

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра лесных машин  
и технологии лесозаготовок**

.....

# **ТРАНСМИССИОННЫЕ МАСЛА**

.....

**Методические указания  
по дисциплине «Сервисное обслуживание  
и техническая эксплуатация лесопромышленного  
оборудования» для студентов специальностей  
1-46 01 01 «Лесоинженерное дело»,  
1-36 05 01 «Машины и оборудование  
лесного комплекса»**

Минск 2013

УДК 630\*36:621.89.093(075.8)  
ББК 35.514я73  
Т65

Рассмотрены и рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом университета.

**Р е ц е н з е н т**  
кандидат технических наук, доцент кафедры  
инженерной графики Белорусского государственного  
технологического университета  
*Н. В. Бурносов*

**Трансмиссионные масла** : метод. указания для студентов  
Т65 специальностей 1-46 01 01 «Лесоинженерное дело», 1-36 05 01 «Машины и оборудование лесного комплекса» / сост. : В. А. Демидов, В. А. Симанович, С. Е. Арико. – Минск : БГТУ, 2013. – 85 с.  
ISBN 978-985-530-243-9.

В пособии рассмотрены условия эксплуатации лесных машин, а также агрегатов, образующих их трансмиссии, которые определяют требования к качеству трансмиссионных масел; приведены типы трансмиссий колесной и гусеничной автотракторной техники и их конструктивные особенности; дана классификация трансмиссионных масел и приведены данные, позволяющие подобрать отечественные аналоги зарубежным маслам; описаны условия работы, особенности и марки масел для гидромеханических и гидрообъемных передач.

**УДК 630\*36:621.89.093(075.8)**  
**ББК 35.514я73**

**ISBN 978-985-530-243-9**

© УО «Белорусский государственный технологический университет», 2013

# ВВЕДЕНИЕ

---

Трансмиссия лесных машин является важной системой, определяющей эксплуатационные качества, производительность и долговечность машины. При современных скоростях и режимах нагружения узлы сопряжений трансмиссии без смазки разрушились бы в течение нескольких секунд из-за задиров, заклинивания, распыливания и сваривания деталей. Благодаря смазыванию узлов и механизмов потери на преодоление сил трения снижаются в десятки и сотни раз.

В лесном комплексе Республики Беларусь работают специальные энергонасыщенные, гидрофицированные одно- и многооперационные машины, а также автомобили и трактора общего назначения с механическими, гидромеханическими и гидрообъемными трансмиссиями. Современные отечественные и зарубежные лесные машины требуют использования высококачественных масел и смазок. В настоящее время нефтеперерабатывающая промышленность выпускает широкий ассортимент смазочных материалов, который отвечает высоким требованиям автотракторной техники.

Конструктивное и технологическое исполнение узлов трения, а также условия их работы в процессе эксплуатации разнообразные. По этой причине одни и те же смазочные материалы не могут быть использованы для всех трущихся поверхностей. Имеющаяся информация о смазочных материалах в основном носит рекомендательный характер. Поэтому потребителю трудно разобраться в номенклатуре масел. Недостаточность технической литературы по существующим классификациям, требованиям производителей автомобилей и тракторов затрудняет оптимальный выбор трансмиссионных масел для конкретного применения.

Между тем для эффективной эксплуатации лесной автотракторной техники и продления срока ее службы будущим инженерам необходимо уметь подбирать и правильно использовать смазочные материалы. Поэтому в данной работе уделено особое внимание свойствам и методам их оценки, зарубежным и отечественным классификациям по качеству и назначению трансмиссионных масел, а также требованиям мировых производителей автотракторной техники.

# 1. ОБЩИЙ РАЗДЕЛ

---

## 1.1. Условия эксплуатации лесных машин, назначение трансмиссий

Лесные машины находят широкое применение при выполнении лесохозяйственных, лесозаготовительных, погрузочно-разгрузочных и транспортных операций, в строительстве и ремонте дорог, мелиорации леса и в целом ряде других работ. Их эксплуатация характеризуется большим многообразием природно-производственных условий работы. Это работа на местности с различными физико-механическими свойствами грунта, рельефом, растительным покровом, древостоем, климатом и т. д. Движение лесных машин в большинстве своем осуществляется по дорогам кратковременного действия (волоки, ветки), значительная часть которых имеет слабую несущую способность. К особенностям эксплуатации следует отнести *резкое изменение сил сопротивления движению*.

Компоновка лесных машин во многом зависит от назначения, условий работы и выполняемых операций, а также количества потребителей энергии двигателя. В первую очередь это ведущие колеса, обеспечивающие движение машины с разными необходимыми скоростями и силами тяги, валы отбора мощности на привод рабочих органов агрегируемых машин и механизмов, насосы гидравлических систем трансмиссий и навесного оборудования.

Источниками энергии на лесной технике производства РУП «МТЗ» и ОАО «Амкодор» являются дизельные двигатели Минского моторного завода, а автомобили ОАО «МАЗ» – управляющей компании холдинга «БАЛАВТОМАЗ» – оснащаются двигателями Ярославского моторного завода.

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС), применяющиеся на лесных машинах, имеют коэффициент приспособляемости 1,05–1,15. *Коэффициент приспособляемости* – это способность двигателя преодолевать возможное возрастание момента сопротивления движению машины без увеличения передаточного числа трансмиссии. Однако ДВС не лишены некоторых недостатков, так как даже при

значительной мощности развиваемый крутящий момент мал по сравнению с требуемым для нормального функционирования исполнительного механизма. Кроме того, их крутящий момент меняется незначительно. Поэтому для возможности изменения крутящего момента и скорости вращения ведущих органов на машине кроме ДВС необходимо устанавливать специальные устройства.

Производительная и экономичная работа машины будет иметь место только для ограниченного диапазона сил тяги и скорости ее движения ввиду малого диапазона изменения частоты вращения коленчатого вала ДВС. Вследствие этого в трансмиссии всегда устанавливаются преобразователи частот с постоянными или переменными передаточными числами (коробки передач, редукторы, валы отбора мощности, главные передачи и т. д.), в которых угловая скорость уменьшается, крутящий момент увеличивается, а передаваемая мощность остается неизменной (без учета потерь в сборочных единицах). Это обеспечивает возможность работы машины в широком тяговом и скоростном режимах с более высоким КПД, производительностью и экономичностью.

Кратность увеличения крутящего момента и уменьшения угловой скорости при передаче энергии через преобразователь называется *передаточным числом* и обозначается буквой  $i$ . Общее передаточное число трансмиссии можно представить как отношение частоты вращения  $n_d$  или угловой скорости  $w_d$  коленчатого вала двигателя к частоте вращения  $n_k$  или угловой скорости  $w_k$  ведущих колес машины:

$$i = \frac{n_d}{n_k} = \frac{w_d}{w_k}. \quad (1)$$

При передаче мощности от двигателя к ведущим колесам часть ее теряется на трение в зацеплении шестерен редукторов трансмиссии, в подшипниках валов, уплотнениях и на разбрызгивание масла в корпусах. Все эти потери учитываются механическим КПД трансмиссии  $\eta_m$ , который определяется как отношение мощности  $N_k$ , подведенной к ведущим колесам машины, к эффективной мощности  $N_e$  двигателя:

$$\eta_m = \frac{N_k}{N_e}.$$

Выразив значение мощностей через крутящий момент и угловую скорость с учетом выражения (1), КПД механической трансмиссии можно определить по следующей формуле:

$$\eta_m = \frac{M_k \cdot w_k}{M_d \cdot w_d} = \frac{M_k}{M_d \cdot i}, \quad (2)$$

где  $M_k$  – момент на ведущих колесах;  $M_d$  – крутящий момент двигателя.

Используя зависимость (2), момент на ведущих колесах машины  $M_k$  определяем как:

$$M_k = M_d \cdot i \cdot \eta_m. \quad (3)$$

Таким образом, момент, подведенный к ведущим колесам машины, зависит от крутящего момента, развиваемого двигателем, механического КПД и передаточного числа трансмиссии, которую образуют комплекс устройств для передачи и преобразования энергии от ее источника (ДВС) к потребителю (или потребителям).

Назначение трансмиссии состоит в следующем:

- передавать энергию двигателя ведущим органам машины;
- изменять в необходимых пределах крутящий момент и распределять его между ведущими органами и потребителями;
- обеспечивать реверсирование хода машины;
- частично или полностью отсоединять движитель от двигателя, а также их плавно соединять.

Разделив величину крутящего момента, подведенного к ведущим колесам, на радиус колес, получим касательную силу тяги  $P_T$ , т. е. силу, обеспечивающую движение машины в результате взаимодействия колес с дорогой. Сила тяги затрачивается на преодоление сил сопротивления движению, сумма которых может меняться в широких пределах в зависимости от условий движения. Соответственно за счет изменения крутящего момента в трансмиссии должна изменяться сила тяги на ведущих колесах, которая ограничивается сцеплением ведущих колес с дорогой. Максимальная сила тяги равна произведению коэффициента сцепления с дорогой на сцепной вес (часть веса машины, приходящаяся на ведущие колеса).

У лесовозных автомобилей и трелевочных тракторов в связи с разнообразием условий их работы диапазон необходимого изменения силы тяги велик и может достигать 50–70 кН, что требует от трансмиссии соответствующих передаточных чисел. При этом предпочтительно, чтобы изменение крутящего момента осуществлялось автоматически и бесступенчато.

К механизмам силовой передачи лесных машин предъявляются также некоторые дополнительные требования: они должны быть надежны, легки в управлении, иметь высокий КПД, давать возможность отбора мощности для привода технологического оборудования.

## 1.2. Типы трансмиссий

По способу передачи и трансформирования момента трансмиссии делятся:

- на *механические* (простые и планетарные), у которых изменение крутящего момента осуществляется зубчатыми передачами;
- *гидравлические*, у которых энергия от двигателя к ведущим органам передается потоком жидкости;
- *электрические* – с применением электродвигателей постоянного или переменного тока.

Механические преобразователи могут обеспечивать как ступенчатое, так и бесступенчатое изменение передаточного числа, а гидравлические и электрические преобразователи всегда бесступенчатые. Однако в чистом виде две последние передачи обычно не применяются.

Наряду с электрическими и гидравлическими агрегатами в трансмиссии автомобилей и тракторов имеются коробки передач, зубчатые редукторы, включенные последовательно или параллельно с бесступенчатыми передачами. Поэтому существующие автотракторные трансмиссии делятся на механические, гидромеханические, гидрообъемные и электромеханические.

*Электрические передачи* обладают свойствами бесступенчатого трансформатора крутящего момента и находят применение на машинах большой мощности. При малых мощностях они получаются тяжелыми и имеют низкий КПД. В настоящее время применяются электромеханические трансмиссии постоянного и переменного тока. Кроме свойства бесступенчатого, плавно изменять крутящий момент, электромеханические трансмиссии обладают рядом преимуществ при использовании их на многоприводных автомобилях высокой грузоподъемности и проходимости: свободный выбор колесной формулы и легкость компоновки, простота механической части привода и активизации прицепных звеньев, малая масса трансмиссии на единицу массы машины для автомобилей с двигателями мощностью 600–700 кВт. Несмотря на перечисленные преимущества, электропередача пока не получила широкого распространения на автомобилях и тракторах из-за следующих недостатков: большая масса агрегатов трансмиссии (8–15 кг/кВт), что значительно превышает массу механических и гидромеханических трансмиссий; низкий КПД; большой расход дорогостоящих цветных металлов; высокая стоимость изготовления.

*Механические трансмиссии* отличаются простотой конструкции, надежностью, высоким коэффициентом полезного действия (КПД трансмиссии лесовозного автомобиля 0,90–0,95), низкой стоимостью. Удельная масса таких трансмиссий 3–6 кг/кВт, что значительно ниже, чем у других типов передач. К их недостаткам относятся: ступенчатое регулирование передаточного числа, разрыв силового потока и ударные нагрузки при переключении передач, трудность управления, сложность компоновки на многоприводных автомобилях, что не позволяет ставить этот тип трансмиссий в ряд перспективных для лесных машин. Тем не менее перечисленные положительные качества механических трансмиссий обуславливают их широкое применение на современных автомобилях и тракторах.

*В гидравлических передачах* энергия двигателя передается через бесступенчатый гидравлический преобразователь с замкнутым потоком рабочей жидкости. Если при этом используется кинематическая энергия жидкости, то такие передачи называются гидродинамическими, давление жидкости в них 0,3–0,8 МПа при скорости потока 20–40 м/с.

*Гидрообъемными* называются передачи, в которых энергия передается за счет изменения статического напора (10–50 МПа), а скорость потока при этом не выше 5 м/с. В последние годы гидрообъемные передачи получают распространение как на отечественных машинах, так и на зарубежных образцах специальных лесных машин и тракторах общего назначения. Для лесных машин, имеющих гидрофицированное рабочее оборудование, этот тип трансмиссии наиболее перспективен.

### **1.2.1. Ступенчатые механические трансмиссии**

На большинстве машин общего и специального назначения, в том числе и лесных, применяют ступенчатые шестеренные трансмиссии. При этом механические передачи выполняют по различным схемам в зависимости от назначения машины, расположения на ней двигателя и ведущих колес.

Для оценки трансмиссии и характеристики автомобиля или колесного трактора по тягово-сцепным качествам применяют *колесную формулу*, в которой первая цифра означает число колес машины (в том числе сдвоенных), а вторая – число ведущих колес. Например, для лесовозного тягача МАЗ-543403-220 колесная формула



4×4 (автомобиль с четырьмя колесами и четырьмя ведущими), для МАЗ-641808-220-011 – 6×6, для автомобиля-сортиментовоза МАЗ-6303А8-326 – 6×4 (автомобиль с шестью колесами и четырьмя ведущими). Для колесных тракторов и машин, выполненных на их базе, применяют следующие обозначения: трактор «Беларус» ТТР-401М имеет колесную формулу 4К4, тягач трелевочный «Амкодор 2243» – 4К4, харвестер «Амкодор 2551» – 6К6, форвардер «Амкодор 2682» – 8К8 и т. д. Здесь первая цифра означает число колес на машине, а вторая – число ведущих колес.

Для автомобилей с колесной формулой 4×2 наиболее часто применяется схема с передним расположением двигателя, задними ведущими колесами и с центральным, относительно продольной оси, расположением основных частей трансмиссии (ЗиЛ 4314, МАЗ-5440 и др.). В данном случае крутящий момент от двигателя 1 (рис. 1, а) через сцепление 2 передается к коробке передач 3. В коробке передач (КП) крутящий момент изменяется в соответствии с включенной передачей.

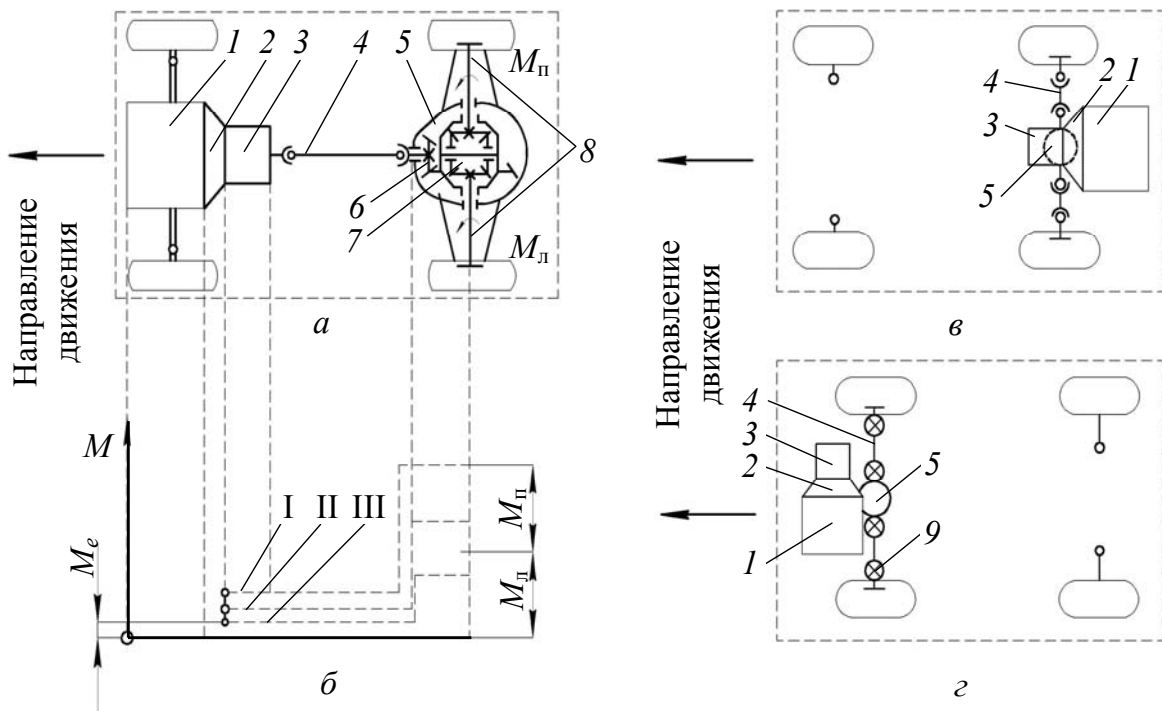


Рис. 1. Трансмиссия автомобиля 4×2:

- а – схема трансмиссии; б – эпюра моментов; в – с задним расположением двигателя и задними ведущими колесами; г – с передним расположением двигателя и с передними ведущими колесами;
- I–III – передачи; 1 – двигатель; 2 – сцепление; 3 – коробка перемены передач;
- 4 – карданная передача; 5 – ведущий мост; б – главная передача;
- 7 – дифференциал; 8 – полуоси; 9 – шарнир равных угловых скоростей

Сцепление и коробка передач обычно конструктивно объединены в один блок с двигателем и образуют силовой агрегат. От КП крутящий момент (рис. 1, б) через карданную 4 и главную 6 передачи, дифференциал 7 и полуоси 8 передается к ведущим колесам. Дифференциал распределяет момент между правым и левыми колесами (моменты  $M_{\text{п}}$  и  $M_{\text{л}}$ ). Главная передача, дифференциал и полуоси, размещенные в общем картере, составляют ведущий мост 5.

Механические трансмиссии автомобилей с колесной формулой 4×2 часто выполняют по другой схеме: с расположением двигателя, сцепления и коробки передач непосредственно у ведущего моста: задние ведущие колеса и двигатель сзади (рис. 1, в) или передние ведущие колеса и двигатель впереди (рис. 1, г). При такой схеме трансмиссии не нужна карданная передача между коробкой передач и ведущим мостом. Привод ведущих колес осуществляется не полуосями, а карданными передачами с шарнирами равных угловых скоростей 9.

На рис. 2, а показана механическая трансмиссия автомобиля 4×4. По сравнению с трансмиссией автомобиля 4×2 в ней имеется раздаточная коробка 7, от которой крутящий момент подводится как к переднему, так и к заднему ведущим мостам через карданные передачи 4. Передний ведущий мост кроме главной передачи, дифференциала и полуосей в приводе колес имеет шарниры равных угловых скоростей 6, которые обеспечивают возможность подведения крутящего момента к передним ведущим управляемым колесам.

В механических трансмиссиях трехосных автомобилей крутящий момент к среднему и заднему ведущим мостам может подводиться одним общим валом (рис. 2, в) или отдельно двумя валами (рис. 2, г). В первом случае главная передача среднего моста имеет проходной вал. В раздаточных коробках трехосных автомобилей со всеми ведущими колесами предусмотрено устройство для выключения привода переднего моста (ЗиЛ-131) или установлен межосевой дифференциал 8, который распределяет крутящий момент в определенной пропорции между передним и двумя другими ведущими мостами. В трансмиссиях некоторых трехосных автомобилей межосевой дифференциал иногда устанавливают в картере среднего ведущего моста (КАМАЗ-5320).

У автомобилей с колесной формулой 8×8 при необходимости увеличения базы (расстояние между крайними осями) применяют потележечное расположение ведущих мостов, т. е. сближают передний мост со вторым и третий с четвертым. Управляемыми выполняют колеса двух передних мостов. При этом необходимы три раздаточные коробки с дифференциалами: одна межтележечная и две межосевые, соединен-

ные карданными передачами. На таких автомобилях иногда применяют два двигателя (рис. 2, б). В этом случае не нужна межтележечная раздаточная коробка, но необходимы два сцепления и две коробки передач. Межосевые раздаточные коробки целесообразно ставить не между мостами тележек, а между первым – третьим и вторым – четвертым мостами, как показано на рис. 2, б. При двух двигателях имеется возможность движения при одном работающем двигателе.

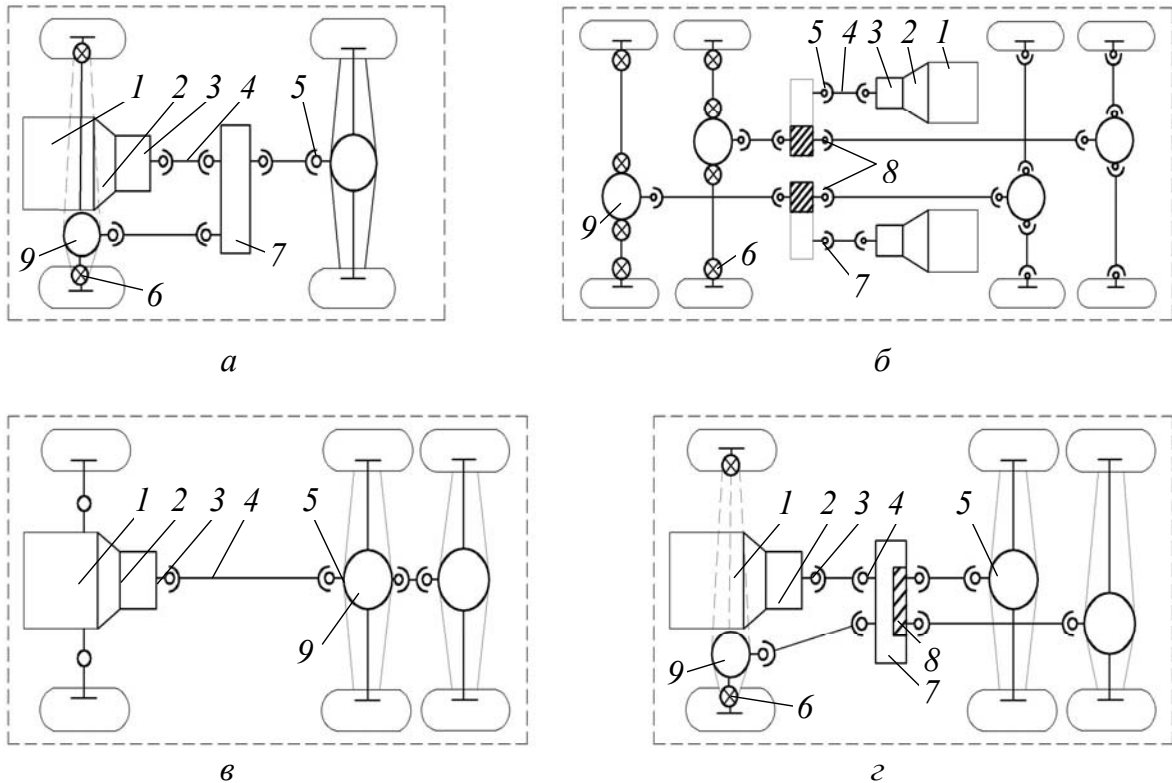


Рис. 2. Схемы механических трансмиссий автомобилей с колесными формулами 4×4 (а), 8×8 (б), 6×4 (в), 6×6 (г):

- 1 – двигатель; 2 – сцепление; 3 – коробка передач; 4 – карданная передача;  
 5 – карданные шарниры; б – шарниры равных угловых скоростей;  
 7 – раздаточная коробка; 8 – межосевой дифференциал; 9 – ведущий мост

В отдельных конструкциях полноприводных автомобилей с колесной формулой 6×6, 8×8 или 10×10 применяют бортовую трансмиссию (рис. 3, а). В такой трансмиссии крутящий момент от двигателя 1 через сцепление 2 и коробку передач 3 передается к межбортовой раздаточной коробке 5, в которой крутящий момент делится поровну между правым и левым бортами (колесами каждой стороны). От раздаточной коробки крутящий момент подводится к бортовым передачам 8, а от последних – к колесам. При этом у каждого колеса устанавливается своя главная передача (колесный редуктор) 7.

Оригинальная бортовая механическая трансмиссия применена на шасси БАЗ-135Л (рис. 3, б). При двух двигателях межбортовая раздаточная коробка не нужна, но нужны две бортовые раздаточные коробки 5, через которые от правого двигателя крутящий момент подводится к колесам правого борта, а от левого двигателя – к колесам левого борта. В трансмиссии нет ни одного дифференциала. При этом главная передача размещается у каждого ведущего колеса и состоит из колесного редуктора 7 и бортовой передачи 8. Колеса средних осей сближены, а крайних – разнесены, что связано с тем, что у автомобиля управляемыми выполнены колеса первой и четвертой осей.

