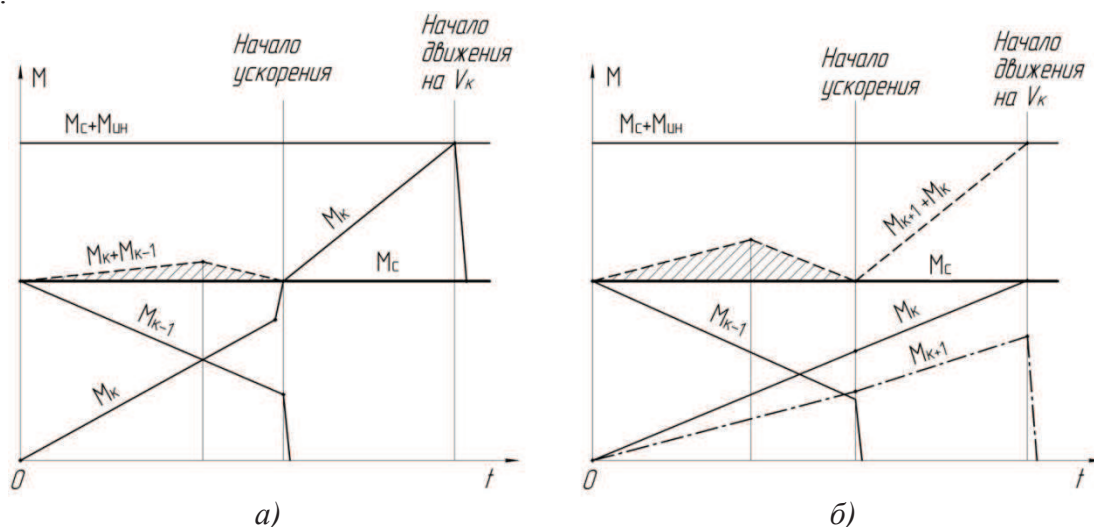


Рисунок 3. Переключение с передачи K-1 на K: а) при совместной работе муфт Φ_K и Φ_{K-1} ; б) при совместной работе муфт Φ_K , Φ_{K-1} и Φ_{K+1}

Первый этап позволяет обеспечить работу КП в диапазоне нагрузок от нуля до $M_c \leq M_K + M_{K-1}$, при этом скорость выходного вала не возрастает. На втором этапе происходит непосредственно разгон выходного вала за счет работы включаемой муфты (включаемой и подвключаемой муфт). На втором этапе увеличение момента, передаваемого включаемой муфтой Φ_K (или включаемой Φ_K и подвключаемой Φ_{K+1}), разгоняет трактор до скорости, соответствующей передаче K, после чего муфта Φ_{K+1} размыкается. Тогда в общем виде можно записать угловые ускорения входного и выходного валов как:

$$\varepsilon_{\text{двс}} = \frac{M_{\text{двс}} - M_{K-1}^{\text{тр}} + M_K^{\text{тр}} + M_{K+1}^{\text{тр}}}{J_{\text{двс}}}, \quad (1)$$

$$\varepsilon_{\text{вых}} = \frac{M_{K+1}^{\text{тр}} \cdot i_{K+1} + M_K^{\text{тр}} \cdot i_K - M_{K-1}^{\text{тр}} \cdot i_{K-1} - M_c}{J_{\text{вых}}}, \quad (2)$$

где: $M_{K-1}^{\text{тр}}$, $M_K^{\text{тр}}$, $M_{K+1}^{\text{тр}}$ – абсолютные значения моментов трения на данном временном шаге на выключаемой, включаемой и подвключаемой муфтах соответственно;

i_{K-1} , i_K , i_{K+1} – передаточные отношения выключаемой, включаемой и подвключаемой передач соответственно;

$J_{\text{двс}}$ – моменты инерции маховых масс ДВС и входного вала КП;

$J_{\text{вых}}$ – момент инерции ведомых частей трактора, приведенный к выходному валу.

Отличительной особенностью рисунка 3б является подвключение муфты Φ_{K+1} с целью уменьшения мощности буксования на включаемой муфте Φ_K .

