



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

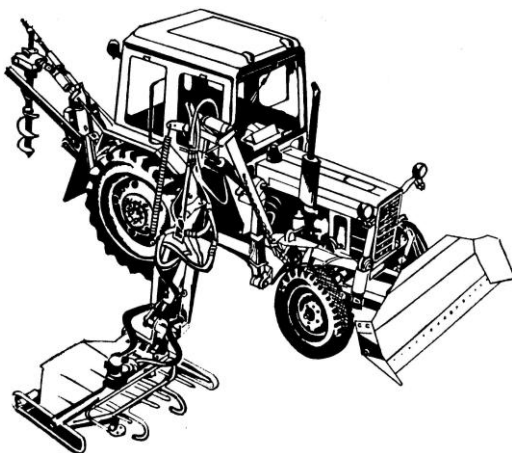
**Белорусский национальный  
технический университет**

---

**Кафедра «Строительные и дорожные машины»**

# **ТЯГОВО-ТРАНСПОРТНЫЕ МАШИНЫ**

**Лабораторный практикум**



**Минск  
БНТУ  
2012**

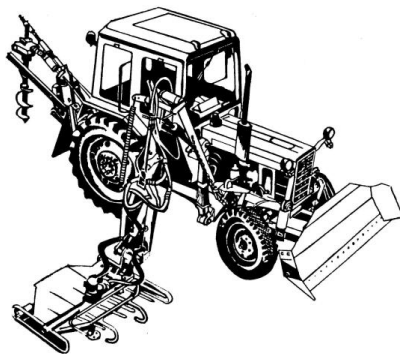
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Строительные и дорожные машины»

## ТЯГОВО-ТРАНСПОРТНЫЕ МАШИНЫ

Лабораторный практикум  
для студентов специальности 1-36 11 01  
«Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины  
и оборудование»



*Под редакцией В. В. Яцкевича*

Минск  
БНТУ  
2012

УДК 629.3.014.2(076.5)

ББК 39.34я7

T99

**С о с т а в и т е л и :**

*В. В. Яцкевич, П. В. Зелёный,  
А. А. Бежик, Ю. В. Соколовский*

**Р е ц е н з е н т ы :**

доцент кафедры «Горные машины»  
Белорусского национального технического университета,  
канд. техн. наук *Г. А. Таяновский*;  
доцент кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка»  
Белорусского государственного агротехнического университета,  
канд. техн. наук *В. Д. Лабодаев*

**Тягово-транспортные машины** : лабораторный практикум для  
Т99 студентов специальности 1-36 11 01 «Подъемно-транспортные,  
строительные, дорожные машины и оборудование» / В. В. Яцкевич,  
П. В. Зелёный, А. А. Бежик, Ю. В. Соколовский; под ред. В. В. Яцке-  
вича. – Минск : БНТУ, 2012. – 98 с.  
ISBN 978-985-525-898-9.

Лабораторный практикум содержит общие сведения о тягово-транспортных ма-  
шинах, задания, описание устройства строительных, дорожных и транспортных ма-  
шин, их краткие технические характеристики и методические указания по определе-  
нию технико-эксплуатационных показателей.

Лабораторный практикум предназначен для студентов специальности 1-36 11 01  
«Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование», так-  
же может быть рекомендован для студентов других специальностей.

**УДК 629.3.014.2(076.5)**

**ББК 39.34я7**

ISBN 978-985-525-898-9

© Белорусский национальный  
технический университет, 2012

## **ВВЕДЕНИЕ**

При изучении дисциплины «Тягово-транспортные машины» студентами специальности 1-36 11 01 «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» на первом этапе предусматривается самостоятельное изучение общих сведений о тягово-транспортных машинах и выполнение лабораторных работ, целью которых является изучение конкретных устройств двигателей внутреннего сгорания, колесных и гусеничных тракторов как базовых конструкций для дорожных и строительных машин, а также определение их технико-экономических показателей.

Лабораторный практикум предназначен для оказания помощи студентам при подготовке и выполнении лабораторных работ. При выполнении работ студенты изучают устройство и работу предусмотренных заданием машин, используя их натурные образцы и модели и лабораторный практикум.

При определении технико-эксплуатационных показателей следует учитывать конструктивные параметры устройства и конкретные производственные условия, в которых они работают. Расчеты рекомендуется выполнять с использованием ЭВМ.