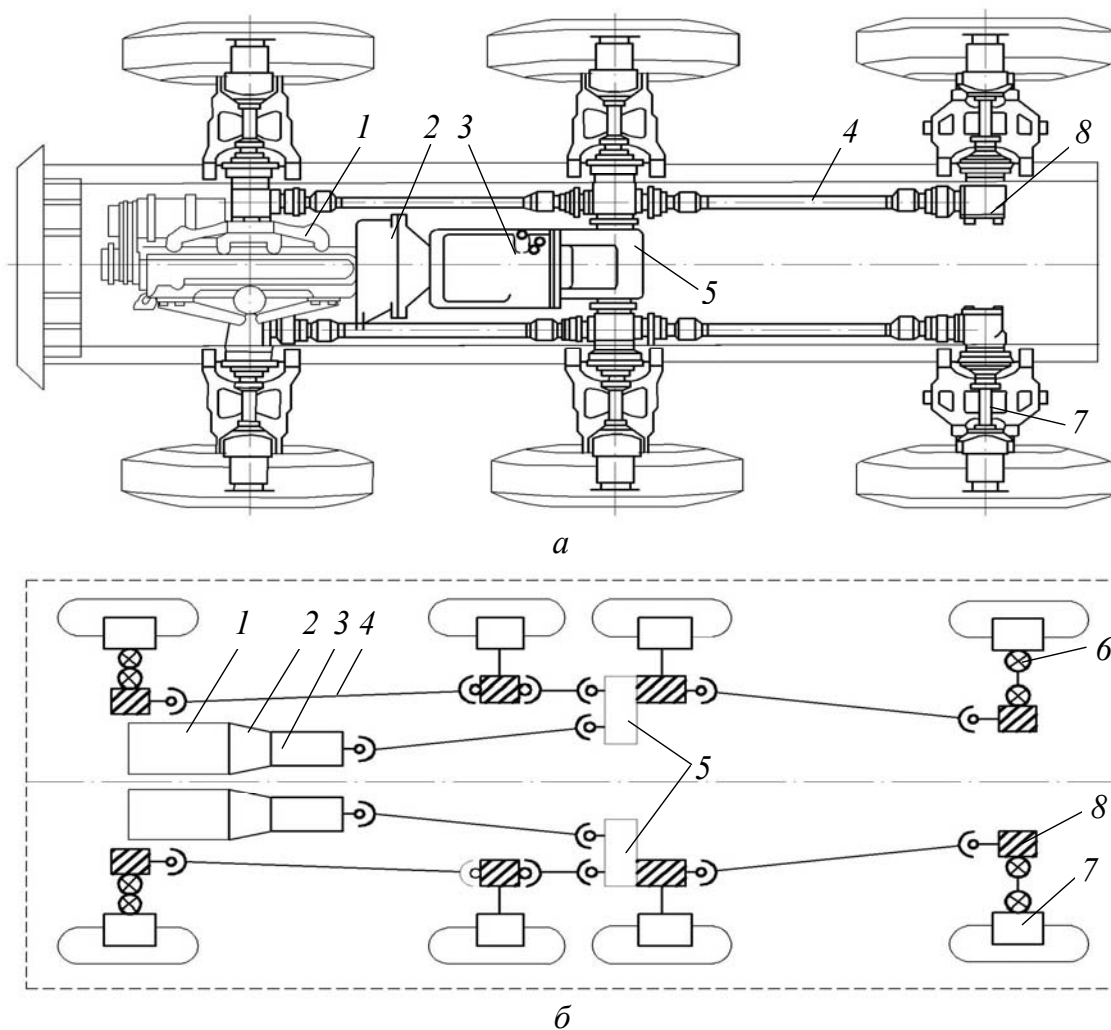


Рис. 3. Схемы бортовых механических трансмиссий 6×6 (а) и 8×8 (б):  
 1 – двигатель; 2 – сцепление; 3 – коробка передач; 4 – карданная передача;  
 5 – раздаточная коробка; 6 – карданные шарниры равной угловой скорости;  
 7 – колесный редуктор; 8 – бортовая передача

Бортовая трансмиссия по устройству значительно сложнее, поэтому ее применение ограничено.

## 1.2.2. Бесступенчатые механические передачи

В настоящее время производителями машин совместно с нефтекомпаниями ведутся интенсивные работы по созданию автоматических бесступенчатых коробок передач. Разрабатывается одновременно несколько направлений конструкционного решения создания такой передачи. Пока наибольшее распространение получили разработанные клиноременные передачи с использованием стального или армированного эластомерного ремня, которые уже устанавливаются на некоторые модели легковых автомобилей (Fiat, Ford, Honda и др.). Для жидкой среды бесступенчатой коробки передач разрабатываются специальные масла с определенными фрикционными свойствами при низкой скорости скольжения.

**Клиноременная передача** (рис. 4) относится к фрикционным бесступенчатым передачам.

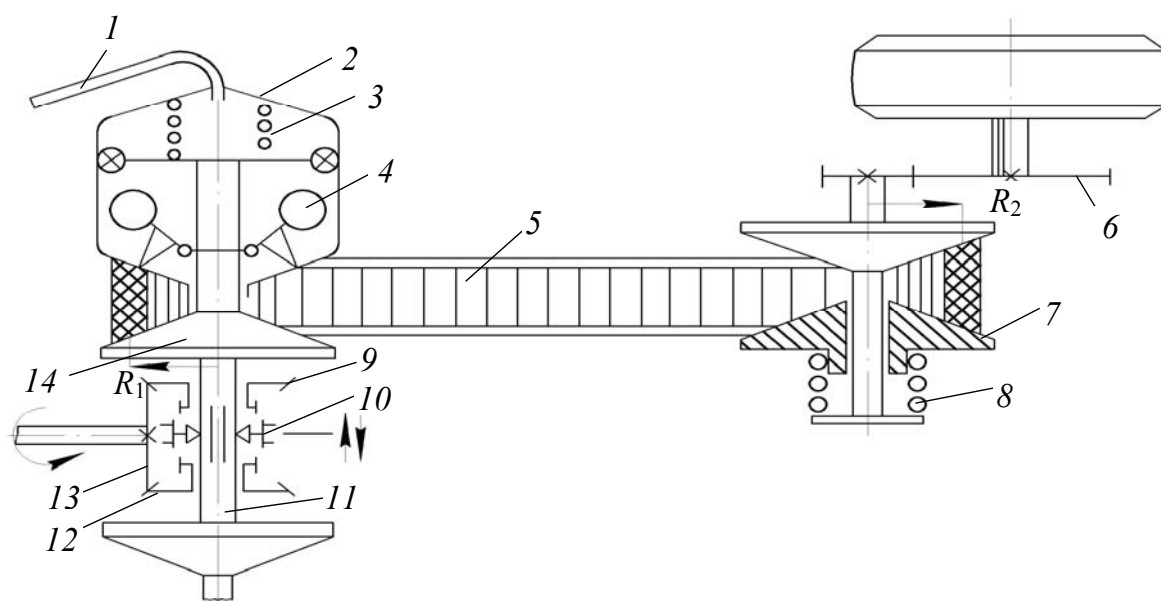


Рис. 4. Бесступенчатая клиноременная механическая передача:  
1 – трубопровод; 2 – полость разряжения; 3, 8 – пружины; 4 – груз;  
5 – ременная передача (ремень); 6 – редуктор; 7, 14 – ведомый и ведущий шкивы; 9, 12 – колеса; 10 – кулачковая муфта;  
11 – поперечный вал; 13 – шестерня

Крутящий момент от двигателя через центробежное сцепление передается конической шестерне 13 реверс-редуктора. С шестерней 13 находятся в зацеплении колеса 9 и 12, соединенные с поперечным валом 11 кулачковой муфтой 10, перемещающейся на шлицах. На обоих концах поперечного вала закреплены ведущие шкивы 14

клиноременной передачи, от которых крутящий момент через ремень 5 передается на ведомые шкивы 7 и далее через колесные редукторы 6 – на ведущие колеса автомобиля. Ремни имеют трапецеидальное сечение и выполнены зубчатыми для большей гибкости при высокой поперечной жесткости. Натяжение ремня осуществляется пружинами 3 и 8, сдвигающими подвижные половины ведомого и ведущего шкивов к неподвижным. Передаточное число равно отношению рабочих радиусов шкивов  $R_2$  к  $R_1$ .

При трогании автомобиля с места пружины 3 и 8 обеспечивают получение наибольшего передаточного числа. Половины ведомого шкива сдвинуты, а ведущего – раздвинуты. При разгоне автомобиля действуют силы от грузов 4 центробежного регулятора, пропорциональные скорости вращения коленчатого вала двигателя, и силы от разряжения в полости 2, соединенной с впускным коллектором двигателя – трубопроводом 1. Сумма этих сил преодолевает силу пружин 3 и 8, сдвигает половины ведущего шкива и раздвигает – ведомого. Таким образом, происходит бесступенчатое изменение передаточного числа.

Эта передача, выполняя также функции дифференциала повышенного трения, позволяет ведущим колесам вращаться с различной частотой при движении автомобиля на повороте.

Фрикционные передачи других типов устанавливались на автомобилях лишь в виде экспериментальных образцов.

На рис. 5, а приведена схема **лобового трансформатора**.

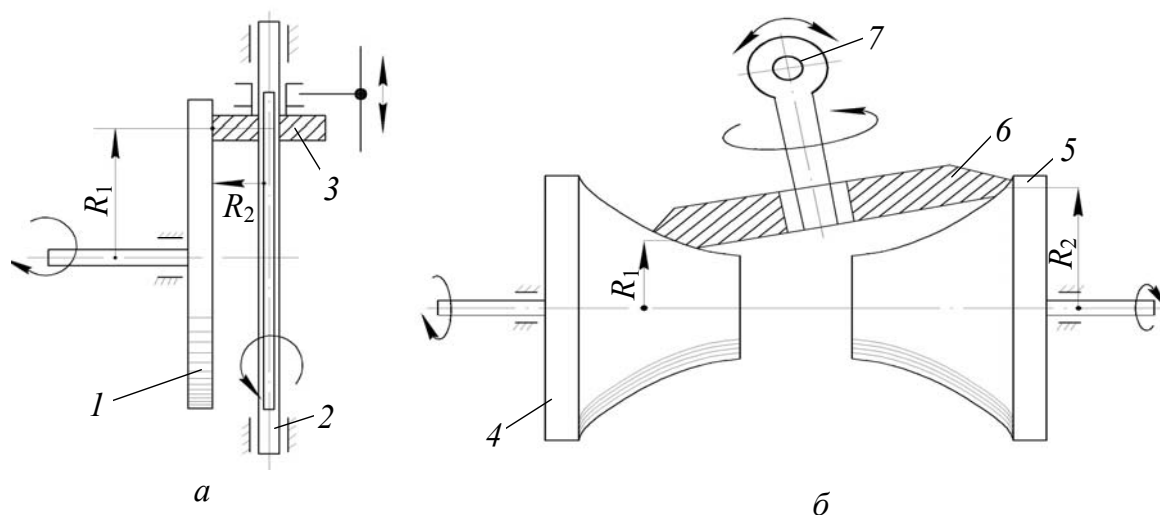


Рис. 5. Схема бесступенчатых механических передач:

а – лобового трансформатора; б – торoidalного трансформатора;

1, 3 – ведущее и ведомое фрикционные колеса; 2 – шпонка;

4, 5 – ведущее и ведомое торoidalные колеса; 6 – конический ролик; 7 – ось

Перемещая по шпонке ведомого вала 2 фрикционное колесо 3, прижатое к торцу ведущего фрикционного колеса 1, можно изменять расстояния  $R_1$ , а значит, и передаточное число, равное отношению радиусов  $R_2$  к  $R_1$ .

**Тороидный трансформатор** (рис. 5, б) состоит из ведущего 4 и ведомого 5 тороидных колес, к рабочим поверхностям которых прижат конический ролик 6. Поворачивая ролик 6 вокруг оси 7, можно изменять передаточное число, равное отношению радиусов  $R_2$  к  $R_1$ . Тороидный трансформатор соответствует планетарному механизму с остановленным водилом, но составленному не из зубчатых, а из тороидных фрикционных колес.

Существенным недостатком фрикционных передач является ускоренное изнашивание рабочих поверхностей в местах контакта их колес из-за необходимости применения больших сил прижатия, которые можно существенно уменьшить без увеличения размеров передачи за счет использования *многодисковых фрикционных передач с внешним* (рис. 6, а) или *внутренним контактом*.

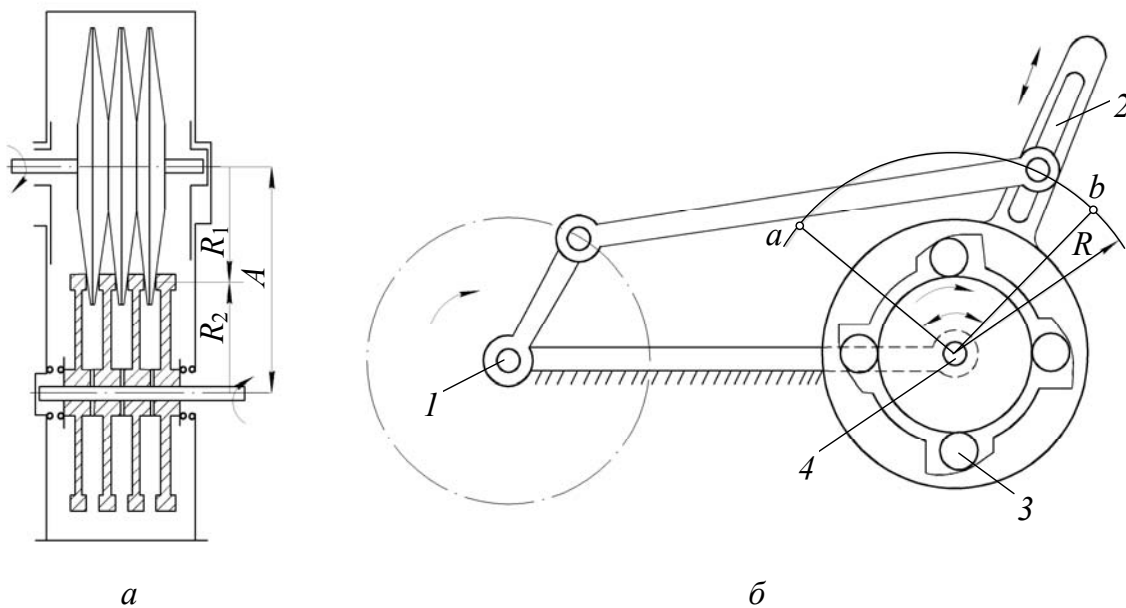


Рис. 6. Схемы механических бесступенчатых передач: многодисковой фрикционной с внешним контактом (а) и импульсной (б):

- 1 – коленчатый вал; 2 – промежуточная деталь;  
 3 – механизм свободного хода; 4 – ведомый вал

У любой фрикционной передачи крутящий момент от ведущего звена на ведомое передается за счет сил трения на поверхностях соприкасающихся твердых тел, причем для изменения передаточного

числа необходима специальная система управления. Проскальзывание поверхностей трения снижает КПД передачи.

**Импульсные передачи** (рис. 6, б) основаны на преобразовании вращательного движения коленчатого вала 1 двигателя в качательное движение (отклонение на угол  $\alpha$ ) промежуточной детали 2, которое вновь преобразуется с помощью механизма свободного хода 3 во вращательное движение ведомого вала 4. Передаточное число меняется путем изменения амплитуды качания (размера  $R_2$ ) промежуточного звена. Возвратное движение этого звена не передается механизмом свободного хода на ведомый вал 4. Однако если на валу 4 установить несколько таких механизмов с промежуточными деталями 2, размещенными равномерно по окружности, то вращение вала 4 будет непрерывным. Для реализации оптимальной загрузки двигателя импульсные передачи, выполненные по схеме, сходной с приведенной на рис. 6, б, должны иметь систему управления для изменения передаточного числа.

В импульсных передачах часто используют грузы, вращающиеся вокруг осей, не совпадающих с общей осью вращения, как в планетарных передачах. Такие передачи называются *инерционно-импульсными*. Они, как и гидродинамические передачи, обладают внутренней автоматичностью, но при этом имеют более высокий КПД при диапазоне изменения передаточного числа от 0 до 7–10.

Существенным недостатком всех импульсных передач является ускоренное изнашивание и разрушение деталей, в основном механизма свободного хода, из-за чередующихся с большой частотой ударных нагрузок, в 10–20 раз превышающих передаваемый момент, сопровождающих передачу крутящего момента импульсами.

### **1.2.3. Гидродинамические, гидромеханические, гидрообъемные передачи и трансмиссии**

Лесные машины с механическими трансмиссиями из-за значительного изменения характера внешней нагрузки имеют нерациональное использование мощности двигателя, а труд оператора характеризуется повышенной напряженностью. Кроме того, машины со ступенчатыми трансмиссиями отрицательно воздействуют на почву, особенно в момент трогания машины с места под нагрузкой. Эти недостатки практически отсутствуют у машин с бесступенчатыми трансмиссиями. Трансмиссии с гидродинамическими и гидрообъемными передачами позволяют получить в некотором ограни-



ченном диапазоне любое передаточное число, более полно загрузить двигатель, улучшить эргономические и экологические свойства машин, что позволяет им значительно улучшить технико-экономические показатели работы.

**Гидродинамические передачи.** В трансмиссиях современных лесных машин широкое распространение получают гидродинамические передачи. В отличие от механических, в них нет жестких связей между источником энергии и ее потребителем. Они состоят из лопастных колес с общей полостью, в которой находится рабочая жидкость. Механическая энергия вращения вала двигателя, подведенная к насосному колесу, преобразуется в кинетическую потока жидкости, которая в турбине превращается в механическую энергию вращения ведомого вала. После этого жидкость вновь поступает в насос.

Гидродинамическую передачу, преобразующую крутящий момент, называют *гидродинамическим трансформатором (гидротрансформатором)*, не преобразующую крутящий момент, – *гидродинамической муфтой (гидромуфтой)*, а обеспечивающую работу одного и того же агрегата в зависимости от внешней нагрузки как в режиме гидротрансформатора, так и в режиме гидромуфты – *комплексной гидродинамической передачей*.

Принципиальная схема гидромуфты показана на рис. 7, а. Основными ее элементами являются два лопастных колеса – ведущее 2 (насосное) с кожухом и ведомое 3 (турбинное). Ведущий вал 1 соединяется с двигателем машины, а ведомый 5 – с приводным валом трансмиссии. Рабочие колеса гидромуфты обычно выполняются с радиальными лопастями, причем число лопастей в насосе и турбине отличаются друг от друга, чтобы избежать резонансных вибраций. Рабочая полость гидромуфты, в которой находится рабочая жидкость (масло), образована пространством между лопатками колес и внутренней поверхностью кожуха.

При вращении насосного колеса 2 лопасти захватывают рабочую жидкость, которая под действием центробежной силы устремляется от центра к периферии. Создаваемый гидродинамический напор давит на периферийную часть лопаток турбинного колеса, при этом жидкость, двигаясь к центру, отдает свою энергию на его вращение, завершая круг циркуляции.

Чем быстрее вращается насосное колесо, тем больший крутящий момент передается гидромуфтой. Поэтому включение гидромуфты производится автоматически, когда передаваемый крутящий момент становится больше момента сопротивления на турбинном колесе.

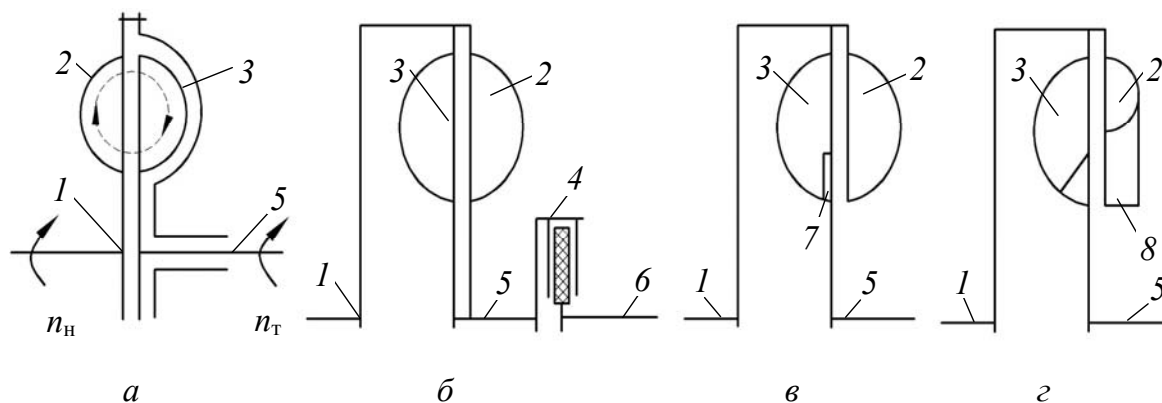


Рис. 7. Схемы гидромуфт:

- a* – принципиальная; *б* – с фрикционным сцеплением;  
*в* – с кольцевой перегородкой; *г* – с камерой опорожнения;  
 1 – ведущий вал; 2 – насосное колесо; 3 – турбинное колесо;  
 4 – фрикционное сцепление; 5 – ведомый вал; 6 – первичный вал КП;  
 7 – кольцевая перегородка; 8 – камера опорожнения

Гидромуфты по сравнению с фрикционными сцеплениями имеют следующие преимущества:

- снижают динамические нагрузки в трансмиссии машины и двигателя в 1,5–4,0 раза на переходных режимах;
- допускают длительную работу с большой пробуксовкой входного и выходного звеньев;
- не требуют регулировки в эксплуатации, так как детали гидромуфты практически не изнашиваются;
- упрощают управление машиной и повышают ее проходимость.

Однако гидромуфты имеют и недостатки. Они не обеспечивают полного выключения передачи, так как при вращении насосного колеса на турбинном колесе всегда есть остаточный момент, что затрудняет переключение передач. Кроме того, потери на скольжение в гидромуфте составляют не менее 2–4%, что приводит к снижению КПД передачи, производительности машин и перерасходу топлива.

Недостатки, свойственные гидромуфтам, устраняют различными способами. Для обеспечения полного выключения гидромуфты перед ней или за ней устанавливают фрикционное сцепление 4 (рис. 7, б), которое позволяет при переключении передач разорвать поток мощности между двигателем и коробкой перемены передач (КПП). Однако введение дополнительного фрикционного сцепления усложняет конструкцию передачи и увеличивает ее массу.

Если в трансмиссии за гидромуфтой установлена планетарная или с переключением на ходу КП, то роль сцепления выполняют фрикционные элементы управления КП.

К мероприятиям, улучшающим полноту выключения гидромуфты, следует отнести установку кольцевой перегородки 7 (рис. 7, в) в меридиональном сечении рабочей полости в месте выхода потока жидкости из турбинного колеса.

При большой частоте вращения насосного колеса центробежные силы, действующие на рабочую жидкость, велики, и циркулирующий поток располагается ближе к периферии меридионального сечения полости (сечение рабочей полости плоскостью, проходящей через ось вращения гидромуфты). В результате кольцевания перегородка 7 не препятствует движению потока жидкости. При снижении частоты вращения насосного колеса центробежные силы, действующие на жидкость, уменьшаются и поток жидкости приближается к центру меридионального сечения. В этом случае кольцевая перегородка препятствует циркуляции жидкости, что уменьшает остаточный момент на турбинном колесе.

С этой же целью лопатки насосного 2 (рис. 7, з) и турбинного 3 колес делают разной длины и под лопатками насосного колеса выполняют полость 8 (камера опорожнения). При снижении частоты вращения турбинного колеса камера заполняется, количество циркулирующей жидкости и остаточный момент на турбинном колесе уменьшаются.

Гидромуфты целесообразно применять на машинах, когда требуется часто изменять направление движения, переключать передачи при резком изменении рабочего сопротивления (лесопромышленные тракторы, бульдозеры, дорожно-строительные машины и т. д.).

**Гидродинамический трансформатор.** Включаемый между двигателем и трансмиссией машины гидротрансформатор (ГТР) представляет собой гидравлический механизм, обеспечивающий автоматическое изменение передаваемого от двигателя крутящего момента в соответствии с изменениями нагрузки на ведомом валу коробки передач. В гидротрансформаторе (рис. 8, а) имеется три рабочих колеса с криволинейными лопатками (вращающееся насосное 2, турбинное 4 и колесо-реактор 3), которые установлены внутри корпуса 8, закрепленного на маховике 9 (рис. 8, б) двигателя. Внутренняя часть корпуса 8 является рабочей полостью ГТР, которая заполняется циркулирующим под давлением маслом.

Колесо-реактор 3 установлено на неподвижном пустотелом валу 6, закрепленном на картере гидротрансформатора. Муфта свободного хода 7 позволяет колесу-реактору 3 вращаться только в одном направлении попутно с вращением насосного колеса 2, которое

соединено с корпусом ГТР 8 (ротором) и через него – с коленчатым валом 1 двигателя. Турбинное колесо 4 связано через ведомый вал 5 с трансмиссией машины.

Корпус гидротрансформатора в сборе с рабочими колесами расположен на подшипниках внутри закрытого неподвижного картера, передняя часть которого является опорой ГТР. При работе гидротрансформатора масло, нагнетаемое в рабочую полость, захватывается лопатками вращающегося насосного колеса, отбрасывается центробежной силой вдоль криволинейных лопаток к его наружной окружности и поступает на лопатки турбинного колеса.