Переключение вниз при совместной работе включающей и выключающей муфт

Характер управления переключением передач при переключении вниз во многом зависит от цели переключения и нагрузки на двигатель. Если целью является снижение скорости перед поворотом (при транспортных работах), то допустим разрыв потока мощности и снижение скорости за счёт сопротивления движению. Если целью переключения является недопущение перегрузки двигателя или снижение скорости в конце гона при высокой тяговой нагрузке, то необходимо обеспечить переключение без разрыва потока мощности. В данной статье рассматривается именно такое переключение вниз.

На переключениях вниз при подаче давлений во включаемую муфту возникает цирку-

лящая мощности, которая не подводит крутящий момент к выходному валу, а отбирает его от выходного. Подвод необходимой мощности к выходному валу, при скорости движения выше, чем на скорости $K-1$, может осуществлять только выключаемая муфта высшей передачи. Поэтому для переключений вниз можно выделить этапы, приведенные ниже:

- 1) на первом этапе переключения выключаемая муфта срывается в буксование, сохраняя подвод мощности к выходному валу;
- 2) на втором этапе происходит синхронизация дисков включаемой муфты при подводе мощности к выходному валу через выключаемую муфту; и замыкание включаемой муфты;
- 3) на третьем этапе производится перевод передаваемой на выходной вал мощности на муфту низшей передачи.

Так как крутящий момент, передаваемый муфтой Φ_{K-1} , при синхронизации дисков меняет знак с отрицательного на положительный, давления в муфтах должны отвечать следующим условиям:

- до синхронизации дисков $M_K < M_c - M_{K-1}$;
- после синхронизации дисков $M_K + M_{K-1} > M_c$.

Дефицит M_K в первом неравенстве определяет темп замедления. Второе неравенство является условием замыкания включаемой муфты.

На третьем этапе после замыкания включаемой муфты необходимо подать на нее полное давление и сбросить давление в выключаемой муфте до нуля в момент времени, когда скорость выходного вала по датчику T2 станет равна скорости включаемой передачи. Угловые ускорения входного и выходного валов будут:

$$\varepsilon_{\text{двс}} = \frac{M_{\text{двс}} - M_K^{\text{тр}} + M_{K-1}^{\text{тр}}}{J_{\text{двс}}} \quad (3)$$

$$\varepsilon_{\text{вых}} = \frac{M_K^{\text{тр}} \cdot i_K - M_{K-1}^{\text{тр}} \cdot i_{K-1} - M_c}{J_{\text{вых}}} \quad (4)$$

В связи с вышеизложенным можно заключить, что при известном моменте сопротивления для уменьшения буксования включаемой и выключаемой муфт возможно устранение первого этапа на переключениях вверх и второго этапа для переключений вниз. Момент сопротивления может быть получен в результате обработки контроллером трансмиссии данных от двигателя, либо расчет подаваемых в муфты давлений может идти на основе изменения скорости выходного вала. Причем частота вращения выходного вала с датчика T2 будет определять, когда необходимо разомкнуть выключаемую и замкнуть включаемую муфты. Тогда организация процессов переключений может быть осуществлена в соответствии с рисунком 4. На данных графиках в начальный промежуток времени полка постоянного давления на включаемой муфте соответствует подготовительному этапу процесса переключения и необходима для преодоления усилия отжатия пружин в бустере муфты. Таким образом, при данных условиях переключение может быть осуществлено только за счет одной муфты.