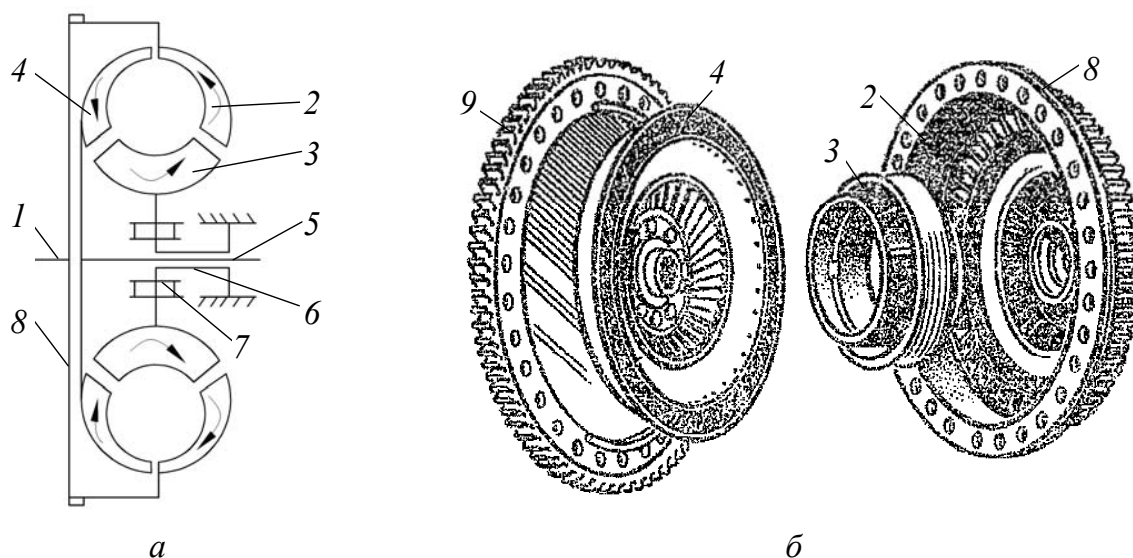


Рис. 8. Гидротрансформатор:

*a* – схема работы; *б* – основные детали;

1 – ведущий и ведомый валы; 2, 4 – насосное и турбинное колеса;  
3 – колесо-реактор; 6 – пустотелый вал; 7 – муфта свободного хода;  
8 – корпус ГТР; 9 – маховик

В результате создаваемого при этом напора масла турбинное колесо приводится в движение вместе с ведомым валом. Далее масло поступает на лопатки колеса-реактора, изменяющего направление потока жидкости, и затем в насосное колесо, непрерывно циркулируя по замкнутому кругу рабочей полости и участвуя в общем вращении с колесами ГТР, как указано стрелками (рис. 8, *a*). От давления масла, приложенного к турбинному колесу, заклинивается муфта свободного хода, благодаря чему колесо-реактор становится неподвижным. Наличие неподвижного колеса-реактора способствует возникновению на лопатках реактора реактивного момента, действующего через жидкость на лопатки турбинного колеса дополнительно к моменту,

передаваемому на него от насосного колеса. Следовательно, колесо реактора дает возможность получать на валу турбинного колеса крутящий момент, отличный от момента, передаваемого двигателем.

Чем медленнее вращается турбинное колесо (по сравнению с насосным) от приложенной к валу турбинного колеса внешней нагрузки, тем значительнее лопатки реактора изменяют направление проходящего через него потока жидкости и тем больший дополнительный момент передается от колеса-реактора турбинному колесу, в результате чего увеличивается крутящий момент, передаваемый от его вала на трансмиссию.

Способность ГТР автоматически изменять (трансформировать) соотношение моментов на валах в зависимости от соотношения частоты вращения ведущего и ведомого валов, а следовательно, и от внешней нагрузки является его основной особенностью. Таким образом, действие гидротрансформатора подобно действию коробки передач с автоматическим изменением передаточных чисел. Так как диапазон изменения крутящего момента ГТР недостаточен для различных условий движения машины и не обеспечивает получение передачи заднего хода, на автомобилях и тракторах гидротрансформатор устанавливают с механической коробкой передач, соединяя их последовательно или параллельно. Такие передачи получили название *гидромеханических*.

***Гидромеханические передачи.*** Гидромеханические передачи (ГМП) включают гидравлические и механические преобразователи крутящего момента. В практике автотракторостроения почти исключительное распространение получили ГМП с гидродинамическими трансформаторами, при этом возможны последовательное и параллельное соединения их с механической частью трансмиссии. Сочетание гидротрансформатора с механической коробкой передач последовательно в однопоточную трансмиссию обеспечивает расширение диапазона тяговых усилий и скоростей движения машины. Параллельное соединение этих передач приводит к некоторому повышению КПД в целом, но сужает диапазон изменения силового и кинематического передаточных чисел. Такой тип передач называют двухпоточным. В однопоточных трансмиссиях вся мощность двигателя последовательно проходит через агрегаты трансмиссии. От двигателя мощность поступает на насосное колесо гидротрансформатора (при необходимости между ДВС и ГТР устанавливается согласующий редуктор) и с ведомого вала передается на ведущий вал коробки передач.

В качестве механических ступеней в гидромеханической трансмиссии (ГМТ) используются планетарные или вальные ступенчатые коробки передач с переключением передач с разрывом или без разрыва потока мощности. В случае применения ступенчатых КПП необходимо сохранить в ГМТ фрикционное сцепление. Системы управления КПП чаще всего выполняют гидравлическими или гидроэлектрическими.

Планетарные коробки передач редко применяются как самостоятельные многоступенчатые механические преобразователи момента. Они являются в основном составной частью ГМП. На рис. 9 приведена в качестве примера схема комбинированной ГМП с планетарной трехскоростной коробкой передач трелевочного трактора «Caterpillar 518».

Управляется коробка одним рычагом с двумя степенями свободы, действующими на три золотника гидросистемы управления трансмиссией.

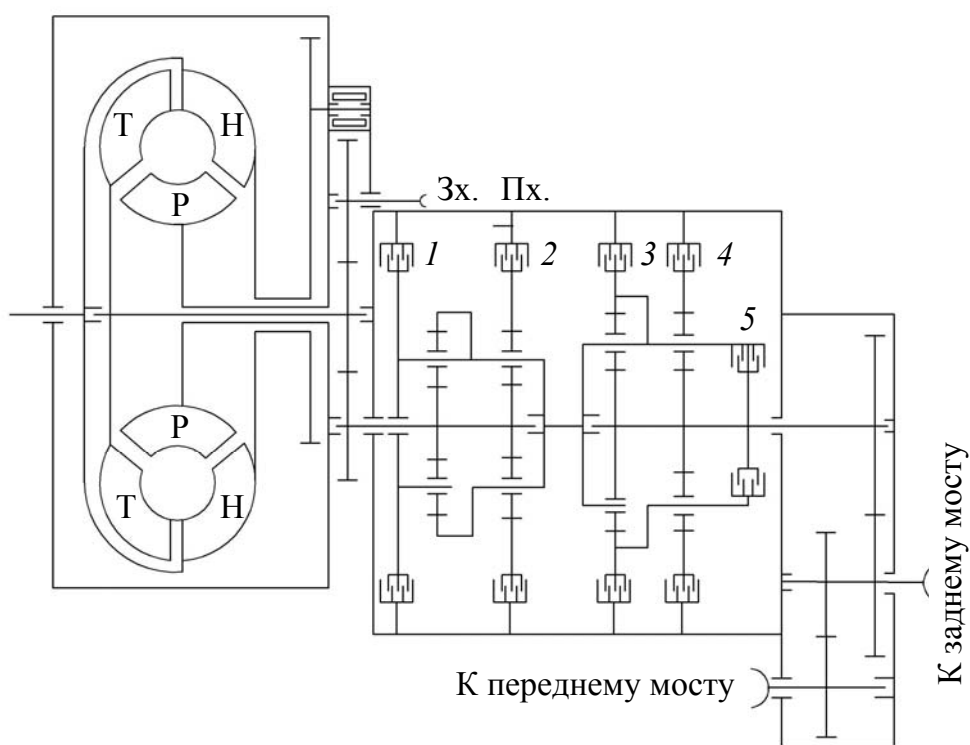


Рис. 9. Схема ГМП с планетарной трехскоростной коробкой передач:  
1–4 – дисковые тормоза; 5 – дисковая муфта

Коробка передач состоит из четырех планетарных рядов, четырех дисковых тормозов 1–4 и дисковой муфты 5. Первые два планетарных ряда (1, 2) служат механизмом направления движения (реверсом). Два

остальных ряда (3 и 4) и фрикцион 5 составляют собственно коробку передач и обеспечивают три скорости движения трактора. Таким образом, коробка передач имеет три ступени вперед и три назад. Режим движения выбирается в соответствии с табл. 1.

Таблица 1

**Выбор режима движения трактора «Caterpillar 518» с планетарной трехскоростной коробкой передач**

Передача	I	II	III
Тормоз и фрикцион, вперед / назад	T2, Ф / T1, Ф	T2, T4 / T1, T4	T2, T3 / T1, T3

На рис. 10 приведена схема ГМП с двухступенчатой коробкой передач. В нее входят гидротрансформатор 21, система управления (на рис. 10 не показана) и механическая ступенчатая коробка передач, к которой относятся: ведущий 22, ведомый 9, промежуточный 16 валы с зубчатыми колесами, многодисковые фрикционные сцепления 2, 3, 20 (фрикционы), зубчатые венцы 4 и 6, а также зубчатая муфта 5, перемещаемая пружиной 7 или сжатым воздухом, выпускаемым в цилиндр 8. Коробка имеет центробежный регулятор 12 и шестеренные насосы 18 и 19.

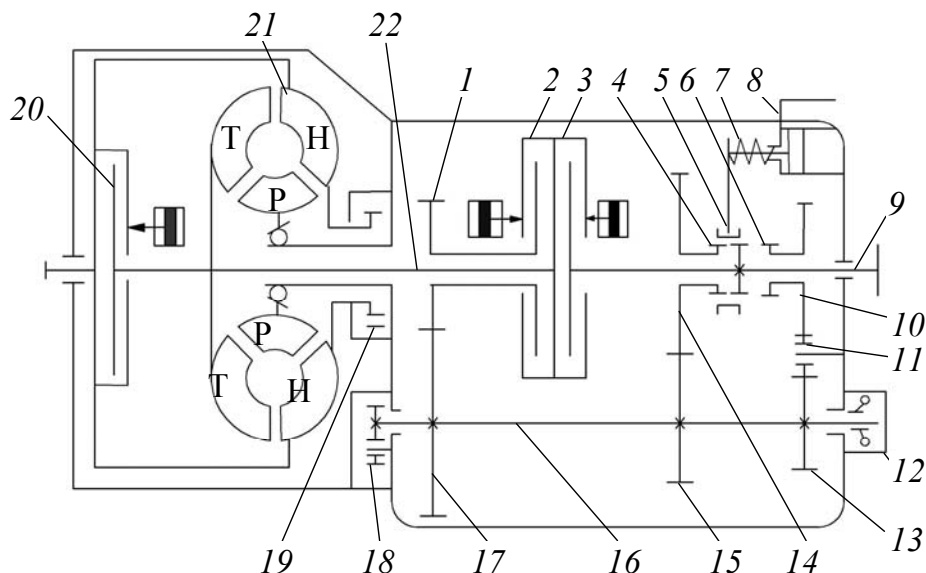


Рис. 10. Схема гидромеханической передачи с двухступенчатой коробкой передач (двухскоростной):

- 1, 10, 11, 13–15, 17 – зубчатые колеса; 2, 3, 20 – фрикционы; 4, 6 – зубчатые венцы; 5 – зубчатая муфта; 7 – пружина; 8 – цилиндр; 9, 16, 22 – ведомый, промежуточный и ведущий валы; 12 – центробежный регулятор; 18, 19 – шестеренные насосы; 21 – гидротрансформатор

В нейтральном положении фрикционы 2, 3, 20 выключены, и крутящий момент на вал 9 не передается. На первой (понижающей) передаче системой управления включается фрикцион 2. Крутящий момент передается через гидротрансформатор, фрикцион 2, зубчатые колеса 1, 17, 15 и 14, зубчатую муфту 5 на ведомый вал 9. Переключение на вторую (прямую) передачу происходит автоматически с одновременным выключением фрикциона 2 и включением фрикциона 3, через который момент от вала 22 передается на ведомый вал 9. При включении фрикциона 20 соединяются насосное и турбинное колеса гидротрасформатора.

Для движения задним ходом зубчатая муфта 5 перемещается в правое положение. Затем включается фрикцион 2, при этом крутящий момент передается через гидротрансформатор, фрикцион 2, зубчатые колеса 1, 17, 13, 11, 10, зубчатую муфту 5 на ведомый вал 9, который вращается в направлении, противоположном вращению вала 22.

*Гидромеханические передачи с последовательным соединением агрегатов (полнопоточные)* имеют большой диапазон регулирования и получили широкое распространение несмотря на низкий КПД.

Более высоким КПД обладают *двухпоточные (дифференциальные) гидромеханические передачи*, в которых мощность передается двумя потоками через механические и гидравлические звенья. Такая передача обычно состоит из гидротрансформатора и дифференциального звена, выполненного в виде трехзвенного дифференциального механизма со смешанным или внешним зацеплением шестерен. При этом через гидротрансформатор передается только часть мощности, остальная же мощность передается через механическую передачу, имеющую значительно более высокий КПД по сравнению с ГТМ.

Рассмотрим наиболее часто применяемую схему двухпоточной ГМП с дифференциальным звеном на выходе, выполненным в виде планетарного механизма со смешанным зацеплением шестерен (рис. 11). Здесь мощность с ведущего вала 1 на ведомый вал 5 передается двумя потоками. Первый поток мощности передается механическим путем через солнечную шестерню 6, сателлиты 3 и водило 4. Второй поток мощности передается через насосное колесо Н на турбину Т комплексной гидропередачи и далее через коронную шестерню 2, сателлиты 3 и водило 4. Таким образом, на водиле 4 суммируются два потока мощности.



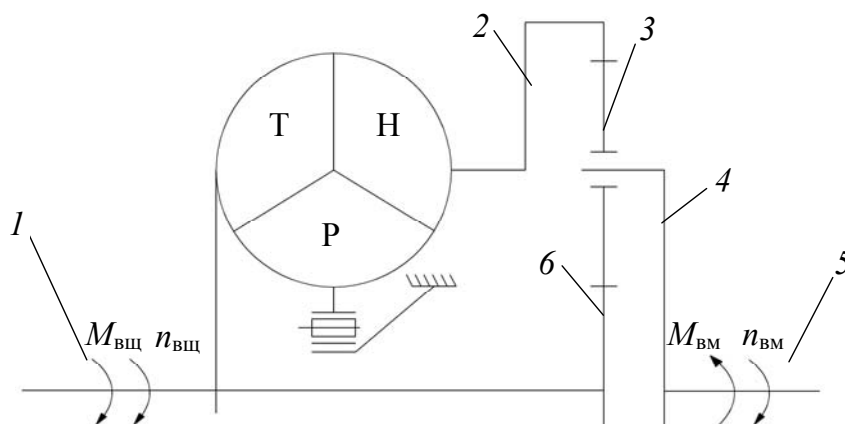


Рис. 11. Схема двухпоточной гидромеханической передачи с дифференциальным звеном на выходе:

1 – ведущий вал; 2 – коронная шестерня; 3 – сателлит; 4 – водило;  
5 – ведомый вал; 6 – солнечная шестерня; Н – насосное колесо;  
Т – турбинное колесо; Р – реактор

Поскольку в двухпоточной ГМП только часть мощности двигателя передается через комплексную гидропередачу, то общий КПД такой передачи выше, чем полнопоточной ГМП.

**Гидрообъемные передачи и трансмиссии.** Гидрообъемные передачи (ГОП) основаны на принципе передачи энергии давлением жидкости. При этом рабочее усилие или крутящий момент практически не зависят от скорости движения рабочей жидкости.

В ГОП должны быть минимум две гидравлические машины, соединенные между собой трубопроводами: объемный гидронасос, преобразующий крутящий механический поток в поступательный силовой гидравлический поток энергии, и гидромотор, преобразующий гидравлический поток в крутящий механический поток энергии (крутящий момент).

Основными достоинствами гидрообъемных трансмиссий являются:

- бесступенчатое регулирование в широком диапазоне и плавная передача крутящего момента на ведущие колеса;
- большая свобода компоновки трансмиссии и сравнительная простота подвода мощности к ведущим колесам;
- возможность реверсирования хода машины и регулируемого торможения его ведущих колес без дополнительных устройств;
- предохранение двигателя и трансмиссии от перегрузок;
- легкость и простота управления.

Достоинства в сочетании с широким применением гидрофицированного технологического оборудования способствуют использованию

этих передач в конструкциях как зарубежных, так и отечественных лесозаготовительных машин. Использование единой насосной станции для тяговых гидродвигателей и гидросистем технологического оборудования позволяет снизить массу машины.

Лесосечные машины с гидрообъемной трансмиссией способны обеспечить более высокую производительность за счет бесступенчатого изменения скорости движения и тягового усилия, особенно при работе в тяжелых и резкопеременных режимах движения, характерных для лесозаготовок.

В трансмиссиях лесных машин ГОП могут применяться как для регулирования скорости и тяги самой машины, так и для привода ведущих мостов активных прицепов. Из многообразия возможных схем трансмиссий с объемным приводом выделим наиболее характерные для автомобилей и тракторов.

На рис. 12, *а* показана схема моноблочной компоновки регулируемых насоса и мотора (т. е. насос и мотор объединены в один блок). Такая гидрообъемная передача устанавливается вместо сцепления и коробки передач и выполняет их функции. Остальные агрегаты механической трансмиссии остаются без изменений.

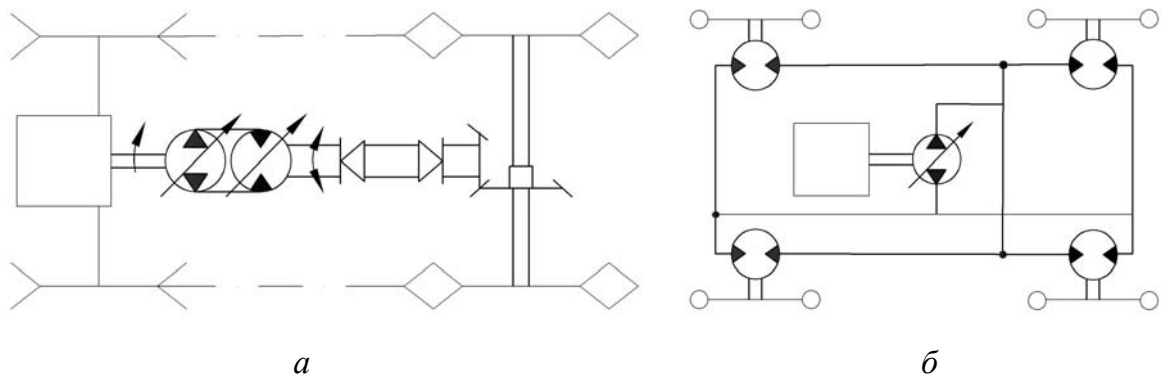


Рис. 12. Схемы моноблочной гидрообъемной передачи (*а*) и гидрообъемной трансмиссии с индивидуальным приводом ведущих колес (*б*)

Схема обеспечивает широкий диапазон регулирования скорости и тяги за счет последовательного или одновременного регулирования насоса и мотора. Однако КПД трансмиссии, выполненной по этой схеме, ниже более распространенной системы управления только насосом.

На рис. 12, *б* показана схема раздельного расположения гидроагрегатов в трансмиссии колесной машины. Насос расположен отдельно от гидромоторов, которые снесены к ведущим колесам.

В связи с тем, что потери при перемещении замкнутого объема жидкости от насоса к мотору незначительны, их можно располагать на некотором удалении друг от друга. Это свойство гидрообъемной передачи дает широкие возможности компоновки многоприводных машин и активных прицепов. Изменение скорости движения осуществляется регулированием насоса, а требуемый диапазон регулирования с сохранением высоких значений КПД осуществляется последовательным отключением (включением) привода каждого моста. Гидромоторы могут быть встроены в ведущие колеса или установлены вне колес.

В первом случае гидромотор непосредственно связан с колесом, во втором между ними осуществляется механическая связь. Такой привод имеет свойства автомобильного дифференциала. При работе ведущего моста гидромоторы правого и левого колес образуют гидравлический дифференциал, который аналогичен по своему влиянию на проходимость машины механическому дифференциалу с малым трением. Чтобы избежать влияния этого явления на проходимость, в гидрообъемных трансмиссиях предусматривают систему автоматических или управляемых клапанов, которые отключают буксующее колесо от нагнетательной ветви, и весь поток жидкости направляется на небуксующее колесо.

Схема возможной компоновки многоосной полноприводной колесной машины высокой проходимости показана на рис. 13, которая позволяет значительно повысить проходимость благодаря большому клиренсу, а также плавности изменения момента на ведущих колесах. Последовательное отключение ведущих мостов при движении по хорошим дорогам позволяет сохранять высокие КПД трансмиссии.

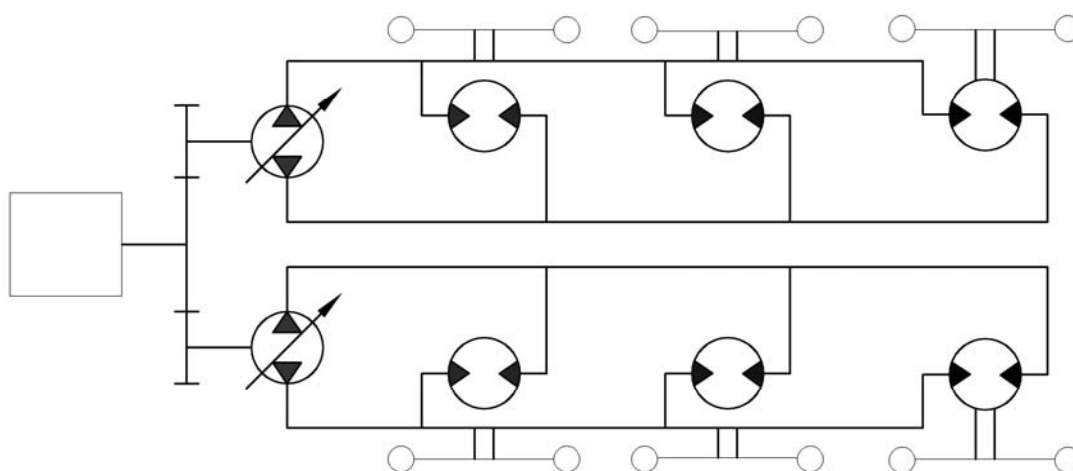


Рис. 13. Схема гидрообъемной трансмиссии с двумя насосами и бортовым приводом ведущих колес

Система бортового привода ведущих колес включает двигатель, приводящий в действие два насоса, каждый из которых питает гидромоторы своего борта. Изменяя частоту вращения колес одного из бортов, можно плавно поворачивать транспортным средством, а при его реверсировании осуществляется поворот на месте, что способствует повышению маневренности.

На отечественных и зарубежных лесных машинах получили распространение существующие способы регулирования гидроприводов: изменением рабочего объема насоса (наиболее распространенный), мотора, частоты вращения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания, приводящего в работу объемный насос.

В гидрообъемных передачах широкое распространение получили аксиально-поршневые и радиально-поршневые гидромашины. В качестве гидромоторов ведущих колес применяют радиально-поршневые гидромашины, являющиеся высокомоментными. Более широкое распространение получили аксиально-поршневые гидромашины (рис. 14) с торцовым распределителем и высокой частотой вращения ведущего вала ( $1500\text{--}2500\text{ мин}^{-1}$ ), которые имеют высокий КПД в диапазоне регулирования подачи  $0,1\text{--}1,0$  и могут работать при давлении жидкости до  $45\text{ МПа}$  в режиме мотора или насоса.

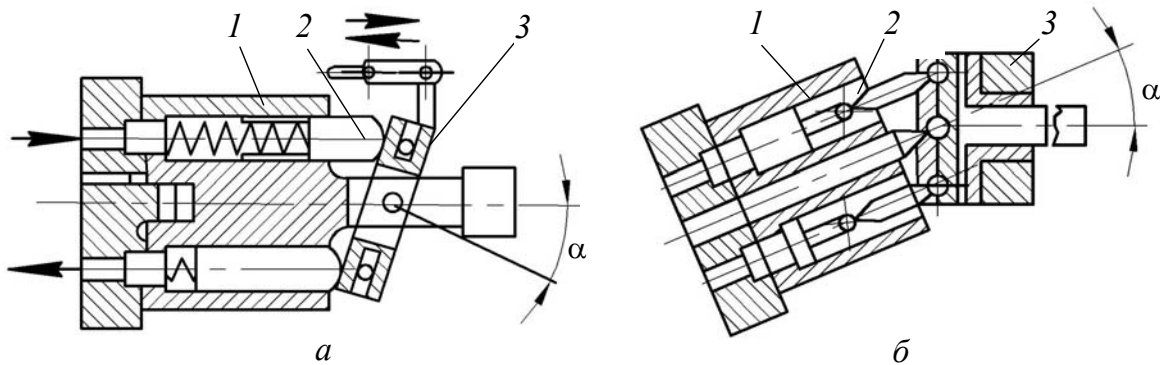


Рис. 14. Схемы аксиально-поршневых гидромашин:  
*а* – с наклонной шайбой; *б* – с наклонным блоком;  
*1* – блок цилиндров; *2* – цилиндр (плунжер); *3* – шайба

В аксиально-поршневом насосе (рис. 14) цилиндры небольшого диаметра (до  $25\text{ мм}$ ) объединены в блок *1*. Поршни *2*, помещенные в цилиндры, могут перемещаться в них под действием шайбы *3* (рис. 14, *а*) или блока *1* (рис. 14, *б*). Регулирование подачи осуществляется изменением хода поршней в цилиндрах наклоном шайбы или блока на угол  $\alpha$  до  $30^\circ$  относительно нейтрального (среднего) положения. Каждый агрегат имеет  $7\text{--}9$  цилиндров. Аксиальное расположение

поршней и относительно высокая частота вращения ведущего вала обеспечивают преимущества аксиально-поршневых машин по массе, габаритным размерам и стоимости относительно насосов других типов.

Большинство лесных тракторов современного технического уровня оснащаются гидромеханическими и гидрообъемными трансмиссиями, что позволяет им лучше приспособиться к сложным природно-производственным условиям, повысить эргономические и экологические свойства и обеспечить, таким образом, высокие технико-экономические показатели.

### **1.3. Трансмиссии лесных колесных и гусеничных машин**

На лесовозных машинах и трелевочных тракторах наибольшее распространение получили механические трансмиссии. Они отличаются простотой конструкции, высокой надежностью, небольшим весом, высоким КПД и невысокой стоимостью.

На вывозке леса используются в основном *полноприводные* автомобили с колесными формулами 4×4 и 6×6 (рис. 15), крутящий момент двигателя 1 которых через сцепление 2 передается к коробке передач 3. В коробке передач 3 крутящий момент изменяется в соответствии с включенной передачей и через карданную передачу 4 поступает к раздаточной коробке 5, от которой подводится к переднему и заднему ведущим мостам.

Ведущий мост 6 автомобиля включает в себя главную передачу с межколесным дифференциалом. Главная передача имеет постоянное передаточное число и увеличивает поступающий на нее крутящий момент. Межколесный дифференциал распределяет крутящий момент между правым и левым колесами и позволяет им вращаться с различной угловой скоростью. От дифференциала к ведущим колесам крутящий момент передается полуосями 8, через бортовые 7 (МАЗ-509) или колесные 11 (МАЗ-5434) редукторы.

Передние ведущие мосты в приводе колес имеют карданные шарниры 10, которые передают крутящий момент к управляемым колесам. Привод переднего моста может быть отключаемым (ЗиЛ-131, КрАЗ-643721) или дифференциальным (МАЗ-509, МАЗ-5434, Урал-4320). Во втором случае в раздаточной коробке предусматривается межосевой дифференциал 9 (рис. 15), который распределяет крутящий момент между ведущими мостами в определенном соотношении и позволяет ведущим колесам вращаться с различной угловой скоростью.

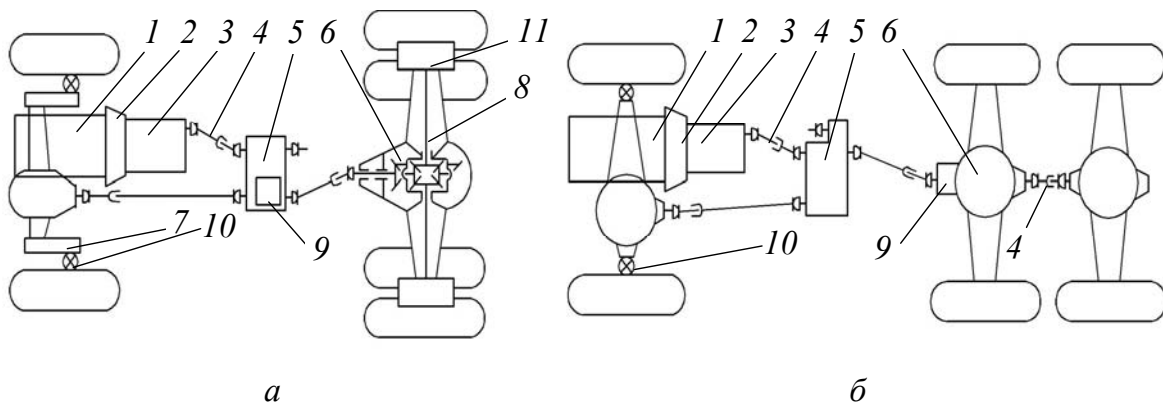


Рис. 15. Структурные схемы трансмиссий:

*a* – автомобиль 4×4; *б* – автомобиль 6×6 с проходным мостом;  
 1 – двигатель; 2 – сцепление; 3 – коробка передач; 4 – карданная передача; 5 – раздаточная коробка; 6 – ведущий мост; 7, 11 – бортовой и колесный редукторы; 8 – полуось; 9 – дифференциал; 10 – карданный шарнир

У трехосных автомобилей привод среднего и заднего мостов может быть общим (ЗиЛ-131, Урал-4320) или раздельным (КрАЗ-643721). В первом случае на трехосных автомобилях с проходным мостом применяют главную передачу с проходным валом (рис. 15, *a*) либо в картере среднего ведущего моста размещают межосевой дифференциал 9 (КАМАЗ-43101, КрАЗ-6437, ЗиЛ-133Г). При раздельном приводе мостов межосевой дифференциал устанавливают в раздаточной коробке, расположенной между средним и задним ведущими мостами.

На рис. 16 представлены схемы трансмиссий гусеничных трелевочных тракторов ТДТ-55А, ТЛТ-100 Онежского (ОТЗ) и Алтайского (АТЗ) тракторных заводов.

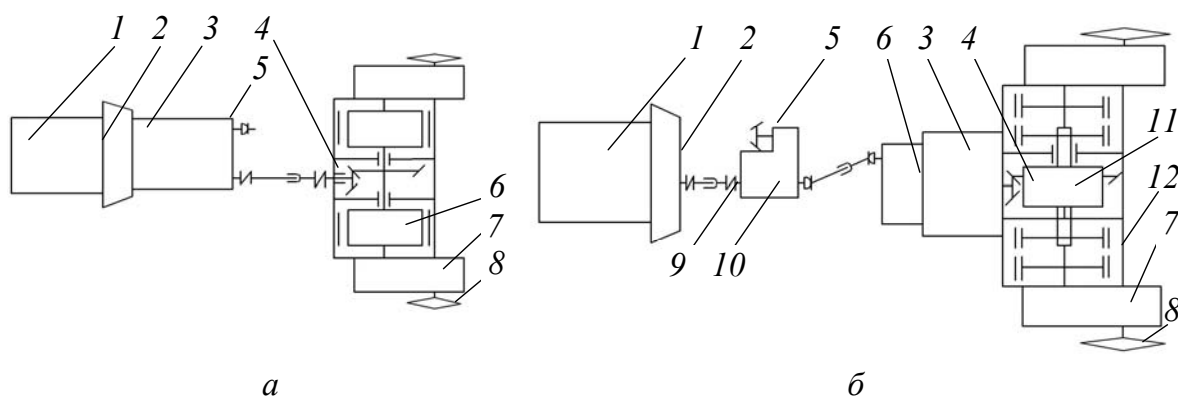


Рис. 16. Структурные схемы трансмиссий гусеничных трелевочных тракторов:  
*a* – с фрикционными муфтами поворота; *б* – с планетарным механизмом поворота;  
 1 – двигатель; 2 – сцепление; 3 – коробка передач; 4 – главная передача;  
 5 – привод на лебедку; 6 – фрикционная муфта поворота; 7 – конечная передача; 8 – ведущая звездочка; 9 – карданная передача; 10 – карданный шарнир; 11 – сдвоенный редуктор; 12 – планетарный механизм

У тракторов ОТЗ (рис. 16, а) крутящий момент от двигателя 1 через сцепление 2 поступает к коробке передач 3, предусматривающей привод 5 на лебедку, далее через карданную 9 и главную 4 передачи к фрикционным муфтам поворота 6, конечным передачам 7 и ведущим звездочкам 8. На тракторах ОТЗ получили распространение сухие, постоянно замкнутые *многодисковые фрикционные муфты поворота* (рис. 17).

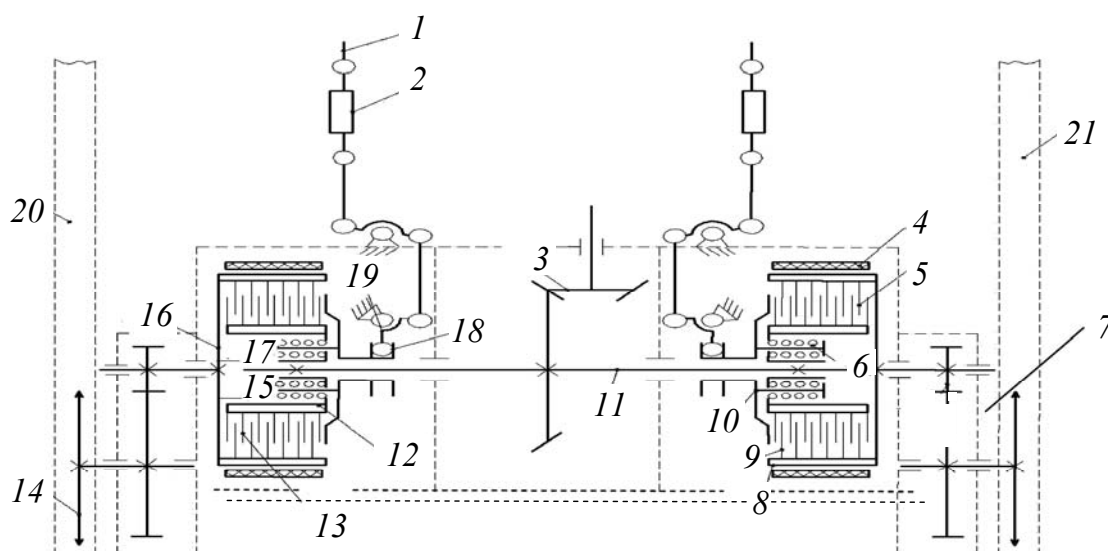


Рис. 17. Задний мост гусеничного трактора с многодисковой муфтой поворота:  
 1 – тяга; 2 – гидроусилитель; 3 – главная передача; 4 – ленточный тормоз;  
 5 – опорный диск; 6 – пружина; 7 – бортовая передача; 8 – ведомый барабан;  
 9 – ведомые диски; 10 – нажимной диск; 11 – поперечный вал; 12 – ведущий барабан; 13 – ведущие диски; 14 – ведущая звездочка; 15 – палец;  
 16 – несущий диск; 17 – седло пружины; 18 – механизм выключения;  
 19 – рычаг; 20 – левая гусеница; 21 – правая гусеница

Управление муфтами поворота и тормозами заблокировано и осуществляется из кабины трактора через систему тяг и рычагов. При повороте вначале выключается муфта, а затем включается тормоз. При прямолинейном движении трактора обе муфты поворота замкнуты, а тормоза выключены. Крутящий момент от поперечного вала главной передачи передается через шлицевые соединения ведущим барабанам, от них ведущим дискам и затем ведомым дискам. Ведомые диски своими зубьями вращают ведомый барабан, соединенный болтами с несущим диском бортовой передачи, которая передает крутящий момент ведущей звездочке.

Для поворота трактора необходимо выключить муфту, обращенную к центру поворота, при этом сжатие ведущих и ведомых дисков прекращается, и они проворачиваются друг относительно друга.

В зависимости от степени пробуксовки дисков выключенной муфты к отстающей гусенице подводится меньшее значение крутящего момента, что вызывает замедление ее поступательной скорости движения. Забегающая гусеница передает больший крутящий момент, продолжая двигаться с той же линейной скоростью. За счет разности подводимых крутящих моментов и скоростей движения гусениц происходит поворот трактора. Для поворота на месте необходимо при полностью выключенной муфте затянуть ленточный тормоз, охватывающий ведомый барабан выключенной муфты.

Многодисковые фрикционные муфты поворота устанавливаются на трелевочных и лесохозяйственных тракторах ОТЗ, а также на промышленных тракторах Челябинского тракторного завода.

В трансмиссии трелевочного трактора ТТ-4 (рис. 16, б) крутящий момент от двигателя 1 через сцепление 2 и карданную передачу 9 передается к раздаточной коробке 10, от которой осуществляется отбор мощности на привод лебедки 5. Далее крутящий момент передается к двухступенчатому реверс-редуктору 6, коробке передач 3 и главной передаче 4, которая конструктивно объединена с планетарным сдвоенным редуктором 11, представляющим вместе с тормозным механизмом 12 планетарный механизм поворота (ПМП). От ПМП крутящий момент через конечные передачи 7 подводится к ведущим звездочкам 8.

На трелевочных тракторах АТЗ, а также на большинстве сельскохозяйственных гусеничных тракторов применяют *планетарные механизмы поворота*. По конструктивному исполнению планетарные механизмы поворота могут быть *разнесенного* типа (каждый на свой борт) и *сдвоенного* типа, размещаемого в одном узле с главной передачей.

При прямолинейном движении трактора с планетарным механизмом поворота разнесенного типа (рис. 18, а) тормоза корпусов ПМП затянуты, а тормоза водила отпущены. При этом коронные шестерни, жестко закрепленные в корпусах ПМП, неподвижны, а крутящий момент, подводимый к главной передаче, передается на поперечный вал заднего моста, распределяющего его поровну между механизмами поворота при равном сопротивлении перемещению гусениц. Солнечные шестерни, вращающиеся вместе с поперечным валом, заставляют обкатываться сателлиты по неподвижной коронной шестерне, при этом оси сателлитов заставляют вращаться водило, связанное соединительным валом с ведущей шестерней бортовой передачи. Далее вращение передается на ведущие звездочки гусениц.



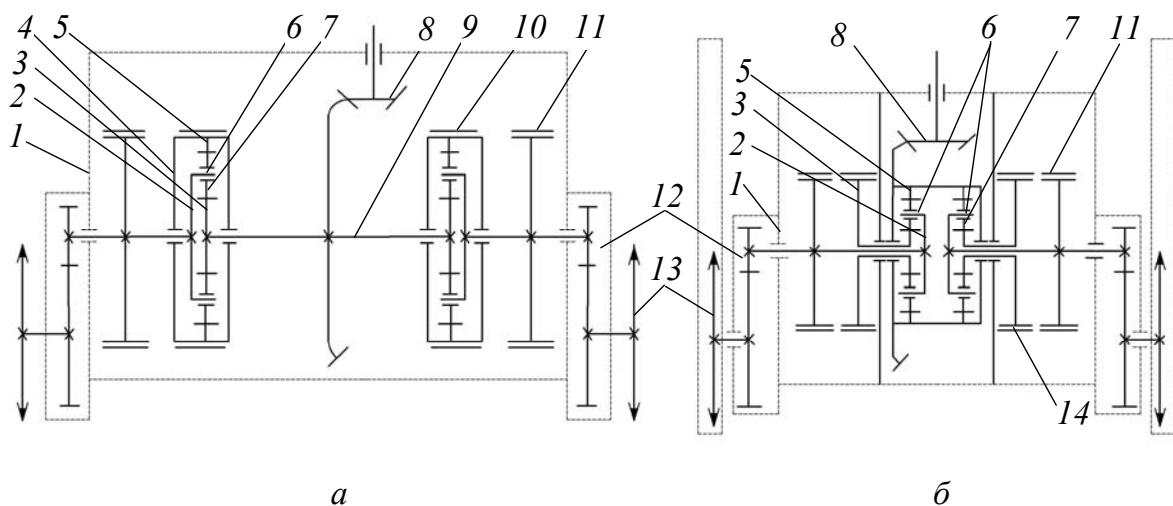


Рис. 18. Задний мост гусеничного трелевочного трактора с планетарным механизмом поворота разнесенного (а) и сдвоенного (б) типов:  
 1 – корпус заднего моста; 2 – водило; 3 – солнечная шестерня; 4 – корпус ПМП;  
 5 – коронная шестерня; 6 – ось сателлита; 7 – сателлит; 8 – главная передача;  
 9 – поперечный вал; 10 – тормоз корпуса ПМП; 11 – тормоз водила  
 (остановочный тормоз); 12 – бортовая передача; 13 – ведущая звездочка;  
 14 – тормоз солнечной шестерни

Для поворота трактора необходимо растормозить корпуса ПМП, приложив усилие к рычагу в кабине с той стороны, в которую производится поворот. Поскольку сопротивление вращению расторможенного корпуса ПМП всегда меньше сопротивления перемещению гусеничной цепи, корпус ПМП и жестко связанная с ним коронная шестерня начнут вращаться в сторону, противоположную вращению солнечной шестерни. В результате скорость вращения водила этого борта уменьшится, и трактор начнет плавно поворачиваться. Чтобы его резко повернуть или развернуть на месте, необходимо после расторможения коронной шестерни затянуть тормоз водила (нажать на педаль в кабине).

На гусеничных трелевочных тракторах ТТ-4М АТЗ применяется размещенный в отсеке главной передачи сдвоенный планетарный механизм поворота (рис. 18, б). Этот механизм разгружает коробку передач и главную передачу, имеет небольшие габариты. При прямолинейном движении трактора тормоза 14 солнечных шестерен затянуты. Остановочные тормоза (тормоза водила) 11 отпущены. Крутящий момент от главной передачи поступает на корпус ПМП и на коронную шестерню 5, которая с ним жестко связана. Коронная шестерня 5 ведет оба ряда сателлитов 7, которые обкатываются по неподвижным солнечным шестерням 3, вращая водило 2

обоих бортов в сторону вращения коронной шестерни 5. Далее крутящий момент через шестерни бортовой передачи 12 поступает на ведущие звездочки 13. При повороте отпускают тормоз солнечной шестерни той стороны, в которую трактор необходимо повернуть, в результате солнечная шестерня начнет вращаться в сторону, обратную вращению коронной шестерни. Скорость вращения водила этого борта уменьшается, и трактор плавно поворачивается. Чтобы повернуть круто, необходимо затянуть тормоз водила этого борта, нажав на педаль.

На гусеничном тракторе Т-150 функции механизма поворота выполняет коробка передач 1 (рис. 19). Она имеет два вторичных вала 4 и 12, приводимых от промежуточного вала 3. На вторичных валах установлены фрикционные муфты с гидравлическим включением и ленточные тормоза 6, при помощи которых осуществляется поворот трактора. Фрикционные муфты выполняют две функции: обеспечивают переключение передач и поворот трактора. От вторичных валов крутящий момент отдельными потоками передается карданными передачами 7 к двум главным передачам 9 и далее через конечные планетарные передачи 10 к ведущим звездочкам 11.

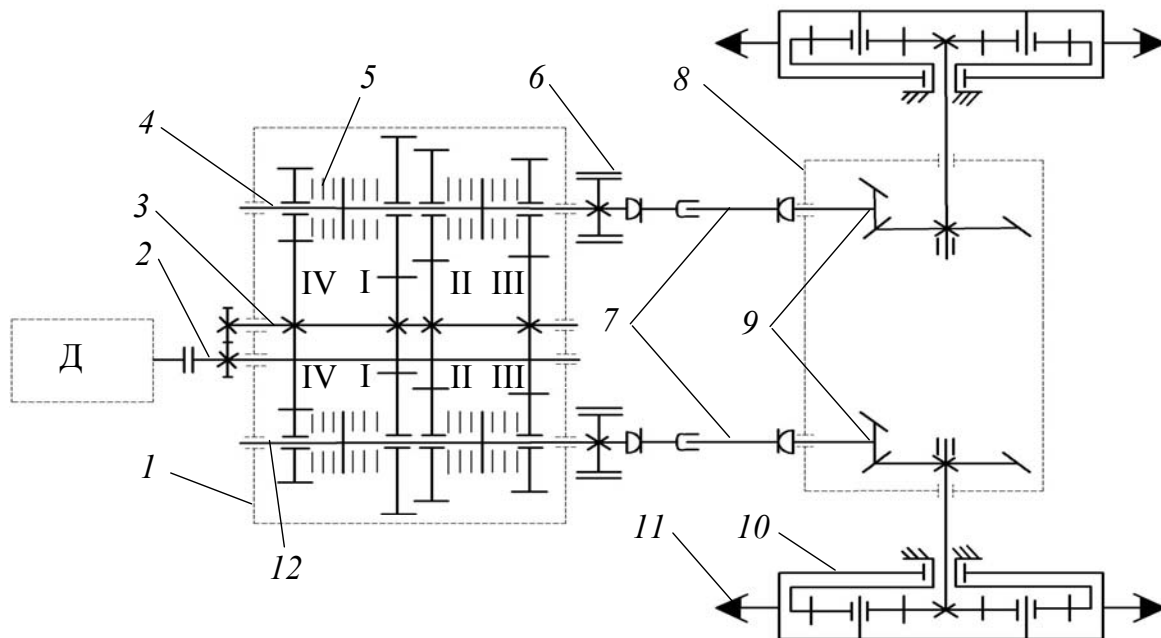


Рис. 19. Схема двухпоточной трансмиссии:

- 1 – корпус коробки передач; 2 – первичный вал; 3 – промежуточный вал;
- 4, 12 – вторичный вал; 5 – гидроподжимная муфта; 6 – ленточный тормоз;
- 7 – карданная передача; 8 – корпус заднего моста; 9 – главная передача;
- 10 – конечная передача; 11 – ведущая звездочка

Поворот гусеничного трактора может осуществляться двумя способами. Первый способ – включением различных ступеней коробки передач для правой и левой гусениц, что обеспечивает их движение с различными скоростями. Так, если при повороте вправо на валу 4 включить I передачу, а на валу 12 – IV передачу, то трактор будет двигаться по окружности радиусом 5 м. Если же при включенной I передаче на валу 4 включить III или II передачу, то трактор будет двигаться по окружности соответственно 7 или 13 м. Второй способ связан с поворотом рулевого колеса. При его вращении вправо вначале (через 42°) происходит плавный сброс давления масла в канале вала 4 и полное размыкание гидравлических муфт, сидящих на этом валу. При дальнейшем вращении рулевого колеса затягивается ленточный тормоз б, и трактор делает крутой поворот вокруг остановленной гусеницы с радиусом, равным половине колеи трактора. Вторым способом применяется, когда необходимо точно выдерживать направление движения.

*Конечные передачи* являются агрегатами трансмиссий и размещаются между ведущим колесом или гусеницей и дифференциалом машины или механизмом поворота гусеничного трактора. Они служат для увеличения общего передаточного числа трансмиссии и обеспечения необходимого дорожного просвета машины.

## **1.4. Агрегаты и узлы трансмиссий**

Агрегаты трансмиссий могут включать в одном корпусе все виды передач и механизмов – зубчатые, фрикционные, гидравлические. Поэтому трансмиссионные масла должны обладать универсальными свойствами – *смазывающего материала* механических зубчатых передач, *среды* для обеспечения сцепления во фрикционных передачах и *жидкости*, передающей мощность в гидравлических передачах и регулирующих устройствах.

К *узлам и агрегатам трансмиссии* относятся: сцепление; раздаточная коробка; коробка передач; главная передача; дифференциал; карданный вал; механизм отбора мощности; передача рулевого управления.

*По принципу действия* узлы и агрегаты трансмиссии разделяются на 3 основные группы:

- зубчатые передачи и механизмы: раздаточные коробки; коробки передач; главные передачи; дифференциалы; колесные передачи, редукторы колес и др.;

- фрикционные механизмы: синхронизаторы механической коробки передач; тормоза и сцепления автоматической коробки передач (фрикционы); фрикционные муфты дифференциалов повышенного трения; фрикционные бесступенчатые коробки передач и др.;

- гидродинамические и гидравлические механизмы: гидротрансформаторы; гидравлические муфты; гидрообъемные (гидростатические) трансмиссии; гидродинамические замедлители; гидравлические механизмы управления и усилители рулевого механизма.

Все механизмы трансмиссии в агрегатах, за редкими исключениями, находятся погруженными в масло, которое служит одновременно и смазочным материалом, и гидравлической средой или средой фрикционного сцепления. Каждая из этих групп предъявляет разные требования к маслам в зависимости от того, какую функцию масло выполняет и каковы конструктивные особенности и задачи механизма. Несмотря на разнообразие передач и механизмов, используемых в агрегатах трансмиссии, наибольшее применение находят зубчатые передачи. Они отличаются большим разнообразием конструкций, от которых, как и от условий работы, зависят износ и энергетические потери на трение.

В настоящее время широко применяются следующие *виды зубчатых передач механических трансмиссий*: цилиндрическая-прямо-зубая; косозубая; коническая; спирально-коническая; гипоидная; червячная. Каждая из этих передач отличается друг от друга материалом изготовления, подвергаемым различным видам поверхностного упрочнения (термическое, химико-термическое), окончательной обработки зубьев (шевингование, шлифование); температурным режимом работы; скоростью относительного скольжения трущихся поверхностей; удельным давлением в зоне их контакта и др.

*По уровню напряженности работы* трансмиссионные масла делятся на следующие группы: универсальные, обеспечивающие работу всех типов зубчатых передач и других трущихся деталей агрегатов трансмиссии; общего назначения – для цилиндрических, конических и червячных передач; для гипоидных передач, сочетающих высокие скорости относительного скольжения профилей зубьев с высокими контактными давлениями, что требует применения масел с высокоэффективными противозадирными присадками; масла для гидромеханических передач; масла для гидрообъемных передач.