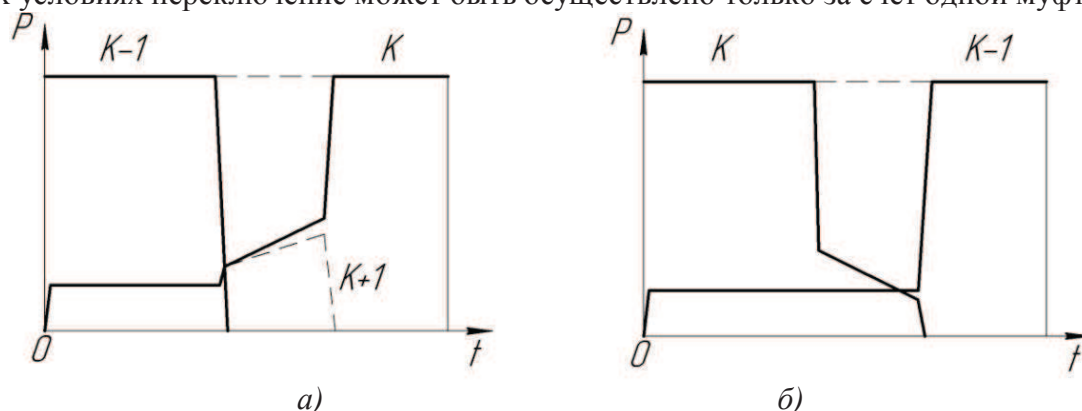


Рисунок 4. Графики изменения давлений при переключении передач: а) вверх; б) вниз

Выводы

1. Рабочий процесс разгона и переключения передач должен контролироваться угловыми скоростями первичного и вторичного валов.
2. На этапе разгона до скорости передачи К-1 целесообразна работа двух муфт $\Phi_{К-1}$ и Φ_K , их крутящие моменты складываются. Возможны варианты опережения включения каждой муфты отдельно.
3. При увеличении скорости вторичного вала больше скорости, соответствующей одинаковым угловым скоростям фрикционных дисков муфты $\Phi_{К-1}$, возникает их противовращение, что является одним из условий возникновения циркулирующей мощности в контуре, включающем обе муфты.
4. Для устранения циркуляции следует снять давление в муфте $\Phi_{К-1}$, т.е. отключить ее, но противовращение дисков останется.
5. В диапазоне угловых скоростей от $\Phi_{К-1}$ до Φ_K при переключении передач работает только одна включаемая муфта.

Литература

1. Шарипов В.М. Конструирование и расчет тракторов. М.: Машиностроение, 2009. – 752 с.
2. Трансмиссии тракторов / К.Я. Львовский, Ф.А. Черпак, И.Н. Серебряков, Н.А. Щельцын. – М.: Машиностроение, 1976. – 280 с.
3. Шарипов В.М. Проектирование механических, гидромеханических и гидрообъемных передач тракторов. - М.: МГТУ «МАМИ», 2002. – 300 с.
4. Теория и проектирование фрикционных сцеплений колесных и гусеничных машин / В.М. Шарипов, Н.Н. Шарипова, А.С. Шевелев, Ю.С. Щетинин; Под общ. ред. В.М. Шарипова. – М.: Машиностроение, 2010. – 170 с.
5. Работа сцепления в коробке передач при переключении передач без разрыва потока мощности от двигателя / В.М. Шарипов, М.И. Дмитриев, А.С. Зенин, В.Я. Савкин // Справочник. Инженерный журнал, 2010, № 11. - с. 8-15.
6. Шарипов В.М., Дмитриев М.И., Крючков В.А. Нагруженность фрикционных муфт и синхронизаторов в коробке передач. - Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. – 122 с.
7. Математическая модель процесса переключения передач в коробке передач трактора с помощью фрикционных муфт/ В.М. Шарипов, К.И. Городецкий, М.И. Дмитриев и др. // Известия МГТУ «МАМИ». Научный рецензируемый журнал. – М., МГТУ «МАМИ», № 1 (13), 2012. - С. 112-121.
8. Переключение передач в КП трактора без разрыва потока мощности / В.М. Шарипов, К.И. Городецкий, М.И. Дмитриев и др. // Тракторы и сельхозмашины, 2012, №5. с. 19-23.
9. Определение параметров буксования фрикционных муфт для различных вариантов их установки в тракторных коробках передач при переключении передач без разрыва потока мощности/ В.М. Шарипов, М.И. Дмитриев, А.С. Зенин и др. // Известия МГТУ «МАМИ». Научный рецензируемый журнал. Серия 1. Наземные транспортные средства, энергетические установки и двигатели. – М., МГТУ «МАМИ», № 1(15), 2013, т. 1. -с. 242-248.
10. Работа фрикционных муфт в тракторных коробках передач с неподвижными осями валов/ В.М. Шарипов, М.И. Дмитриев, А.С. Зенин, И.А. Маланин// Известия Волгоградского государственного технического университета, 2013, т. 6, № 10. - с. 5-6.