Общими требованиями для всех видов масел, предназначенных для механической трансмиссии, являются: снижение износа и трения, отвод тепла от трущихся поверхностей, защита от коррозии, подавление вибраций и смягчение ударных нагрузок, удаление продуктов износа и загрязнений.

## 2. ТРАНСМИССИОННЫЕ МАСЛА

---

### 2.1. Условия работы масел в механических трансмиссиях

Трансмиссионные масла предназначены для применения в узлах трения агрегатов трансмиссии автомобилей, тракторов, дорожно-строительных и других машин, а также в различных зубчатых редукторах и червячных передачах промышленного оборудования. Они представляют собой базовые масла с различными функциональными присадками. В качестве базовых компонентов используют минеральные, частично или полностью синтетические масла.

Таким образом, трансмиссионные масла должны обеспечить работоспособность трущихся деталей задних мостов, коробок передач, раздаточных коробок, бортовых и колесных редукторов, рулевых механизмов, агрегатов гидромеханических передач и трансмиссий автомобилей, тракторов, дорожно-строительных машин и другого оборудования. В подавляющем большинстве детали агрегатов трансмиссии смазываются методом окунания и разбрызгивания масла.

Состав и свойства масел зависят не только от конструкций трансмиссий, но и от условий работы (температура, контактные напряжения, скорости скольжения и др.). Сравнивая условия работы трансмиссионных масел с маслами для двигателей, можно заключить, что первые работают в легких температурных условиях. Так, при температуре воздуха  $-30^{\circ}\text{C}$  температура масла в коробке передач во время работы автомобиля повышается только до  $10-15^{\circ}\text{C}$  (летом доходит до  $70-140^{\circ}\text{C}$ ), а в заднем мосту она составляет около  $-10^{\circ}\text{C}$ . Кроме того, трансмиссионные масла не соприкасаются с горячими поверхностями камеры сгорания, не имеют контакта с продуктами сгорания топлива.

Обратная картина получается при сравнении давлений, действующих на масла в двигателе и трансмиссии. Если максимальное давление, испытываемое масляной пленкой в двигателях, не превышает  $100\text{ МПа}$ , то в зубчатых передачах (цилиндрические,

спирально-конические, червячные) удельное давление в местах контактов зубьев – 600–1200 МПа, а в гипоидных – до 4000 МПа при больших скоростях скольжения трущихся поверхностей (в гипоидных и червячных редукторах – до 20 м/с) и высоких температурах в точках контакта зубьев шестерен (порядка 300–800°С). В этих условиях наиболее часто наблюдается режим граничной смазки. Поэтому к трансмиссионным маслам предъявляются довольно жесткие требования.

Масла должны, с одной стороны, сохранять высокую вязкость при рабочих температурах, чтобы не разрушалась пленка и нормально уплотнялись зазоры, с другой стороны – не становиться слишком вязкими при низких температурах окружающей среды, чтобы в начале работы агрегата холодное масло не препятствовало свободному вращению шестерен. В этом отношении трансмиссионным маслам приходится работать в чрезвычайно тяжелых условиях, и именно этими обстоятельствами обусловлены рассматриваемые ниже особенности и свойства смазочных материалов, применяемых в трансмиссиях автомобилей и тракторов.

## **2.2. Эксплуатационные требования к качеству трансмиссионных масел**

К наиболее важным требованиям, которым должны удовлетворять трансмиссионные масла, относятся: уменьшение интенсивности изнашивания и величины износа всех деталей трансмиссии; снижение потерь энергии, передаваемой от двигателя к движителю; отвод тепла и удаление из зон трения продуктов износа и других загрязняющих масло примесей; отсутствие коррозионной агрессивности по отношению к деталям трансмиссии; снижение вибрации и шума шестерен и защита их от ударных нагрузок (при движении на режиме «разгон – накат – разгон»); отсутствие вспенивания и стабильность свойств масла при работе смазываемых им агрегатов.

Для соответствия этим требованиям трансмиссионные масла должны обладать определенными характеристиками: пологой вязкостно-температурной кривой и сравнительно малой вязкостью в области отрицательных температур; высокими противоизносными, противозадирными (демпфирующими) и противопиттинговыми свойствами, препятствующими вырыванию металла из зоны контакта; хорошей термоокислительной стабильностью; способностью предотвращать

коррозионно-механический и водородный износ; стойкостью к образованию эмульсий с водой; высокой физической стабильностью в условиях длительного хранения; минимальным воздействием на резинотехнические и уплотнительные материалы, лаки, краски и пластмассы.

Общим требованием для всех трансмиссионных масел является надежное разделение контактирующих зубьев шестерен, защита поверхностей от износа, снижение потерь на трение.

Все эти свойства трансмиссионного масла могут быть обеспечены путем введения в состав базового масла соответствующих функциональных присадок: депрессорной, противозадирной, противоизносной, антиокислительной, антикоррозионной, противоржавейной, антипенной и др.

### 2.3. Основные свойства масел

При давлениях от 1000 до 4000 МПа, развивающихся в зонах контакта зубьев шестерен, шариков и роликов с обоймами подшипников качения, невозможно получить жидкостную смазку трущихся деталей даже при использовании самых высоковязких масел. Для обеспечения меньшей интенсивности изнашивания высоконагруженных зубчатых передач трансмиссионные масла должны обладать хорошими смазочными свойствами.

*Смазывающая способность масла* – это способность снижать сопротивления движению (уменьшать силы трения) и предупреждать изнашивание трущихся деталей в условиях жидкофазного и граничного режимов. Это обеспечивается за счет *образования (адсорбции) на твердой поверхности прочной масляной пленки, именуемой граничным слоем*. Смазывающая способность масла возрастает по мере увеличения вязкости (рис. 20).

На рис. 21 представлены схемы различных видов смазки.

При контакте масла с металлом на поверхности последнего возникает граничный слой смазки толщиной от 0,1 до 1,0 мкм. Он состоит из нескольких десятков мономолекулярных слоев. Граничные слои могут состоять не только из адсорбируемых молекул, так как ряд компонентов масел способен сильнее взаимодействовать с твердой поверхностью, а именно химически связываться с металлом (хемсорбироваться). В частности, первый ряд молекул, непосредственно расположенный у поверхности, может представлять собой

продукт химической реакции имеющихся в масле органических кислот с металлом детали, т. е. мыло. Оно по сравнению с просто адсорбированными молекулами прочнее связано с твердой поверхностью.

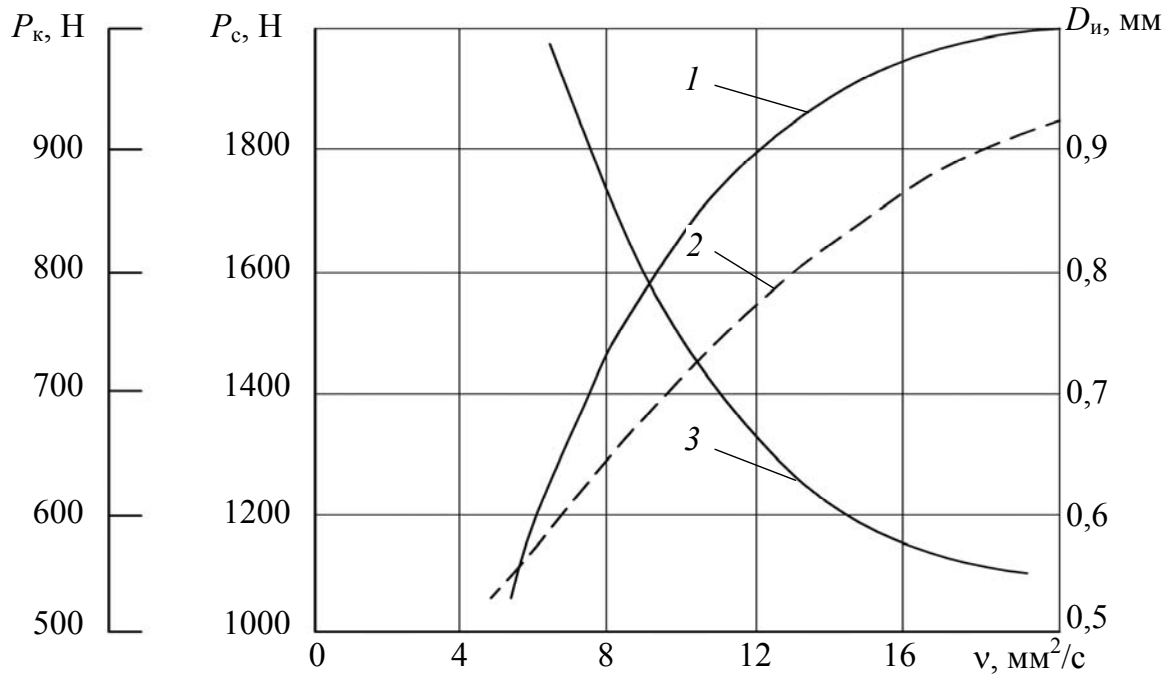


Рис. 20. Зависимость смазывающих свойств масла от кинематической вязкости  $\nu$  при  $100^{\circ}\text{C}$ :  
 1 – критическая нагрузка  $P_k$ ; 2 – нагрузка сваривания  $P_c$ ;  
 3 – диаметр пятна износа  $D_{и}$

Поэтому при возрастании давления в масляном слое или других условиях, не обеспечивающих сохранение жидкостной смазки, толщина зазора между деталями уменьшается до тех пор, пока граничные слои, имеющиеся на поверхностях, не придут в непосредственное соприкосновение (рис. 21).

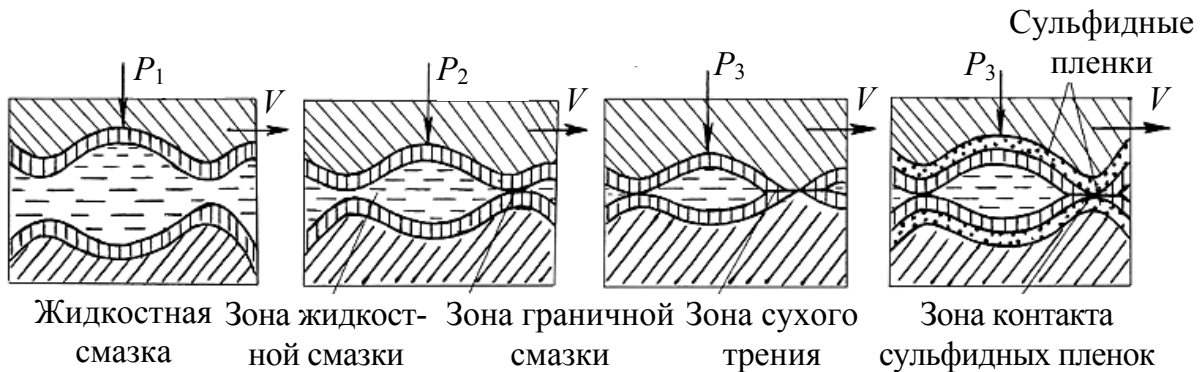


Рис. 21. Схематичное представление различных видов смазки, встречающихся при работе механизмов трансмиссии



Если сила  $P_2$  не превосходит некоторого критического значения, то дальнейшему сближению будут препятствовать граничные слои, обладающие высокой прочностью в направлении действия нагрузки.

Таким образом, *благодаря смазывающей способности масел удается устранить в механизмах, работающих при высоких контактных давлениях, появление сухого трения и заменить его граничной смазкой.* Сочетание жидкостной и граничной смазок, создающихся в зонах контакта зубчатых передач и опор качения, обеспечивает, без значительных износов и с достаточно высоким коэффициентом полезного действия, работу агрегатов трансмиссии.

Наиболее прочно связываются с поверхностью металлических деталей органические кислоты, мыла и смолисто-асфальтовые вещества. Сохранение оптимального количества перечисленных соединений при очистке дистиллятов и гудронов, а тем более введение некоторых из них в масла сильно повышает смазывающую способность.

Смазочные свойства трансмиссионных масел улучшают добавлением в них присадок, в которые входят: органические вещества (серо-, фосфор-, галоид- и азотосодержащие соединения); металлоорганические соединения свинца, цинка, алюминия, молибдена, вольфрама и др.; сложные соединения (в их молекуле содержатся одновременно несколько активных элементов, например сера, хлор, фосфор), эффективность которых зависит от их активности и концентрации в масле.

Повышению смазочных свойств трансмиссионных масел способствует также добавление антифрикционных, противоизносных и противозадирных присадок.

*Антифрикционные присадки*, в состав которых входят вещества, обладающие поверхностной активностью (животные или растительные жиры, жирные кислоты, мыла жирных кислот и т. п.), предназначены для снижения или стабилизации коэффициента трения соприкасающихся поверхностей.

*Противоизносные и противозадирные присадки.* С ростом нагрузки и с повышением скорости скольжения  $V$  температура в зазоре контакта поверхностей трения повышается (рис. 21). При некоторой критической величине  $P_3$  (в случае неизменного значения  $V$ ) или при определенном сочетании  $P$  и  $V$  температура масла становится настолько высокой, что в некоторых зонах граничной смазки наступает разрушение адсорбированного слоя, а за ним и непосредственное соприкосновение в этих зонах поверхностей. В результате

несмотря на жидкостную и граничную смазки в отдельных точках появляется сухое трение (см. рис. 21) со всеми вытекающими отсюда последствиями – увеличением силы трения и возрастанием износов. Для таких жестких режимов работы на поверхности деталей создаются с помощью серо- и фосфорсодержащих противоизносных присадок прочные и термостойкие пленки, а поверх них уже формируются адсорбционные слои (рис. 21).

Для очень тяжело нагруженных узлов (какими являются, например, гипоидные передачи) опасность сухого трения заключается еще в неизбежном появлении заедания или задира. Под воздействием чрезвычайно высоких местных давлений между сильно нагретыми (в поверхностных слоях) металлами создается тесный молекулярный контакт, так называемое *схватывание*, или *точечная сварка*. Непрерывный процесс схватывания и разрушения (при перемещении деталей) узлов схватывания приводит к вырыву металла с одной поверхности и образованию бугорков на другой, т. е. к увеличению шероховатости, что еще больше интенсифицирует износ. В итоге по истечении небольшого отрезка времени происходит *задира* (сильное повреждение поверхности), который приводит к выходу детали из строя.

Эффективным средством борьбы с задирами является введение в масла противозадирных присадок, имеющих в своем составе серу, хлор, а еще лучше оба элемента одновременно. Механизм действия противоизносных и противозадирных присадок в принципе одинаков. Они, химически взаимодействуя с металлами, образуют на твердых поверхностях тонкие пленки (сульфидные и хлоридные), изолирующие, как показано на рис. 21, друг от друга детали в зонах с разрушенным адсорбционным (масляным) слоем. Это препятствует свариванию и заеданию зубьев шестерен при сверхвысоких нагрузках, когда граничный слой смазочного масла разрушается из-за чрезмерного выделения тепла в зоне трения.

Смазывающую способность, противозадирные и противоизносные свойства трансмиссионных масел оценивают при испытаниях на машинах трения по обобщенному показателю индекса задира  $I_3$ . Чем больше  $I_3$ , тем эффективнее смазывающие свойства масла. При оценке противоизносных и противозадирных свойств принимают во внимание критическую нагрузку заедания  $P_k$  и сваривания  $P_c$ , а также диаметр пятна износа  $D_{и}$  (рис. 20). Значение  $I_3$  для гипоидных масел составляет 60 ед., у масел для спирально-конических передач этот показатель должен быть не менее 50 ед. Для масел, применяемых в коробках передач, противозадирные свойства имеют второстепенное

значение. Противоизносные свойства масел влияют на интенсивность изнашивания шестерен. Масла со значением  $D_{и} = 0,5$  мм обеспечивают в 1,5 раза меньший износ деталей, чем масла с  $D_{и} = 0,8-0,9$  мм. Наиболее эффективными маслами по этому показателю являются ТАД-17и и ТСр-15.

Механизм действия присадок, входящих в состав трансмиссионного масла, выглядит следующим образом. В режиме граничного трения пленка смазочного материала становится очень тонкой, при этом в точках микроконтактов зубчатых колес возникают очень высокие температуры, которые в десятитысячные доли секунды достигают и превосходят температуру плавления металла. При этом активные элементы противозадирных и противоизносных присадок вступают в химическое взаимодействие с металлом, образуя модифицированные слои (так называемые «эвтектические смеси») с более низким напряжением сдвига, чем у металлов. Эти модифицированные слои представляют сульфиды, оксиды, фосфаты, или фосфиды железа (в зависимости от присадки, входящей в состав масла). Модифицированная пленка образуется мгновенно и предотвращает задир зубчатых колес. Далее, под воздействием сил, возникающих в агрегате трансмиссии, эта пленка может быть подвергнута частичному сдвигу. При этом в точке контакта зубьев колес снова происходит быстрое повышение температуры, которое вызывает повторение реакции и повторное образование пленки. И так далее.

Вязкость масла в этих случаях не имеет такого принципиального значения, как при режиме контактно-гидродинамического смазывания. Однако в очень тонком слое масла малой вязкости может содержаться недостаточное количество противозадирной присадки, вследствие чего возникает опасность непосредственного контакта металлических поверхностей. Поэтому при создании маловязких трансмиссионных масел их противозадирный потенциал повышают увеличением концентрации серо- фосфорсодержащих присадок в 1,5 раза.

В режиме контактно-гидродинамического трения смазывающая способность обеспечивается вязкостью базового масла, т. е. толщиной масляной пленки. Режим гидродинамического трения может возникать только на периферии контакта зубчатых передач. Непосредственно в зоне контакта наблюдаются режимы смешанного и граничного трения. В режиме граничного трения, возникающего в трансмиссии под воздействием высоких температур и нагрузок, защита

от износа и задира обеспечивается при помощи противозадирных и противоизносных присадок, в качестве которых обычно используют серо-фосфор-борсодержащие вещества.

**Вязкостно-температурные свойства** трансмиссионных масел относятся к важнейшим характеристикам, определяющим возможность их применения в агрегатах и механизмах.

**Вязкость** – это сопротивление, которое оказывают частицы жидкости их взаимному перемещению под действием внешней силы. Она зависит от химического состава масла, температуры, давления (нагрузки) и скорости сдвига. Поэтому рядом с числовым значением вязкости всегда должны указываться условия определения вязкости. Вязкость трансмиссионных масел является комплексным показателем и характеризует поведение масла как при температуре установившегося режима работы, так и при запуске холодного автомобиля.

Рассмотрим показатели, характеризующие вязкость. Различают вязкость абсолютную (динамическая, кинематическая) и условную.

**Динамическая вязкость**  $\eta$  (коэффициент внутреннего трения) характеризует текучесть масел в реальных условиях работы, обычно при крайних значениях температур и скорости сдвига. Сила внутреннего трения  $F$  между двумя слоями жидкости определяется по уравнению

$$F = \eta S \frac{dV}{dx}, \quad (4)$$

где  $\eta$  – динамическая вязкость;  $S$  – площадь слоя;  $dV/dx$  – градиент скорости сдвига слоев жидкости в направлении, перпендикулярном движению.

**Кинематическая вязкость**  $\nu$  (удельный коэффициент внутреннего трения) характеризует текучесть масел при нормальной и высокой температурах. Между динамической и кинематической вязкостью существует зависимость  $\nu = \eta / \rho$ , т. е. кинематическая вязкость равна отношению динамической к плотности масла.

Кинематическую вязкость масел нормируют при 40°C и 100°C. Определяется стандартным капиллярным вискозиметром по истечению масла при фиксированной температуре. Кинематическую вязкость измеряют в стоксах (Ст) или сантистоксах (сСт). Вязкость дистиллированной воды при 20,2°C составляет 1 сСт (1 Ст = 10<sup>-4</sup> м<sup>2</sup>/с, 1 сСт = 10<sup>-6</sup> м<sup>2</sup>/с = 1 мм<sup>2</sup>/с).

Динамическая вязкость определяется ротационным вискозиметром. Единицы измерения динамической вязкости –  $\eta = \text{пуаз (П)}$  или сантипуаз (сП),  $\text{сП} = \text{мПа}\cdot\text{с}$ .

*Условная вязкость* – отвлеченная безразмерная величина. Она показывает, во сколько раз вязкость нефтепродукта при температуре измерения больше или меньше вязкости дистиллированной воды при  $20^\circ\text{C}$ . Условную вязкость выражают в градусах, например  $1,5^\circ \text{ВУ}$ .

При оценке нефтепродуктов условной вязкостью пользуются редко. Чаще употребляют кинематическую вязкость. Динамическую вязкость определяют для густых нефтепродуктов и при низких температурах, когда вязкость масла чрезмерно велика для определения кинематической вязкости.

Значения температуры и вязкости масла влияют: на способность бесперебойно смазывать трущиеся поверхности деталей трансмиссии; возможность начала движения машины при низких температурах окружающей среды, когда масло имеет ее температуру; мощностные показатели агрегатов трансмиссии. Например, при изменении вязкости трансмиссионного масла с  $5 \text{ мм}^2/\text{с}$  при температуре  $100^\circ\text{C}$  до  $30 \text{ мм}^2/\text{с}$  КПД трансмиссии снижается почти на 2%.

Температура масла в агрегатах трансмиссии колеблется в широких пределах, что значительно влияет на интенсивность изнашивания (истирания) зубьев шестерен. Так, при понижении температуры с  $+20^\circ\text{C}$  до  $-20^\circ\text{C}$  интенсивность износа возрастает в 2 раза, а при температуре до  $-30^\circ\text{C}$  – в 4 раза. С повышением температуры интенсивность износа замедляется и при температуре масла  $+70\dots+80^\circ\text{C}$  и воздуха  $+20\dots+40^\circ\text{C}$  стабилизируется.

При движении транспортного средства температура в агрегатах трансмиссии возрастает по сравнению с температурой окружающего воздуха, но в зимний период остается низкой (рис. 22).

Интенсивность изменения температуры в агрегатах зависит от режима движения автомобиля и температуры окружающего воздуха. При частых остановках температура резко уменьшается, особенно в зимнее время (рис. 22). Температура масла в коробке передач гораздо выше, чем в ведущем мосту, ввиду подогрева от двигателя, а также вследствие более интенсивного охлаждения ведущего моста воздухом при движении автомобиля.

При оценке температурного режима работы масла в зубчатых передачах определяют *минимальную, максимальную и среднеэксплуатационную* температуры.

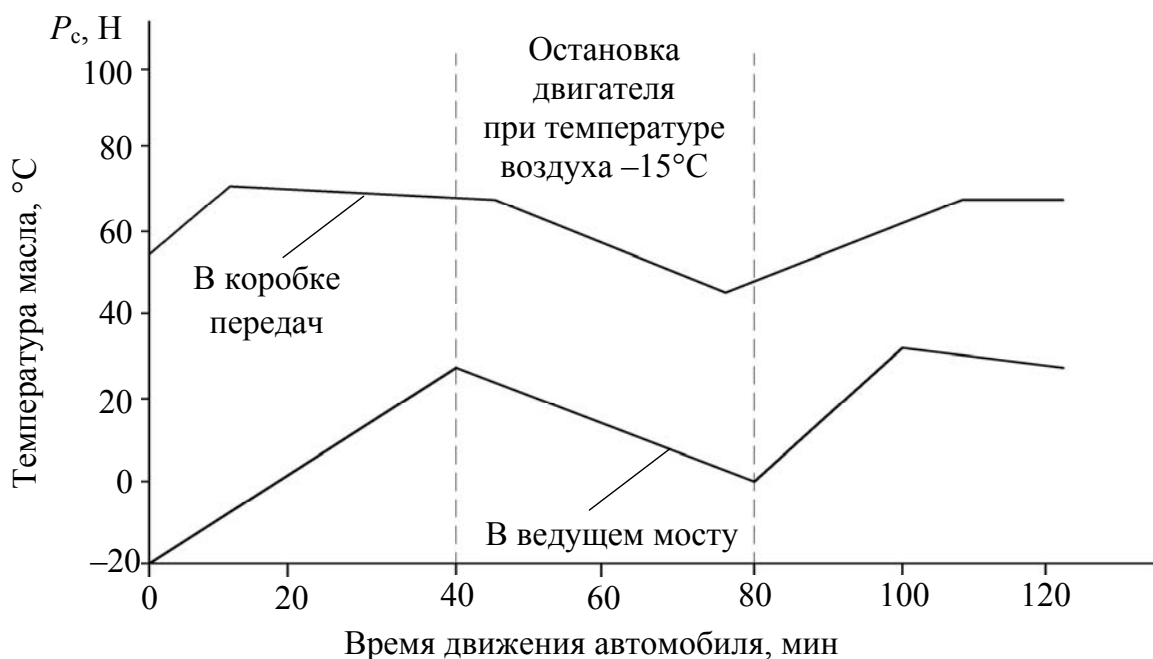


Рис. 22. Изменение температуры трансмиссионного масла в коробке передач и в ведущем мосту при движении автомобиля

*Минимальная температура* характерна для момента начала работы передачи после длительного перерыва, т. е. при трогании холодного автомобиля, она равна, как правило, наиболее низкой температуре окружающего воздуха. Минимальной температурой работоспособности масла является температура, при которой динамическая вязкость масла превышает 150 000 сП (150 Па·с). Надежное смазывание трансмиссии в этом случае не обеспечивается. Это значение устанавливается экспериментально для каждого вида трансмиссии и мощности двигателя. Для автотракторных трансмиссий предельное допустимое значение вязкости (300–600 Па·с) определяется величиной вязкости при минимальной рабочей температуре, допускающей свободное трогание машины без ущерба для зубчатых передач и подшипников и без предварительного подогрева масла в агрегатах.

*Максимальная температура* устанавливается при экстремальных для данной передачи условиях работы. Как правило, это режимы работы при передаче максимального крутящего момента. Она предопределяет выбор минимально допустимой вязкости для предотвращения значительных утечек через неплотности агрегатов. Если кинематическая вязкость масла в трансмиссиях не ниже 25–30 сСт, заметной утечки масла не происходит. Нижний допустимый уровень кинематической вязкости масла – 5 мм<sup>2</sup>/с при достаточно надежном уплотнении картеров редукторов.

За *среднюю эксплуатационную температуру* принимают наиболее вероятную во время эксплуатации передачи температуру. В значительной степени она определяется температурой окружающего воздуха, вязкостью масла, его уровнем в картере передачи и другими эксплуатационными условиями (например, величиной передаваемого агрегатом трансмиссии крутящего момента). Вязкость масла при эксплуатационной температуре на установившемся рабочем режиме должна быть достаточной для предотвращения износа при больших контактных нагрузках. Средняя эксплуатационная температура позволяет выбрать вязкость масла с минимальными потерями на трение. Для механических трансмиссий максимальная рабочая динамическая вязкость, не вызывающая значительных затрат на трение, составляет 10–20 П. По максимальному и минимальному значениям вязкости масла для агрегатов трансмиссий и кривой зависимости вязкости от температуры можно определить температурную область применения данного масла. Чем шире эта область, тем лучше эксплуатационное свойство масла.

Применение масел с оптимальными температурными значениями вязкости снижает энергетические потери, повышает КПД трансмиссии, что обеспечивает меньший расход топлива. В случаях, когда вязкость несколько больше, возможны повреждения деталей сцепления, коробки передач при трогании, а при значительном превышении неизбежны поломки деталей и агрегатов. Использование в агрегатах трансмиссии маловязких масел может привести к утечкам масла через сальники, повышенному износу деталей и выходу агрегатов трансмиссии из строя.

Для получения масел с пологой вязкостно-температурной кривой в них добавляют депрессорные присадки в виде полимеров (полиизобутилен или полиметакрилат). Вязкость масел с такими присадками снижается, что связано с механическим разрушением (деструкцией) полимера. Эффективность действия этих присадок зависит от химической природы масла, его вязкости, содержания высокозастывающих углеводородов. Присадки могут снизить температуру застывания масла на 5–25°С. Независимо от условий эксплуатации автомобилей вязкость не должна снижаться более чем на 30%. Для достижения необходимой вязкости масел при низких температурах окружающего воздуха в случаях отсутствия зимних сортов в имеющиеся масла допускается добавлять зимнее или арктическое дизельное топливо в соотношениях, указанных в табл. 2.

**Рекомендации по применению отечественных трансмиссионных масел  
при низких температурах**

Марка масла	Температура, °С, при которой возможно свободное трогание автомобиля, не ниже				
	Стандартное масло	При добавлении зимнего или арктического дизельного топлива по ГОСТ 305–82, %			
		5	10	15	20
ТМ-5-12рк	–55	–	–	–	–
ТМ-4-9	–50	–	–	–	–
ТМ-3-9	–45	–50	–55	–	–
ТМ-3-18	–30	–40	–45	–50	–55
ТМ-3-18	–25	–30	–35	–40	–50
ТМ-4-18	–30	–40	–45	–50	–55
ТМ-5-18	–30	–40	–45	–50	–55

Благодаря наличию в трансмиссионном масле большого количества противоизносных, противозадирных и других присадок при добавлении в него 20% дизельного топлива эксплуатационные свойства масла (в том числе и смазывающие) практически не ухудшаются, так как масла содержат некоторый избыток соответствующих присадок. Это позволяет использовать масло, разбавленное дизельным топливом, без снижения установленных сроков смены даже при переходе на весенне-летнюю эксплуатацию. С повышением температуры воздуха легкие фракции дизельного топлива испаряются и вязкость при положительных температурах приближается к вязкости исходного масла.

*Не рекомендуется* разбавлять трансмиссионные масла тракторным, авиационным или осветительным керосином, который резко ухудшает антифрикционные свойства масла за счет своей высокой диспергирующей способности. Не рекомендуется также разбавлять трансмиссионные масла маловязкими маслами, так как для получения необходимого уровня вязкости при низких температурах потребуется 40–50% маловязкого масла, что резко снизит концентрацию противоизносных присадок. При низких температурах в агрегатах трансмиссий накапливается вода (до 4–5%), это ухудшает смазывающую способность масел. При эксплуатации машин в зимнее время рекомендуется периодически проверять наличие воды в картерах агрегатов трансмиссий и сливать ее через сливные отверстия.

**Низкотемпературные свойства трансмиссионного масла** определяются температурой застывания. Это критическая точка,



ниже которой масло теряет подвижность и не может выполнять функции смазывания. Температура не включена в комплекс вязкостных показателей по SAE, но является одной из важнейших характеристик масел, особенно при эксплуатации в условиях холодного климата.

В табл. 3 приведены предельно допустимые уровни вязкости трансмиссионных масел, при которых обеспечивается первоначальное свободное трогание машин без ущерба для зубчатых зацеплений и тел качения подшипников.

Таблица 3

**Уровни вязкости трансмиссионных масел, обеспечивающие первоначальное свободное трогание машин**

Узлы и детали машин	Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с		Динамическая вязкость при трогании, Па·с
	при максималь- ной рабочей температуре	при 100°С	
Механические вальные трансмиссии автомобилей, колесных машин и др. специальных колесных машин, имеющих колесную формулу			
4×2	не < 5	14–16	не > 600
4×4	не < 5	12–14	не > 500
6×4	не < 5	12–14	не > 400
6×6	не < 5	12–14	не > 350
8×8	не < 5	12–14	не > 300
Гидромеханические коробки передач колесных и гусеничных машин	не < 3,5	7–8	не > 10
Планетарные коробки передач и бортовые передачи тяжелых быстроходных гусеничных машин	не < 5	8–10	не > 100

**Термостабильность и стойкость к окислению.** Углеводородные соединения масел способны окисляться. Окисление ускоряется при повышении температуры, увеличении доступа кислорода при перемешивании с воздухом, каталитическом воздействии ионов металлов (особенно цветных) и др.

Окисление масла при высокой температуре называется *термоокислением*, а способность противостоять окислению – *антиокислительной стабильностью*.

Окисление углеводородов является многостадийным процессом. В начале окисления накапливаются исходные продукты – перекиси, которые впоследствии резко ускоряют процесс. Первый этап заметно не изменяет физических свойств масла и называется *индукционным периодом*. Его продолжительность служит показателем стойкости масла к окислению.

После индукционного периода начинаются самоускоряющиеся реакции окисления, заметно изменяющие химические и физические свойства масла. Образуются кислоты, смолы, увеличивается вязкость масла. На нагретых поверхностях образуются отложения, которые могут привести к повышенному износу. Кислые продукты способствуют коррозии деталей.

Термоокислительные процессы в результате каталитического действия наиболее активно протекают на деталях из меди, свинца, их сплавов. При обволакивании металлических деталей агрегатов трансмиссии продуктами окисления роль металла как катализатора сводится к нулю. Температура является самым эффективным ускорителем процесса окисления масла. При ее увеличении со 140°C до 160°C содержание нерастворимого осадка в масле возрастает с 0,05 до 0,19%, вязкость (по сравнению с ее величиной при 100°C) – с 3 до 5%, а показатель коррозии медной пластинки – с 53 до 480 г/м<sup>2</sup>.

Окисление масла, интенсивно разогреваемого в процессе работы в агрегатах трансмиссии, вызывает изменения его физико-химических и эксплуатационных свойств.

В итоге термоокислительные процессы ухудшают эксплуатационные свойства и поэтому стойкость к окислению является одним из основных эксплуатационных свойств масел. Для избегания этого к маслам добавляют *антиокислительные* присадки. К ним относятся соединения фенолов, соединения, содержащие серу, фосфор, аминные и другие функциональные группы.

Термоокислительную стабильность трансмиссионного масла по ГОСТ 20502–75 оценивают на приборе типа ДК-2-НАМИ. В Европе стойкость к окислению трансмиссионных масел оценивают по стандарту СЕС L-48-A-95.

***Антикоррозионные свойства.*** Коррозия металлов является основной причиной преждевременного разрушения конструкционных материалов трансмиссии. Коррозия сопровождает процессы образования отложений и изнашивание деталей механизмов. В конечном результате коррозия снижает эффективность и надежность техники, ухудшает эксплуатационные свойства масла.

Трансмиссионные масла должны исключать коррозию не только в процессе работы машины, но и в нерабочем состоянии. Детали агрегатов трансмиссии, изготовленные из цветных металлов, металлокерамики на медной основе, сплавов, содержащих олово, активно корродируют в результате химического взаимодействия с кислыми продуктами (образующимися в процессе окисления). Коррозию медных деталей вызывают также входящие в состав трансмиссионных масел противозадирные и противоизносные присадки, отличающиеся высокой химической стабильностью. Повышенные рабочие температуры масел усиливают коррозионные процессы.

Для предупреждения или уменьшения коррозионных процессов в масла добавляют присадки. Хорошими антикоррозионными свойствами обладают присадки, содержащие сульфонат кальция, окисленный петролатум, нейтрализованные нитрованные масла. Механизм действия присадок основывается на их способности создавать на поверхности металла защитные пленки, которые исключают прямой контакт с ними активных соединений и одновременно пассивируют металлическую поверхность. Это исключает действие металла как катализаторов окисления масла и накопления в нем агрессивных соединений.

Ввиду того, что противоокислительные и моющие (диспергирующие) присадки замедляют процессы окисления (благодаря снижению концентрации в масле агрессивных продуктов) или нейтрализуют уже образовавшиеся кислые вещества, их можно рассматривать и как противокоррозионные.

**Защитные свойства масел** – способность масел предохранять металл от коррозии и ржавления. Защитные свойства масла обеспечиваются путем введения в них *защитных присадок* или, как их еще называют, *ингибиторов коррозии*. Эти присадки или тормозят процесс окисления, снижая в масле концентрацию кислых продуктов, или образуют на поверхности металлов защитную пленку, которая предотвращает прямой контакт с ним агрессивных продуктов. Такая пленка одновременно пассивирует металл, предупреждая его каталитическое воздействие на окисление масла. Поэтому большинство ингибиторов коррозии являются также дезактиваторами металла.

Концентрация воды в трансмиссионных маслах во время эксплуатации машин может достигать 8%. Обводнение масла происходит из-за проникновения во внутренние полости картера через уплотнения и сапун воздуха, содержащего пары воды. Влага приносит в масло неорганические соли и коррозионно-агрессивные

компоненты (подобные могут образовываться в процессе старения масла). Кроме того, вода выполняет и функции электролита, проводящего электрический ток, а потому становится причиной возникновения электрохимической коррозии. Ее часто устраняют введением в состав масла *защитных присадок*, называемых *противоржавейными*.

Ингибиторы коррозии вытесняют влагу и другие электролиты с поверхности металла и создают на ней прочную адсорбционную пленку. Таким образом, исключается контакт металла деталей с агрессивной средой. Отличие защитных присадок от противокоррозионных состоит в их устойчивости к действию не только органических кислот, но и воды.

Коррозийность трансмиссионного масла определяется пробой медной пластинки по ГОСТ 2917–76, ISO 2160 и др. Результат коррозии оценивается потерей массы испытуемой пластинки металла относительно ее поверхности ( $\text{г/м}^2$ ) в заданных условиях испытания (3 ч в масле при температуре  $150^\circ\text{C}$  или в других стандартных условиях).

**Пенообразование** – процесс образования пены при интенсивном перемешивании и взбалтывании работающего масла. Пена ухудшает смазывающие и защитные свойства масла, ускоряет окисление, уменьшает производительность масляного насоса. Интенсивность пенообразования и стабильность пены зависит от химического состава масла, вязкости, поверхностного натяжения, наличия присадок, условий эксплуатации и др. При повышении температуры и уменьшении плотности масла интенсивность пенообразования повышается, но стабильность пены уменьшается. Меньше пенятся масла высокой вязкости. Моющие, вязкостные, противозносные, антикоррозионные присадки усиливают пенообразование. Пенообразование проявляется как в трансмиссионных маслах, так и в гидравлических жидкостях.

Причина пенообразования трансмиссионных масел – интенсивное перемешивание с воздухом при высоких оборотах шестерен. Агрегаты трансмиссии рассчитаны на образование некоторого количества пены, которая не должна выходить через сапун. Пенообразование усиливается при наличии в масле воды. Прорыв масляной пены является первым признаком присутствия воды в масле.

Пенообразование уменьшается в присутствии специальных присадок, особенно силиконовых жидкостей. Антипенные присадки вызывают уменьшение поверхностного натяжения пленок, разделяющих

мелкие пузырьки воздуха. Вследствие этого пузырьки объединяются в более крупные, легко разрываются, и пена гасится.

Пенообразование масла определяется по стандарту ASTM D 892 и оценивается двумя показателями – *склонностью к пенообразованию* и *стабильностью пены*. Количество пены (мл), образующееся в масле в градуированном мерном цилиндре, прогретом до 24°C и продуваемом воздухом в течение 5 мин, называется склонностью к пенообразованию. Оставшийся объем пены (мл) после 10 мин называется стабильностью пены. Более строгие требования по пенообразованию предъявляются к жидкостям для автоматических коробок передач.

**Совместимость с эластомерами.** Стойкость эластомерных деталей (сальников, манжет, прокладок и др.) при продолжительном контакте с маслом оценивается в зависимости от состава и типа эластомера. При воздействии масла, в которое вводятся противоокислительные, антифрикционные и другие присадки, эластомерные детали могут набухать или терять свою эластичность и твердеть. Интенсивность старения зависит от свойств эластомеров, химического состава масла и температуры.

Эластомеры быстро стареют при воздействии на них продуктов окисления масла. Отрицательное влияние на эластомеры, особенно при повышенной температуре, оказывают противозадирные (EP) присадки. Сера, входящая в состав таких присадок, вулканизирует резину, которая от этого твердеет и уменьшается по объему. Воздействие масла для гипоидных передач на эластомеры всегда проверяется. В лучшем случае изменение объемов эластомеров не должно превышать 6%, на практике допускается до 15%.

Воздействие масла на эластомеры определяется стандартными методами ISO 1817, DIN 53521, ASTM D 471, ГОСТ 9.030 и др. Оценивается изменение свойств четырех эталонных резин при выдерживании их в масле в течение установленного времени при определенных условиях. Оценочные показатели: увеличение твердости, ед.; изменение напряжения разрыва, %; изменение удлинения до разрыва, %; изменение объема, % (увеличение (+), уменьшение (–)).

Таким образом, удовлетворение высоких требований, которые предъявляются к трансмиссионным маслам, достигается подбором соответствующей масляной основы и добавкой к ним комплекса присадок. Кроме противозадирных, противоизносных и противоокислительных присадок, вводят еще и моющие (диспергирующие),

депрессорные, диэмульгирующие, противопенные, антисептические и ряд других. В табл. 4 приведены потребительские свойства некоторых присадок и добавок в трансмиссионные масла с целью улучшения их эксплуатационных свойств.

Таблица 4

**Потребительские свойства присадок и добавок к трансмиссионным маслам**

Наименование препарата	Назначение	Страна, фирма-производитель
Кондиционер для механической трансмиссии серии Fenom MANUAL TRANSMISSION CONDITIONER FENOM	Улучшение эксплуатационных характеристик коробок переключения передач, раздаточных коробок и главных передач ведущих мостов, в том числе гипоидного типа	Россия, ЛТ «Лаборатория Триботехнологии»
Wynns H.P.L.S. Transmission Treatment	Снижение износа и шума в механических коробках передач, раздаточных коробках и редукторах	Бельгия, Wynn's
Automatic Transmission and Power	Обеспечение плавности переключения передач и устранение течи жидкости из автоматической трансмиссии	
Тюнинг для АвтоКПП Trans Extend With ER	Обеспечение идеальной работы АКПП, использование через 10 тыс. км пробега автомобиля или после его стоянки в течение 3–4 месяцев	США, Hi-Gear
Герметик и Тюнинг для АКПП Trans Plus	Предохранение передачи от перегрева при работе, устранение течи из коробки за 15 км пробега автомобиля, совмещение со всеми типами жидкостей для АКПП	
Герметик и Тюнинг для АКПП Trans Plus With ER		
Trans-Aid Conditioner & Sealer	Устранение пробуксовывания, увеличение срока службы и остановка течи жидкости	США, CD-2

Иногда в одном соединении содержится несколько функциональных групп, что делает присадку универсальной. Например, соли кислых эфиров диалкилдитиофосфорной кислоты. Они обладают противоизносными, противозадирными, моющими, антикоррозионными, антиокислительными, моющими, депрессорными свойствами.

Важнейшее требование к присадкам и добавкам, как и к другим компонентам, входящим в состав трансмиссионных масел, состоит

в создании с их основой физически стабильных смесей. Выпадение в осадок и расслаивание присадок должны быть исключены.

Необходимым условием продолжительной работы масла является надежная защита агрегатов от проникновения пыли и влаги. Наличие в масле дорожной пыли приводит к снижению противоизносных свойств масла, которое невозможно компенсировать самыми эффективными присадками. Поступление воды, влаги в масло также ухудшает его противоизносные и противозадирные свойства. Например, при попадании в трансмиссионное масло для гипоидных передач  $T_{С_{тип}}$  около 5% воды нагрузка сваривания масла  $P_c$  уменьшается не менее чем в 2 раза, а диаметр пятна износа  $D_{и}$  возрастает в 2 раза.

Срок службы масла в значительной степени зависит от его качества. В большинстве случаев критерием при установлении срока замены масла служит изменение его физико-химических показателей (вязкости, кислотности, содержание активных элементов присадки), противоизносных свойств масла, а также состояния деталей агрегатов трансмиссии.

Важным параметром, определяющим необходимость замены масла, является повышение вязкости на 50%. Необходимым условием бесшумной работы масла являются его высокие эксплуатационные свойства и надежная герметизация узлов и агрегатов.

## 2.4. Классификация и маркировка трансмиссионных масел

Основными критериями при выборе масла для механической трансмиссии являются: степень (класс) вязкости; класс качества и назначение. Для классификации трансмиссионных масел по вязкости наибольшее распространение и признание в мире получила система, разработанная Американским обществом автомобильных инженеров – SAE. Она описывается стандартом SAE J306 «Классификация вязкости трансмиссионных масел для ведущих мостов и механических коробок передач». *Вязкость масла выражается в условных единицах – степенях вязкости по SAE.*

**Классификация SAE J306** (табл. 5) используется производителями трансмиссий и масел. Информация о рекомендованных к применению вязкостях трансмиссионных масел заносится в руководство по обслуживанию автомобиля, на основании которого пользо-

ватель выбирает соответствующий продукт в ассортименте смазочных материалов.

Вязкость масла должна выбираться с учетом наибольшей и наименьшей температур окружающей среды, при которых планируется эксплуатация автомобиля. Исходя из этих соображений, классификация SAE J306 основана на показателях низкотемпературной и высокотемпературной вязкостей.

Таблица 5

**Классификация SAE J306 трансмиссионных масел по вязкости**

Класс вязкости	Максимальная температура достижения динамической вязкости 150 Па·с, °С	Кинематическая вязкость при 100°С, мм <sup>2</sup> /с	
		минимальная	максимальная
Зимние			
70W	-55	4,1	–
75W	-40	4,1	–
80W	-26	7,0	–
85W	-12	11,0	–
Летние			
80	–	7,0	<11,0
85	–	11,0	<13,5
90	–	13,5	<24,0
140	–	24,0	<41,0
250	–	41,0	–

**Показатель низкотемпературной вязкости** оценивается путем определения температуры, при которой вязкость масла по Брукфильду достигает 150 000 сП. Это значение выбрано по результатам серии реальных испытаний на мостах различной конструкции. Эти тесты показали, что при вязкости трансмиссионных масел более 150 000 сП наблюдались разрушения подшипников вала-шестерни. Следует отметить, что подобные разрушения могут наблюдаться и при меньших вязкостях, в зависимости от конструкции мостов. Именно по этой причине следует четко следовать рекомендациям производителей по низкотемпературным границам применения, занесенным в «Руководство пользователя».

**Показатель высокотемпературной вязкости** оценивается на основе значения кинематической вязкости масла при температуре 100°С.

Значение кинематической вязкости при высокой температуре позволяет косвенно судить о величине нагрузочной способности



защитной масляной пленки и ее достаточности для защиты передач в режиме высоких рабочих температур и нагрузок.

**Маркировка трансмиссионных масел по вязкости.** По аналогии с классификацией моторных масел, степени вязкости трансмиссионных масел делят на условные ряды: зимний – SAE 70W, 75W, 80W, 85W, 90W; летний – SAE 80, 85, 90, 140, 250. Последняя редакция стандарта SAE J306 определяет требования по маркировке трансмиссионных масел. Не допускается маркировка с двумя зимними степенями (например, SAE 75W–80W, SAE 80W–85W и т. п.). Маркировка SAE 80W, SAE 85W и т. д. указывает, что трансмиссионное масло предназначено для эксплуатации в зимнее время; SAE 80, SAE 140 и т. д. – для эксплуатации в летнее время; SAE 75W-85, SAE 80W-80 и т. д. – для всесезонной эксплуатации. В соответствии с условным обозначением вязкости значение ее степеней для моторных масел выбирается из диапазона от 0 до 60, трансмиссионных масел – от 70 до 250 (табл. 6 и 7).

Таблица 6

**Примерное сопоставление степеней вязкости SAE моторных и трансмиссионных масел на основе высокотемпературных показателей кинематической вязкости при 100°C**

Степени вязкости по SAE	
Моторные масла	Трансмиссионные масла
0W	70W 75W
5W	
10W	
15W	80W 80
20W	
20	85W 85
25W	
30	90W 90
40	
50	140
60	
	250

**Примерное сопоставление зимних степеней вязкости SAE моторных и трансмиссионных масел на основе показателей низкотемпературной вязкости по Брукфильду**

Степени вязкости по SAE	
Моторные масла	Трансмиссионные масла
0W	70W
5W	75W
10W	80W
15W	
20W	
25W	85W

Это сделано во избежание возможных ошибок при выборе масла на основе вязкости. Моторные и трансмиссионные масла, имеющие одинаковое значение вязкости, будут значительно различаться в обозначениях по SAE.

**Система классификации API.** Единой системы классификации трансмиссионных масел по эксплуатационным свойствам, качеству и назначению нет. Общеизвестной во всем мире является *система классификации* масел для механических трансмиссий *API*, в соответствии с которой масла обозначаются *знаком класса API*. Имеется шесть классов от API GL-1 до API GL-6 и два дополнительных – API MT-1 (группа трансмиссионных масел, введенная Американским нефтяным институтом в 1995 г. взамен группы PG-1) и API PG-2.

В настоящее время класс GL-6 больше не применяется, так как считается, что класс API GL-5 достаточно хорошо удовлетворяет наиболее строгим требованиям. Класс API MT-1 эквивалентен маслам API GL-5, но обладает повышенной термической стабильностью; API PG-2 – обладает повышенной термической стабильностью и улучшенной совместимостью с эластомерами, эквивалентен маслам API GL-5. Чем больше цифра после букв, тем выше качество масла и, соответственно, гарантия надежности работы.

Для механических коробок передач (кроме гипоидных) в основном применяются масла API GL-3 и API GL-4, для средненагруженных гипоидных главных передач – API GL-4, для сильнонагруженных передач, в том числе гипоидных со значительным смещением осей – API GL-5. При этом ряд нефтеперерабатывающих компаний выпускает универсальные масла.

По системе API GL масла подразделяются на *классы качества*. Основными признаками классификации являются конструкция и условия работы передач, дополнительными – содержание противоизносных и противозадирных присадок.

Различия в конструкциях агрегатов трансмиссий и условий их эксплуатации обуславливают и различия в требованиях по эксплуатационным свойствам. Этот принцип был положен в основу при разработке классификации по API, в соответствии с которой масла разделяют по типу и степени нагруженности зубчатых передач, в которых они могут использоваться (табл. 8). Необходимо отметить, что классификации SAE и API дают лишь *общую характеристику* масел, не учитывая всех показателей качества. Полные требования к физико-химическим и эксплуатационным свойствам масел и их допустимые предельные значения указывают в спецификациях.

Таблица 8

**Классификация API трансмиссионных масел по области применения**

Группа	Область применения	Характеристики масел
GL-1	Механические коробки передач без синхронизаторов, цилиндрические, червячные и спирально-конические зубчатые передачи, работающие при низких скоростях и нагрузках (легких условиях)	Минеральные масла без присадок или с антиокислительными, противоизносными и противопенными присадками без противозадирных компонентов
GL-2	Трансмиссии тракторов и сельскохозяйственных машин, червячные передачи, работающие в условиях средней тяжести	Масла с высокими требованиями к антифрикционным свойствам, содержат противоизносные присадки. Могут содержать антифрикционный компонент
GL-3	Конические и другие передачи грузовых автомобилей, трансмиссии со спирально-коническими шестернями, работающие в умеренно жестких условиях по скоростям и нагрузкам. Не рекомендуется применять в гипоидных передачах	Обладают лучшими противоизносными и противозадирными свойствами, чем масла группы GL-2. Содержат до 2,7% противоизносных присадок
GL-4	Автомобильные трансмиссии с коническими и гипоидными передачами (имеющих малое смещение осей), коробки передач (синхронизированные и несинхронизированные), агрегаты ведущего моста, работающие в условиях больших скоростей при малых крутящих моментах и малых скоростей при высоких крутящих моментах	Обязательно наличие до 4,0% высокоэффективных противозадирных присадок

Группа	Область применения	Характеристики масел
GL-5	Автомобильные гипоидные передачи (со значительным смещением осей), работающие в условиях больших и малых крутящих моментов, при действии ударных нагрузок на зубья шестерен – при высоких скоростях скольжения. Применяются как универсальные масла для других агрегатов механической трансмиссии (кроме коробки передач) и для дифференциала повышенного трения	Содержат до 6,5% эффективных серофосфорсодержащих противозадирных и других многофункциональных присадок
GL-6	Автомобильные гипоидные передачи с увеличенным вертикальным смещением осей шестерен, работающие при повышенных скоростях, ударных нагрузках и высоких крутящих моментах	Содержат до 10% серофосфорсодержащих противозадирных присадок. Соответствуют наивысшему уровню эксплуатационных качеств
MT-1 (PG-1)	Механические коробки передач без синхронизации тяжелых грузовиков и автобусов	Содержат активные противозадирные и противоизносные присадки, в том числе улучшающие термостабильность и противоизносные свойства

В странах Западной Европы и США автомобильные трансмиссионные масла выпускаются по спецификациям двух типов:

- спецификации фирм, производящих автомобили;
- военные спецификации, по которым производятся масла для снабжения армии США и НАТО.

Спецификации обоих типов включают требования к физико-химическим и эксплуатационным свойствам масел, определяют объем и методы их испытаний.

Промышленные спецификации распространяются на все виды масел от GL-1 до GL-6 по классификации API, военные – только на GL-4 и GL-5. По этим спецификациям предусматривается проверка всех показателей качества в полном объеме указанных в них требований.

В США и странах Западной Европы наибольшее распространение получила военная спецификация США MIL-PRP-2105E, которая была введена в действие в 1995 г. и объединила требования MIL-L-2105D (введена в 1987 г. взамен MIL-L-2105C) и API MT-1.

Военные спецификации дают описание почти всех требований, предъявляемых к смазочным маслам, которые имеются на заправочных

станциях США и большинства других стран. Однако требования отдельных изготовителей техники выше, чем гарантируемые этими спецификациями. Поэтому основные изготовители автомобилей имеют собственные спецификации на трансмиссионные масла первой заправки. К этим маслам предъявляют дополнительные требования, обеспечивающие специфические характеристики, такие как чистота деталей, работоспособность синхронизаторов, продолжительность проскальзывания и др. Тем не менее часто для первой заправки рекомендуются масла по спецификации MIL-L-2105D.

В России собственные спецификации на трансмиссионные масла имеет только один автомобильный завод – ВАЗ.

**Система классификации ZF.** В Европе применяется классификация ZF TE-ML – «Zahnradfabrik Friedrichshafen», которая охватывает все масла, включая жидкости для гидромеханических передач. Компания «Zahnradfabrik Friedrichshafen» (Германия, Фридрихсхафен, далее – ZF) является одной из крупнейших и влиятельных в Европе по производству передач и силовых агрегатов транспортных средств. Она создала систему классификации всех видов автотракторных передач. Каждый вид имеет свой список смазочных материалов. Эти списки обозначаются буквами и цифрами от ZF TE-ML 01 до ZF TE-ML 15. В списках для каждого вида передач перечисляются: виды и классы смазочных материалов; классы вязкости; допущенные к применению продукты с указанием марки и производителя.

В табл. 9 для каждого списка смазочных материалов ZF приведены узлы и агрегаты техники, в которых их можно применять тот или иной смазочный материал.

Таблица 9

**Классификация трансмиссионных масел, применяемых в агрегатах ZF**

Список смазочных материалов ZF	Назначение (узлы и агрегаты)
ZF TE-ML 01	Механические несинхронизированные коробки передач с шестернями постоянного зацепления (коммерческие автомобили)
ZF TE-ML 02	Механические и автоматические трансмиссии грузовых автомобилей и автобусов
ZF TE-ML 03	Коробки передач с гидротрансформаторами для внедорожной мобильной техники (строительная и специальная техника, автопогрузчики и т. п.)
ZF TE-ML 04	Судовые трансмиссии

Список смазочных материалов ZF	Назначение (узлы и агрегаты)
ZF TE-ML 05	Ведущие мосты внедорожной мобильной техники
ZF TE-ML 06	Трансмиссия и гидравлические навесные системы тракторов
ZF TE-ML 07	Передачи с гидростатическим и механическим приводом, системы с электроприводом
ZF TE-ML 08	Системы рулевого управления (без гидроусилителя) легковых и грузовых автомобилей, автобусов и внедорожной мобильной техники
ZF TE-ML 09	Системы рулевого управления (с гидроусилителем и маслонасосом) легковых и грузовых автомобилей, автобусов и внедорожной мобильной техники
ZF TE-ML 10	Коробки передач типа Transmatic для легковых и коммерческих транспортных средств
ZF TE-ML 11	Механические и автоматические трансмиссии легковых автомобилей
ZF TE-ML 12	Ведущие мосты легковых автомобилей, коммерческих транспортных средств и автобусов
ZF TE-ML 13	Агрегаты ZF в транспортных средствах специального назначения
ZF TE-ML 14	Автоматические трансмиссии коммерческих транспортных средств
ZF TE-ML 15	Тормозные системы транспортных средств спецназначения

В каждом списке есть несколько классов. Например, список ZF TE-ML 07 предназначен для гидрообъемного или механического привода, системы электрических приводов: передачи, переключаемые под нагрузкой, передачи подъемных механизмов, приводы поворотных механизмов. Он имеет четыре класса: ZF TE-ML 07A, ZF TE-ML 07B, ZF TE-ML 07C, ZF TE-ML 07D. Для класса ZF TE-ML 07C допускается применять моторные масла вязкостью SAE 10W-30, 10W-40, 15W-30 и 15W-40, соответствующие требованиям стандарта концерна ZFN13012. Европейские производители масел стараются получить апробацию ZF. Эта система классификации в Европе становится основной.

**Классификация масел по ГОСТ.** Согласно ГОСТ 17479.2–85 «Масла трансмиссионные», четко классифицируют масла для механических трансмиссий по вязкости и уровню эксплуатационных свойств.

По вязкости масла для механических передач делят на четыре класса (табл. 10), а в табл. 11 приведены классы вязкости трансмиссионных масел в соответствии с SAE.

Таблица 10

**Классы вязкости трансмиссионных масел в соответствии с ГОСТ 17479.2-85**

Класс вязкости	Кинематическая вязкость при +100°С, мм <sup>2</sup> /с	Температура, при которой динамическая вязкость не превышает 150 Па·с, °С, не выше
9	6,00–10,99	–35
12	11,00–13,99	–26
18	14,00–24,99	–18
34	25,00–41,00	–

Таблица 11

**Классы вязкости трансмиссионных масел в соответствии с SAE**

Класс вязкости	Температура °С, при которой вязкость не превышает 150 Па·с, не выше	Вязкость, мм <sup>2</sup> /с, при температуре 99°С	
		min	max
75W	–40	4,2	–
80W	–26	7,0	–
85W	–12	11,0	–
90	–	13,5	≤24,0
140	–	24,0	≤41,0

В зависимости от эксплуатационных свойств и возможных областей применения масла для трансмиссий автомобилей, тракторов и другой мобильной техники отнесены к пяти группам ТМ-1–ТМ-5, указанным в табл. 12.

Таблица 12

**Группы трансмиссионных масел по содержанию присадок, эксплуатационным свойствам и области их применения**

Группа масел	Наличие присадок в масле	Рекомендуемая область применения, контактные напряжения и температура масла	Принятое обозначение
1	Минеральные масла без присадок	Цилиндрические, конические и червячные передачи, работающие при контактных напряжениях от 900 до 1600 МПа и температуре масла до 90°С	ТМ-1
2	Минеральные масла с противоизносными присадками	То же, при контактных напряжениях до 2100 МПа и температуре масла до 130°С	ТМ-2
3	Минеральные масла с противозадирными присадками умеренной эффективности	Цилиндрические, конические, спирально-конические, гипоидные передачи, работающие при контактных напряжениях до 2500 МПа и температуре масла до 150°С	ТМ-3

Группа масел	Наличие присадок в масле	Рекомендуемая область применения, контактные напряжения и температура масла	Принятое обозначение
4	Минеральные масла с противозадирными присадками высокой эффективности	Цилиндрические, спирально-конические и гипоидные передачи, работающие при контактных напряжениях до 3000 МПа и температуре масла до 150°C	ТМ-4
5	Минеральные масла с противозадирными присадками высокой эффективности и многофункционального действия, а также универсальные масла	Гипоидные передачи, работающие с ударными нагрузками при контактных напряжениях выше 3000 МПа и температуре масла до 150°C	ТМ-5

*Примечания:* 1. ТМ-1 и ТМ-2 – имеют ограниченное применение ввиду низкого уровня смазывающих свойств.

2. ТМ-3 – смеси дистиллятного маловязкого низкотемпературного масла с остаточными вязкими маслами селективной очистки с добавлением противозадирной, противоизносной и антипенной присадок; иногда смеси дистиллятного масла с деасфальтизатором или загущенные полиметакрилатом.

3. ТМ-4 – смеси дистиллятных и остаточных масел, а в некоторых случаях включают осерненный нигрол, окисленный петралатум и загустители консистентных смазок.

4. ТМ-5 – масла, предназначенные для работы в самых тяжелых условиях, их состав зависит от конструкции трансмиссии и условий работы.

**Маркировка масел** включает следующие знаки: первая группа знаков состоит из букв ТМ (трансмиссионное масло), вторая обозначается цифрами и характеризует принадлежность масла к группе эксплуатационных свойств, третья группа обозначается цифрами, характеризующими класс вязкости. Применяются уточняющие обозначения: «З» – содержит загущающую присадку, «К» – консервационное, «РК» – рабоче-консервационное.

Пример маркировки: ТМ-5-12РК – масло трансмиссионное 5-й группы по эксплуатационным свойствам, 12-го класса вязкости, является рабоче-консервационным.

Ориентировочное соответствие трансмиссионных масел по классам вязкости и группам условий эксплуатации по ГОСТ 17479.2–85, системе SAE и системе API приведено в табл. 13.

Физико-химические и эксплуатационные свойства трансмиссионных масел производства стран СНГ приведены в табл. 14. Они должны в полной мере гарантировать долговечную и надежную работу агрегатов трансмиссии.



Таблица 13

**Соответствие классов вязкости и групп эксплуатационных свойств  
трансмиссионных масел по ГОСТ и классификациям SAE и API**

Класс вязкости		Группа условий эксплуатации		Область применения в соответствии с условиями эксплуатации
ГОСТ 17479.2–85	Система SAE	ГОСТ 17479.2–85	Система API	
9	75W	TM-1	GL-1	Механизмы, в которых используются масла с депрессорными и антипенными присадками
12	80W / 85W	TM-2	GL-2	Механизмы, в которых используются масла с антифрикционными присадками
18	90	TM-3	GL-3	Ведущие мосты со спирально-коническими передачами; слабые противозадирные присадки
34	140	TM-4	GL-4	Гипоидные передачи; противозадирные присадки средней активности
–	250	TM-5	GL-5	Гипоидные передачи грузовых и легковых автомобилей; активные противозадирные и противоизносные присадки
–	–	–	GL-6	Гипоидные передачи, работающие в очень тяжелых условиях; высокоэффективные противозадирные и противоизносные присадки

Таблица 14

**Характеристика трансмиссионных масел стран СНГ**

Наименование показателей	Общего назначения для цилиндрических, конических, спирально-конических и червячных передач			Универсальные		Для гипоидных передач грузовых автомобилей	
	TM-2-18	TM-3-9	TM-3-18	TM-5-18	TM-5-12	TM-4-18	TM-4-9
Вязкость кинематическая, мм <sup>2</sup> /с: при 100°C, не менее при 50°C	15 130–140	10 –	14 95–140	17,5 110–120	17,5 –	14 95–105	9 35–40
Индекс вязкости, не менее	80	90	80	100	140	90	120
Температура вспышки, °C, не ниже	180	128	180	200	–	180	160
Температура застывания, °C, не выше	–18	–40	–25	–25	–40	–50	–20
Эксплуатация при температуре, °C, не ниже	–25	–	–25	–30	–	–30	–50

Наименование показателей	Общего назначения для цилиндрических, конических, спирально-конических и червячных передач			Универсальные		Для гипоидных передач грузовых автомобилей	
	TM-2-18	TM-3-9	TM-3-18	TM-5-18	TM-5-12	TM-4-18	TM-4-9
Содержание активных элементов, %:							
фосфор	0,06	–	–	0,1	0,1	–	–
цинк	0,05	–	–	–	–	–	–
хлор	–	–	–	–	–	0,5	2,8
сера	–	–	до 1,9	2,7–3,0	2,4–3,0	–	–
суммарное	0,11	–	до 1,9	2,8–3,1	2,5–3,1	0,5	2,8
Класс вязкости по SAE	90	75W	90	90	80W–85	90W	75W
Группа свойств по API	GL-2	GL-4	GL-4	GL-5	GL-5	GL-4	GL-4

Группу масел устанавливают по результатам оценки их свойств согласно ГОСТ 9490–75 при разработке новых трансмиссионных масел и постановке их на производство, а также при периодических испытаниях товарных масел 1 раз в два года (табл. 15).

Таблица 15

#### Оценочные показатели при определении группы масла

Определяющее свойство	Группа масла			
	1, 2	3	4	5
Предельная нагрузочная способность по нагрузке сваривания $P_c$ , Н, не менее	2700	2760	3000	3280
Противоизносное свойство по показателю износа $D_{и}^*$ при осевой нагрузке 392 Н и температуре $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ в течение 1 ч, мм, не более	0,5	–	–	0,4

\* $D_{и}$  – диаметр пятна износа при испытании на четырехшариковой машине трения.

До введения ГОСТ 17479.2–85 на классификацию и систему обозначений трансмиссионных масел их маркировка в нормативно-технической документации была другой и регламентировалась ГОСТ 23652–79, ОСТАми и ТУ (табл. 16).

**Соответствие обозначений трансмиссионных масел по принятым  
в нормативно-технической документации**

Обозначение масла по ГОСТ 17479.2–85	Принятое обозначение масла	Нормативно техническая документация
ТМ-1-18	ТС-14,5	ТУ 38.101110–81
ТМ-1-18	АК-15	ТУ 38.001280–76
ТМ-2-9	ТСп-10ЭФО	ТУ 38.101701–77
ТМ-2-18	ТЭп-15	ГОСТ 23652–79
ТМ-2-34	ТС	ТУ 38.1011332–90
ТМ-3-9	ТСзп-8	ТУ 38.1011280–90
ТМ-3-9	ТСп-10	ТУ 38.401809–90
ТМ-3-18	ТСп-15К Тап-15В	ГОСТ 23652–79
ТМ-5-9	ТСз-9гип	ТУ 38.1011238–89
ТМ-5-18	ТСп-14гип ТАД-17и	ГОСТ 23652–79
ТМ-5-34	ТСгип	ОСТ 38.01260–82
ТМ-5-12з(рк)	ТМ5-12рк	ТУ 38.101844–80

В настоящее время выпускаемые отечественные трансмиссионные масла имеют маркировки, соответствующие ГОСТ 17479.2–85, а также системам классификации SAE или API.

## **2.5. Ассортимент масел, их применение и взаимозаменяемость**

Рекомендации по применению трансмиссионных масел стран СНГ по типам передач, группам автотракторной техники, условиям эксплуатации, а также возможным заменителям указаны в табл. 17.

**Рекомендации по применению трансмиссионных масел стран СНГ**

Марка масла	Возможные заменители	Тип масла; рекомендуемая область применения
ТМ-2-18	ТМ-3-18	Прямозубые и червячные передачи; всесезонное, работоспособно до –20°С
ТМ-3-18	ТМ-5-12В, ТМ-5-12рк	Прямозубые, спирально-конические и червячные передачи; всесезонное, работоспособно до –25°С

Марка масла	Возможные заменители	Тип масла; рекомендуемая область применения
TM-3-9	TM-5-12В, TM-5-12рк	В агрегатах трансмиссии автомобилей при температуре воздуха до $-45^{\circ}\text{C}$ ; всесезонное для северных районов, зимний сорт для северной полосы
TM-5-12	–	Всесезонное для холодной климатической зоны и зимнее для средней полосы. Масло универсальное. Температурный диапазон работоспособности масла от $-40^{\circ}\text{C}$ до $+140^{\circ}\text{C}$
TM-4-18	TM-5-18, TM-5-2В, TM-5-12рк	Гипоидные передачи грузовых автомобилей; всесезонное для умеренной климатической зоны, работоспособно до $-30^{\circ}\text{C}$
TM-5-18	TM-5-12В, TM-5-12рк	Агрегаты трансмиссии с гипоидными передачами, коробки передач и рулевое управление легковых автомобилей; всесезонное, работоспособно до $-30^{\circ}\text{C}$
TM-4-9	TM-5-12В, TM-5-12рк	Агрегаты трансмиссии автотракторной техники, в том числе с гипоидными главными передачами; эксплуатация в холодной климатической зоне до температуры $-50^{\circ}\text{C}$

Зарубежные фирмы импортируют на рынок СНГ широкий ассортимент трансмиссионных масел. В качестве примера в табл. 18 представлены основные показатели качества трансмиссионных масел, производимых некоторыми фирмами. В обозначении этих масел всегда присутствует марка фирмы и, как правило, соответствие этого масла классификациям SAE и API.

Таблица 18

**Зарубежные трансмиссионные масла, их применение  
и эксплуатационные свойства**

Марка масла	Производитель	Назначение масла	Класс вязкости по SAE	Группа свойств по API	Вязкость, $\text{мм}^2/\text{с}$ , при $100^{\circ}\text{C}$	Температура застывания, $^{\circ}\text{C}$
<b>Масла высшего качества (100% синтетика)</b>						
TAF-X	Castrol	Для всех видов трансмиссий	75W-90	GL-5	14,4	-45
Gear 300	Motul		75W-90	GL-5	14,0	-36
Synquest EP Gear (Lubricant) 100%	Quaker State		75W-90	GL-5, GL-6	17,4	–
<b>Масла высокого качества (полусинтетика)</b>						
Motulgear	Motul	Для всех видов трансмиссий	75W-90	GL-5	19,0	-30

Марка масла	Производитель	Назначение масла	Класс вязкости по SAE	Группа свойств по API	Вязкость, мм <sup>2</sup> /с, при 100°С	Температура застывания, °С
<b>Масла на минеральной основе</b>						
EP	Castrol	Для КПП	80W	GL-4	10,5	-32
EP	Castrol	Для КПП	90W	GL-4	14,5	-26
EPX	Castrol	Для гипоидных передач	90W	GL-5	10,4	-34
EPX	Castrol		90W	GL-5	15,8	-25
Mobilude-HD-90	Mobil	Для всех видов трансмиссий	85W-90	GL-5	17,7	-26
Mobilude-SHC-25	Mobil	По инструкции производителя	85W-90	GL-5	15,2	-54
Mobilude-GX-80W	Mobil		80W	GL-4	10,4	-26
High Performance Gear Lubricant	Quaker State	Для всех видов трансмиссий	80W-90	GL-5, GL-5	13,8	-
Gear Box	Motul		80W-90	GL-5	18,0	-18
Trans Gear ONX-18MD	Valvoline	Кроме гипоидных передач	80W-90	GL-4	-	-
High Performance GearX-18MD	Valvoline	Для всех видов трансмиссий	80W-90	GL-5	-	-
Geartex EP-C	Техасо	Для КПП	80W-90	GL-5	15,1	-27
Geartex EP-C	Техасо	Для гипоидных передач	85W-140	GL-5	26,1	-15

В табл. 19 приведены данные по взаимозаменяемости трансмиссионных масел стран СНГ и некоторых зарубежных фирм.

Эти материалы позволяют легко подобрать зарубежные эквиваленты отечественным трансмиссионным маслам, а также решить обратную задачу по определению отечественных заменителей зарубежных нефтепродуктов.

Рассматривая рыночный ассортимент трансмиссионных масел, следует отметить их заметное сокращение. Так, совершенно перестали вырабатывать старые, хорошо известные масла АК-15, ТС-14,5, сократились объемы производства ранее широко используемых масел Тап-15В, ТЭп-15 и др. Объясняется это значительным сокращением в эксплуатации старых автомобилей, тракторов, экскаваторов и других транспортных, строительных и сельскохозяйственных технических средств.

**Соответствие марок трансмиссионных масел стран СНГ и зарубежных фирм-производителей**

Марка отечественного масла	Класс вязкости по SAE	Группа свойств по API	Марка импортного масла	Производитель импортного масла
TM-2-18	90	GL-2	Shell Spirax 90 EP	Shell
			Mobilude C 90	Mobil
TM-3-9	80	GL-4	Shell Spirax 80 EP	Shell
			Mobilude CX SAE 80	Mobil
			BP Multi Gear Oil 80 / 90 EP	BP
			Esso Gear Oil CP 80	Esso
TM-3-18	90	GL-4	Shell Spirax 90 EP	Shell
			Mobilude C 90	Mobil
			BP Gear Oil EP SAE 90	BP
			Esso Gear Oil EP 90	Esso
TM-4-9з	80W	GL-4	Shell Spirax EP 75W	Shell
			BP Gear Oil 75W EP	BP
			Esso Gear Oil EP 75W	Esso
TM-4-18	90W	GL-4	Shell Spirax EP SAE 90	Shell
			Mobilude HD 90	Mobil
			BP Multi Gear SAE 90 EP	BP
			Esso Gear Oil 90 EP	Esso
TM-5-18	90	GL-5	Shell Spirax 90 HD	Shell
			Mobil CX 90	Mobil
			BP Hypogear SAE 90	BP
			Esso Gear Oil CX SAE 90	Esso

В то же время нельзя не заметить появления на рынке различных зарубежных трансмиссионных масел аналогичного назначения, которые успешно конкурируют с маслами отечественного производства. Тем не менее ряд маловязких, низкозастывающих масел специального назначения продолжает производиться и успешно реализуется в сложных условиях современного рынка. К ним относятся **трансмиссионные масла класса вязкости 9** (табл. 20).

*Масло ТСзп-8* (ТУ 38.1011280–89) – масло вязкое, низкозастывающее, загущенное стойкой против деструкции вязкостной присадкой, содержит также противозадирную, противоизносную, антиокислительную и антипенную присадки. Масло предназначено для смазывания агрегатов трансмиссий, имеющих планетарные редукторы, коробок передач и некоторых систем гидроуправления мобильных транспортных средств.

**Физико-химические и эксплуатационные свойства трансмиссионных масел класса вязкости 9**

Показатели	ТСзп-8	ТСз-9гип	ТСп-10	МТ-8п
Вязкость: кинематическая, мм <sup>2</sup> /с, при 100°С, не менее	7,5–8,5	9,0	10,0	8,0-9,0
динамическая, Па·с, при –45 (–35)°С, не более	–	150	(300)	–
Индекс вязкости, не менее	140	140	90	90
Температура, °С: вспышки в открытом тигле, не ниже	164	160	128	180
застывания, не выше	–50	–50	–40	–30
Массовая доля, %: механических примесей, не более	0,025	0,050	0,02	0,015
воды		Следы		
серы (хлора), не менее	0,7	(2,8)	1,6	–
фосфора, не менее	0,08	–	–	–
Кислотное число, мг КОН/г, не более	–	1,0	–	0,01
Испытание на коррозию пластинок из стали и меди	Выдерживает			
Смазывающие свойства на ЧШМ: индекс задира, Н, не менее	392	490	470	343
показатель износа при 20°С, 1 ч, и нагрузке 392 Н, мм, не более	0,50	0,90	–	–
нагрузка сваривания, Н, не менее	2764	3283	3479	–
критическая нагрузка, Н, не менее	823	1235	–	–

*Масло ТСз-9гип* (ТУ 38.1011280–89) – смесь высоковязкого и маловязкого низкозастывающего нефтяных масел, загущенная вязкостной полимерной присадкой, стойкой против деструкции. В состав масла входят противозадирная, противоокислительная, антикоррозионная, депрессорная и антипенная присадки. Масло работоспособно в широком интервале температур от –50 до +120°С в различных автомобильных трансмиссиях, включая и гипоидные передачи.

*Масло ТСп-10* (ГОСТ 23652–79) вырабатывают из малосернистых нефтей, при этом используют высоковязкий остаточный деасфальтированный компонент и маловязкий дистиллятный компонент с низкой температурой застывания. Кроме противозадирной присадки, масло содержит депрессорную присадку. Масло применяют в северных районах и как зимнее в средних климатических зонах для смазывания прямозубых, спирально-конических и червячных передач, работающих при контактных напряжениях до 1500–2000 МПа и температурах масла в объеме до 100–110°С.

*Моторно-трансмиссионное масло МТ-8п* (ТУ 38.101277–85) – масло селективной очистки из восточных сернистых нефтей, содержит композицию противоизносных, антикоррозионных, антиокислительных и моющих присадок, депрессатор температуры застывания и антипенную добавку. Масло применяют как трансмиссионное в планетарных передачах гусеничных машин, а также в системе гидроуправления некоторых специальных машин.

**Трансмиссионные масла класса вязкости 18** (табл. 21) по объемам производства и потребления наиболее широко представлены в ассортименте трансмиссионных смазочных материалов. В основном они представляют собой минеральные масла остаточного происхождения с композицией присадок. Область применения охватывает все грузовые и легковые автомобили, тракторы, дорожно-строительные машины и другие виды мобильной техники, а также некоторые виды тяжелых редукторов промышленного оборудования.

Таблица 21

**Физико-химические и эксплуатационные свойства трансмиссионных масел класса вязкости 18**

Показатели	ТЭп-15	ТАп-15В	ТСп-15К	ТСп-14гип	ТАД-17и
Вязкость: кинематическая, мм <sup>2</sup> /с, температура: 50°С 100°С динамическая, Па·с, температура: –15 (–20)°С, не более	– 15,0±1	– 15,0±1	– 15,0±1	– ≥14,0	110–120 ≥17,5
Индекс вязкости, не менее	–	–	90	85	100
Температура, °С: вспышки в открытом тигле, не менее застывания, не выше	185 –18	185 –20	185 –25	215 –25	200 –25
Массовая доля, %: механических примесей, не более воды фосфора, не менее серы водорастворимых кис- лот и щелочей	0,03   0,06 ≤3,0 Отсутствие	0,03  Следы – – Отсутствие	0,01  – – –	0,01  Отсутст- вие – – –	Отсут- ствие Следы 0,10 1,9–2,3 –



Показатели	ТЭп-15	ТАп-15В	ТСп-15К	ТСп-14гип	ТАД-17и
Испытание на коррозию пластинок в течение 3 ч: из стали и меди при 100°С из меди при 120°С, баллы, не более	–	–	2с	–	2с
	Выдерживает				
Зольность, %	≥0,3	–	–	–	≤0,3
Кислотное число, мг КОН/г, не более	–	–	–	–	2,0
Стабильность на приборе ДК-НАМИ (140°С, 20 ч): изменение кинематической вязкости при 100°С, не более	25,0	–	7,0	–	–
осадок в петролейном эфире, %, не более	0,70	–	0,05	–	–
Склонность к пенообразованию, см <sup>3</sup> , не более при температуре:					
24°С	–	–	300	500	100
94°С	–	–	50	450	50
24°С после испытания при 94°С	–	–	300	550	100
Смазывающие свойства на ЧШМ:					
индекс задира, Н, не менее	–	490	539	588	568
нагрузка сваривания, Н, не менее	–	3283	3479	3920	3687
показатель износа при осевой нагрузке 392 Н, (20±5)°С, 1 ч, мм, не более	0,55	–	0,50	–	0,40
Цвет, ед. ЦНТ, не более	–	–	–	6,0	5,0
Плотность при 20°С, кг/м <sup>3</sup> , не более	950	930	910	910	907

*Масло ТЭп-15* производят на базе ароматизированных остаточных продуктов и дистиллятных масел. Функциональные свойства масел улучшены благодаря введению противоизносной и депрессорной присадок. Применяют в качестве всесезонного трансмиссионного масла.

онного масла для тракторов и других сельскохозяйственных машин в районах с умеренным климатом. Рабочий температурный диапазон масла от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+100^{\circ}\text{C}$ .

*Масло ТСп-15К* – трансмиссионное масло, единое для коробки передач и главной передачи (двухступенчатый редуктор с цилиндрическими и спирально-коническими зубчатыми колесами) автомобилей КамАЗ и других грузовых автомобилей. Представляет собой остаточное масло с небольшой добавкой дистиллятного и присадок, улучшающих противозадирные, противоизносные, низкотемпературные и антипенные свойства. Работоспособно при температурах от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+130^{\circ}\text{C}$ .

*Масло Тп-15В* – смесь высоковязкого ароматизированного продукта с дистиллятным маслом и композицией присадок, улучшающих противозадирные и низкотемпературные свойства. Применяют в трансмиссиях грузовых автомобилей и для смазывания прямозубых, спирально-конических и червячных передач, в которых контактные напряжения достигают 2000 МПа, а температура масла в объеме  $130^{\circ}\text{C}$ . В средней климатической зоне используют все сезонно при температуре до  $-25^{\circ}\text{C}$ .

*Масло ТСп-14гип* вырабатывают с композицией противозадирной, моющей и антипенной присадок. Предназначено для смазывания гипоидных передач грузовых автомобилей (в основном семейства ГАЗ) и специальных машин в качестве все сезонного для умеренной климатической зоны. Диапазон рабочих температур масла  $-25^{\circ}\text{C}$  до  $+130^{\circ}\text{C}$ .

*Масло ТАД-17и* – универсальное минеральное. Содержит многофункциональную серофосфоросодержащую, депрессорную и антипенные присадки. Работоспособно до  $-25^{\circ}\text{C}$ ; верхний предел длительной работоспособности  $130-140^{\circ}\text{C}$ . Предназначено для смазывания всех типов передач, в том числе гипоидных, автомобилей и другой мобильной техники.

Многие нефтеперерабатывающие заводы и российские фирмы помимо масел, производимых по ГОСТам и общеотраслевым техническим условиям, вырабатывают трансмиссионные масла под своей торговой маркой по собственным техническим условиям. Разработка ТУ предприятия-изготовителя связана с тем, что масло не по всем показателям отвечает требованиям ГОСТов для масел аналогичного назначения. Однако изготовление трансмиссионного масла по ТУ возможно лишь в том случае, если на него в установленном порядке оформлен допуск к производству и применению.

## **2.6. Масла для гидромеханической и гидрообъемной передач**

### **2.6.1. Условия работы масел в гидромеханических передачах**

Гидромеханическая передача (ГМП) включает в себя несколько совершенно разнородных узлов – гидротрансформатор, шестеренную коробку передач, сложную систему автоматического управления. Поэтому спектр функций масла весьма широк.

Основными функциями масел в ГМП являются: передача мощности от двигателя к механическому редуктору; смазка узлов и деталей коробки передач; циркуляция в системе управления гидромеханической передачей; рабочая среда фрикционных муфт и тормозов; охлаждение деталей, узлов и механизмов агрегата. В ГМП динамические нагрузки меньше (в 1,5–3,0 раза), чем в обычных коробках передач из-за отсутствия жесткой связи между двигателем и трансмиссией. Средняя температура масла в картере ГМП составляет 80–95°C, но в жаркую погоду может достигать 150°C. Таким образом, гидромеханическая передача – самый теплонапряженный узел из всех агрегатов трансмиссии. Такая высокая температура масла в ГМП, в отличие от механической коробки передач, создается за счет внутреннего трения (скорость течения масла в гидротрансформаторе достигает 80–100 м/с). Конструкция гидромеханической передачи такова, что если с двигателя снимается мощность большая, чем нужно для преодоления дорожного сопротивления, ее избыток расходуется на внутреннее трение масла, что еще больше повышает его температуру. Высокие скорости движения потоков масла в гидротрансформаторе и температура вызывают интенсивную аэрацию, усиленное пенообразование, что создает благоприятные условия для окисления и коррозии металлов. Разнообразие материалов в парах трения (сталь – сталь, сталь – металлокерамика, сталь – бронза, сталь – фрикционная накладка) затрудняет подбор антифрикционных присадок. Разнородные материалы деталей, кислород, вода, масло образуют электрохимические пары, активизирующие коррозионный износ.

В таких условиях масло должно не только сохранять свои эксплуатационные свойства, защищать поверхности трения, но и, как передающая вращающий момент среда, обеспечивать высокий КПД трансмиссии. В этом случае требования к вязкости прямо противоположны тем, которые предъявляются, когда речь идет только о смазке.

Для смазки шестерен и снижения утечек нужна относительно высокая вязкость, а для нормальной работы гидротрансформатора – низкая (4–9 сСт при 100°C). Повышение вязкости масла из-за понижения его температуры с 90°C до 30°C приводит к снижению КПД гидротрансформатора в среднем на 5–7%. Использование в ГМП масел с вязкостью при температуре 100°C, равной 1,4 мм<sup>2</sup>/с вместо 5,1 мм<sup>2</sup>/с, на 6–8% улучшает динамические характеристики автомобиля.

Кроме того, для нормальной работы фрикционных дисков масло должно обеспечивать повышенный коэффициент трения: от 0,10 до 0,18. При коэффициенте трения меньше 0,10 работа дисков сцепления сопровождается пробуксовкой, а при коэффициенте больше 0,18 – рывками. В обоих случаях это ведет к преждевременному выходу из строя фрикционных дисков.

Высокая температура ГМП, непосредственный контакт с большим количеством воздуха в присутствии каталитически активных цветных металлов вызывает быстрое его окисление в объеме, тонком слое и туманообразном состоянии. На окисляемость масла большое влияние оказывают конструктивные особенности гидромеханической передачи и условия эксплуатации автомобиля.

Окисление масла, кроме его общего загрязнения и повышения содержания кислых продуктов, приводит к нарушению нормальной работы фрикционных дисков. Продукты разложения, отлагаясь на фрикционных дисках сцепления, могут вызывать их «засаливание». Во избежание этого, а также для снижения интенсивности окисления масла и уменьшения отложения лака и шлама на деталях гидропередачи ко многим маслам добавляют противоокислительные и детергентно-диспергирующие (моющие) присадки. Эти присадки в результате тонкого диспергирования продуктов окисления масла по мере их образования препятствуют агрегатированию частичек и отложению их на поверхностях трения.

Коррозионная агрессивность масла к различным материалам должна быть минимальна, так как детали ГМП изготовлены из разнообразных металлов и сплавов. Для предотвращения коррозии деталей гидромеханических передач в масло добавляют противокоррозионные присадки. Химический состав масла не должен оказывать вредного воздействия на резиновые уплотнительные устройства, т. е. вызывать чрезмерного набухания или усадки резиновых деталей, приводящих к утечке масла. Набухание деталей из резины должно быть не более 1–6%.

Плотность масла имеет большое значение для эффективной работы ГМП. Чем выше плотность, тем большую мощность может передавать гидropередача. Плотность масла, применяемого в гидромеханических передачах, при рабочей температуре 80–95°С колеблется в пределах 818–809 кг/м<sup>3</sup>, а при комнатной температуре – 863–867 кг/м<sup>3</sup>.

Охлаждающие свойства масла оцениваются показателями удельной теплоемкости, которые для ГМП в диапазоне рабочих температур должны быть 2,08–2,12 кДж/(кг·°С). При этом автоматические коробки передач иногда оснащаются системами охлаждения.

Стойкость масла к пенообразованию обеспечивают добавлением в него противопенных присадок.

Качества трансмиссионных масел и увеличения срока службы добиваются также путем введения в их состав присадок. В табл. 22 приведены потребительские свойства некоторых присадок и добавок в масла для ГМП с целью улучшения их эксплуатационных свойств.

Таблица 22

**Потребительские свойства присадок и добавок к маслам  
автоматических коробок передач**

Наименование препарата	Назначение	Страна, производитель
Automatic Transmission and Power	Обеспечение плавности переключения передач и устранения течи жидкости из автоматической трансмиссии	Бельгия, Wynn's
Тюнинг для автоКПП Trans Extend With ER	Обеспечение идеальной работы АКПП, использование через 10 тыс. км пробега автомобиля или после его стоянки в течение 3–4 месяцев	США, Hi-Gear
Trans-Aid Conditioner & Sealer	Устранение пробуксовывания, увеличение срока службы и остановка течи жидкости	США, CD-2
Герметик и тюнинг для АКПП Trans Plus	Предохранение передачи от перегрева при работе, устранение течи из коробки за 15 км пробега автомобиля, совмещение со всеми типами жидкостей для АКПП	США, Hi-Gear
Герметик и тюнинг для АКПП Trans Plus With ER	Предохранение от перегрева при работе, обеспечение идеальной работы АКПП, устранение течи из коробки за 15 км пробега автомобиля, совмещение со всеми типами жидкостей	США, Hi-Gear

## 2.6.2. Марки масел для гидромеханической и гидрообъемной передач

Эти масла выполняют роль рабочего тела для бесступенчатого изменения передаваемого от двигателя крутящего момента и частоты вращения, а также общие функциональные задачи – смазка узлов трения, охлаждение, защита от коррозий и др. Они не подразделяются ни на эксплуатационные, ни на вязкостные группы или классы. Поэтому для всех условий, любого режима работы, любой мощности машины применяются одни и те же масла. Исключение составляют только климатические условия. В зависимости от природы базового масла и состава депрессорных присадок, масла различаются по индексу вязкости и температуре застывания. Для районов с суровой зимой в передачах необходимо применять синтетические масла.

Масла для гидромеханических передач производят на базе маловязких фракций сернистых парафинистых нефтей посредством их селективной очистки, глубокой депарафинизации и загущают их вязкостными полимерными присадками, которые в значительной мере улучшают их вязкостно-температурные характеристики.

Выпускают три марки таких масел: А, Р и МГТ (табл. 23).

*Масло марки А* представляет собой глубокоочищенное дистиллятное масло, в которое введены противоизносная, антиокислительная, депрессорная и антипенная присадки. Применяются всесезонно при температуре окружающего воздуха до  $-35^{\circ}\text{C}$  в гидротрансформаторах и гидромеханических передачах машин.

*Масло марки Р* изготавливается на основе веретенного масла АУ, в которое вводится этот же комплекс присадок, что и в масло марки А. Применяется в гидроусилителях рулевого управления и гидрообъемных передачах всесезонно при температурах окружающего воздуха от  $-45^{\circ}\text{C}$ .

*Масло МГТ* представляет собой высокоочищенное минеральное масло, в которое введен комплекс высокоэффективных функциональных присадок, обеспечивающих маслу высокий индекс вязкости и хорошие вязкостно-температурные свойства. Применяется в гидромеханических коробках передач автомобильной и гусеничной техники и гидросистемах навесного оборудования при температурах окружающего воздуха от  $+50^{\circ}\text{C}$  до  $-55^{\circ}\text{C}$  и контактном напряжении до 2000 МПа.

**Физико-химические показатели масел для гидромеханических передач**

Показатели	Марка А	Марка Р	МГТ
	ТУ 38.1011282–89		ТУ 38.1011103–90
Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с, при температуре: 100°С 40°С –20°С, не более	≥6,5 30–45 2100	≤5,0 17–22 1300	6–7 –
Динамическая вязкость при –50°С, Па·с, не более	–	–	40
Индекс вязкости, не менее	–	–	175
Температура, °С: вспышки в открытом тигле, не ниже застывания, не выше	175 –40	163 –45	160 –55
Массовая доля, %: механических примесей, не более воды водорастворимых кислот и щелочей цинка, не менее кальция, не менее	0,01 – 0,08 0,16	0,01 – 0,08 0,16	0,01 Отсутствие Допускается щелочная реакция – –
Испытание на коррозию, баллы	Выдерживает		≤2а
Стабильность в приборе ДК-НАМИ: осадок после разбавления масла растворителем, % (мас. доля), не более Зольность, % не менее	0,07 0,60	0,03 0,60	0,07 –
Смазывающие свойства на ЧШМ (по ГОСТ 9490–75): индекс задира, Н, не менее показатель износа при осевой на- грузке 392,4 Н, мм, не более	– –	– –	392 0,5
Склонность к пенообразованию, см <sup>3</sup> , не более, при температуре: 24°С 94°С 24°С после испытания при 94°С	150 150 150	150 150 150	100 100 100
Воздействие на резину марки УИМ-1 [72 ч, 125°С (130°С)], %: изменение объема изменение массы	– (≤5,0)	– (≤5,0)	0–8 0–7

Для гидрообъемных передач и гидроусилителей рулевого управления используется маловязкое, малосернистое масло типа веретенного АУ с комплексом присадок, улучшающих их эксплуатационные свойства.

Масла для автоматических гидравлических передач ввиду специфических требований к ним иногда называют жидкостями ATF (Automatic Transmission Fluids).

Крупнейшие производители гидромеханических коробок передач разработали спецификации для автоматических трансмиссионных жидкостей. Наиболее распространены требования General Motors и Ford. Классификации General Motors соответствуют масла DEXRON (DEXRON II, DEXRON II E, DEXRON III). Масла фирмы Ford обозначаются маркой MERCON (V2C 1380CJ, M2C 166H).

Масла (жидкости) для автоматической коробки передач легковых автомобилей по своим свойствам отличаются от масел для мощных тягачей, тракторов и других мобильных машин. Требования к качеству масел для мощных машин предъявляются в спецификациях производителей машин, которые указываются в листах данных. Например, смазки ZF TE-ML14, MAN 339, MB 236.6 (универсальное) и т. д. имеют высокий индекс вязкости (например, для жидкости ATF индекс вязкости равен 197), который обеспечивает высокую температурную стабильность вязкости, а высокая термоокислительная стойкость позволяет поддерживать стабильность других свойств во всем намеченном интервале службы.

В табл. 24 приведен ряд масел зарубежных производителей.

Таблица 24

**Масла для гидромеханических передач некоторых зарубежных производителей**

Марка масла	Производитель	Тип масла	Модификация	Вязкость, мм <sup>2</sup> /с, при 100°С	Температура застывания, °С
Transmas S	Castrol	Синтетическое	Dexron II D	7,1	-60
TQ	Castrol	Минеральное	Dexron II D	7,4	-42
ATF Type D	Valvoline	Минеральное	Dexron II D	-	-
Dexron II D	Motul	Минеральное	Dexron II D	7,0	-40
Dexron II D	Quaker State	Минеральное	Dexron II D	6,95	-
Mercon Multi Purpose Automatic-transmission Fluid Mobil AFT	Quaker State	Минеральное	Dexron II D	7,0	-44
Texamatic 4261	Texaco	Минеральное	Dexron II D	7,42	-48
Texamatic 4261	Texaco	Минеральное	Dexron II D	8,4	-45



Масла для автоматической коробки передач окрашиваются в красный цвет для отличия от других масел и для обнаружения утечки.

Изменение технического состояния гидромеханической коробки передач во многом зависит от температуры масла. При высокой вязкости масла и низкой его температуре увеличивается расход топлива; при высокой температуре теряют работоспособность манжеты сальника, резиновые уплотнительные кольца. Поэтому верхний предел температуры масла при сливе из гидротрансформатора должен быть не более 125°C, а в поддоне – 110°C в жаркое время года; минимальная температура соответственно 70°C и 60°C. Температуру масла контролируют с помощью датчиков в клапане слива в поддоне.

По температуре масла можно определить заклинивание реакторов, поломку фрикциона блокировки, неисправность клапана слива и т. д. Разница между температурой масла на сливе и в поддоне стабилизируется при нормальной работе гидропередач и изменяется при неисправности какого-либо узла.

# ЛИТЕРАТУРА

.....

1. Грамолин, А. В. Топливо, масла, смазки, жидкости и материалы для эксплуатации и ремонта автомобилей / А. В. Грамолин, А. С. Кузнецов. – М.: Машиностроение, 1995. – 64 с.

2. Борзенков, В. А. Нефтепродукты для сельскохозяйственной техники / В. А. Борзенков, М. А. Воробьев, Н. А. Кузнецов. – М.: Химия, 1988. – 288 с.

3. Сафонов, А. С. Автомобильные эксплуатационные материалы / А. С. Сафонов, А. И. Ушаков, Н. Д. Юскавец. – СПб.: Гидрометиздат, 1998. – 233 с.

4. Смазочные материалы: антифрикционные и противоизносные свойства. Методы испытаний: справочник / Р. М. Матвеевский [и др.]. – М.: Машиностроение, 1989. – 224 с.

5. Топливо, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: справочник / И. Г. Анисимов [и др.]; под редакцией В. М. Школьников – М.: Издат. центр «Техинформ», 1999. – 596 с.

6. Богомоллов, А. И. Химия нефти и газа / А. И. Богомоллов [и др.]; под ред. В. А. Проскуракова, А. Е. Дробикина. – СПб.: Химия, 1995. – 448 с.

7. Baltenas, R. Automobiliu degalai ir tepalai / R. Baltenas, L. Sologubas, R. Sologubas. – Vilnius: TEV, 1998. – 415 p.

8. Масла трансмиссионные. Классификация и обозначения: ГОСТ 17479.2–85. – Введ. 20.12.1985. – М.: М-во нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности СССР, 1985. – 46 с.

9. Зарубежные масла, смазки и специальные жидкости: международ. справочник. – М.: ИЦ «Техинформ» МАИ, 1998. – Вып. 2. – 128 с.

10. Кириченко, Н. Б. Автомобильные эксплуатационные материалы: учеб. пособие для сред. проф. образования / Н. Б. Кириченко. – М.: Издат. центр «Академия», 2003. – 208 с.

11. Шарипов, В. М. Трансмиссии тракторов / В. М. Шарипов, И. М. Эглит, А. П. Парфенов; под ред. В. М. Шарипова. – М.: Фонд «За экономическую грамотность», 1998. – 272 с.

12. Валяжонков, В. Д. Трансмиссии лесной автотракторной техники: учеб. пособие для лесомеханических и лесоинженерных специальностей вузов. – СПб.: СПбЛТА, 2008. – 172 с.

13. Васильева, Л. С. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебник для вузов / Л. С. Васильева. – 2-е изд. – М.: Наука-Пресс, 2004. – 421 с.

14. Стуканов, В. А. Автомобильные эксплуатационные материалы / В. А. Стуканов. – М.: Форум: Инфра-М, 2002. – 203 с.

15. Джерихов, В. Б. Автомобильные эксплуатационные материалы: учеб. пособие: в 2 ч. / В. Б. Джерихов. – СПб.: СПб. гос. архит.-строит. ун-т, 2009. – Ч. II: Масла и смазки. – 256 с.

16. Лесные машины «Беларус»: учеб. пособие / А. В. Жуков [и др.]. – Минск: БГТУ, 2001. – 149 с.

17. Наумов, Е. С. Ходовая система колесных тракторов (конструкция): учеб. пособие для студентов специальности 150100 «Автомобиле- и тракторостроение» / Е. С. Наумов, А. П. Парфенов, В. М. Шарипов. – М.: МАМИ, 1999. – 36 с.

18. Жуков, А. В. Проектирование лесопромышленного оборудования: учебник для вузов / А. В. Жуков. – Минск: Выш. шк., 1990. – 312 с.

19. Баринов, К. Н. Проектирование лесопромышленного оборудования. Компоновка лесных машин: учеб. пособие / К. Н. Баринов, В. А. Александров. – Л.: ЛТА, 1985. – 64 с.

20. Федоренчик, А. С. Харвестеры: учеб. пособие для студентов вузов / А. С. Федоренчик, И. В. Турлай. – Минск: БГТУ, 2002. – 172 с.

21. Проектирование трансмиссий автомобилей: справочник / под общ. ред. А. И. Гришкевича. – М.: Машиностроение, 1984. – 272 с.

22. Котиков, В. М. Тракторы и автомобили: учебник для студентов учреждений сред. проф. образования / В. М. Котиков, А. В. Ерхов. – М.: Академия, 2008. – 416 с.

23. Яценко, Н. Н. Нагруженность трансмиссии и ровность дороги / Н. Н. Яценко, В. С. Шупляков. – М.: Транспорт, 1967. – 164 с.

# СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
1. Общий раздел .....	4
1.1. Условия эксплуатации лесных машин, назначение трансмиссий .....	4
1.2. Типы трансмиссий .....	7
1.2.1. Ступенчатые механические трансмиссии .....	8
1.2.2. Бесступенчатые механические передачи .....	13
1.2.3. Гидродинамические, гидромеханические, гидрообъемные передачи и трансмиссии .....	16
1.3. Трансмиссии лесных колесных и гусеничных машин	29
1.4. Агрегаты и узлы трансмиссий .....	35
2. Трансмиссионные масла .....	37
2.1. Условия работы масел в механических трансмиссиях	37
2.2. Эксплуатационные требования к качеству трансмиссионных масел .....	38
2.3. Основные свойства масел .....	39
2.4. Классификация и маркировка трансмиссионных масел	55
2.5. Ассортимент масел, их применение и взаимозаменяемость .....	67
2.6. Масла для гидромеханической и гидрообъемной передач .....	75
2.6.1. Условия работы масел в гидромеханических передачах .....	75
2.6.2. Марки масел для гидромеханической и гидрообъемной передач .....	78
Литература .....	82

# ТРАНСМИССИОННЫЕ МАСЛА

Методические указания

Составители:

**Демидов** Валерий Алексеевич  
**Симанович** Василий Антонович  
**Арико** Сергей Евгеньевич

Редактор *П. В. Васильцова*  
Компьютерная верстка *Е. В. Ильченко*  
Корректор *Р. М. Рябая*

Подписано в печать 02.07.2013. Формат 60×84<sup>1/16</sup>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 4,9. Уч.-изд. л. 5,0.  
Тираж 50 экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение:  
УО «Белорусский государственный технологический университет».  
ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009.  
ЛП № 02330/0150477 от 16.01.2009.  
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.