## **ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ**

Выполнению лабораторной работы должна предшествовать самостоятельная подготовка студентов к ней, при которой каждый студент по данному практикуму знакомится с заданием на конкретную работу, методикой ее выполнения и описанием устройства машины и ее работы по ее схеме.

Перед началом лабораторных занятий со студентами проводится инструктаж по технике безопасности. На лабораторном занятии студенты непосредственно на натурном образце или модели изучают устройство машины, особенности конструкции отдельных механизмов, их взаимное расположение и выполняемые функции.

Каждый студент составляет отчет о выполненной лабораторной работе. Оформление отчета должно соответствовать стандарту БНТУ на оформление лабораторных работ.

Работа считается выполненной и зачтенной после представления отчета о ней и собеседования, при котором преподаватель оценивает полноту выполнения задания и уровень знаний студента по работе.

## ВВЕДЕНИЕ В ДИСЦИПЛИНУ

Общее название дисциплины «Тягово-транспортные машины» по содержанию объединяет собой разделы по изучению двигателей внутреннего сгорания, автомобилей, тракторов и тягачей, которые находят применение в различных отраслях народного хозяйства, включая строительство.

«Полиция не должна допустить, чтобы бензиновая тележка подвела весь мир опасности» – так общественность Германии встретила появление первого автомобиля с двигателем внутреннего сгорания в 1885 г. Поэтому первой автомобильной державой стала Франция, которая и дала новому транспортному средству первоначальное название «вуатюр отомобиль» – в переводе самодвижущийся экипаж. Позже это название трансформировалось в краткое – «отомобиль» – самодвижущийся, современное – «автомобиль». Но еще за полтора столетия до этого события был создан первый работоспособный паровой двигатель внешнего сгорания с топкой на каменном угле для колесных экипажей – паромобиль. Создание первого опытного образца четырехтактного двигателя внутреннего сгорания относится к 1865 г. Автором эпохального изобретения явился Николаус Август Отто (1832–1891). К 1885 г. были изобретены и опробованы все основные компоненты, из которых состоит конструкция автомобиля. За весь предшествующий период было зарегистрировано более 400 различных самодвижущихся колесных экипажей, однако мировое признание как изобретатели автомобиля получили одновременно независимо друг от друга Карл Фридрих Бенц (трехколесный экипаж) и Готтлиб Даймлер (четырёхколесный экипаж). В отличие от других они не только получили патенты на свои машины, но наладили производство, рекламу и сбыт нового вида продукции – экипажа с двигателем внутреннего сгорания, работающем на жидком топливе из нефти – бензине. Экипаж имел трансмиссию, ходовую часть – шасси, кузов, рулевое управление, подвеску, тормоза и прочие устройства, присущие современному автомобилю. Первый моторный экипаж имел название «Бенцина», которое по созвучию предположительно дало название жидкому топливу «бензин» взамен «газолина» или «газойль».

Для подготовки горючей смеси из бензина и воздуха в 1893–1894 гг. Вильгельм Майбах (Германия) и Г. Потворский (Российская империя) независимо друг от друга создали пульверизаторный карбюратор с поплавковой и смесительной камерами. Его принципиальная схема используется и в настоящее время. В следующем году Роберт Бош (Германия) предложил электромагнитное зажигание «на отрыв» – магнето для воспламенения горючей смеси в цилиндре в нужный момент времени.

В 1892 г. запатентован, а 1897 г. построен двигатель внутреннего сгорания с воспламенением от сжатия, работающий на тяжелых фракциях переработки нефти взамен бензина. Он получил название «дизельный двигатель», или сокращенно «дизель», по имени его изобретателя Рудольфа Дизеля (1858–1913). В Российской империи первый отечественный двигатель собственной конструкции О. С. Костовича и Е. А. Яковлева создан в 1896 г. К этому же году относят и появление первых в мире грузовых автомобилей и массовое производство и применение пневматических шин (фирма Мишле). К началу XX в. парк автомобилей насчитывал: во Франции – 9, в США – 5, в Германии – 2 тысячи штук. В Российской империи завод «Руссо-Балт» в г. Рига производил легковые, грузовые автомобили, автобусы, артиллерийские тягачи и даже пожарные шасси. К 1909 г. было выпущено около 800 машин.

**Классическим представителем** тягово-транспортных машин является трактор. Его название происходит от латинского слова «traho» – тащу. Первые тяговые машины с паровым двигателем для пахоты появились в середине XIX в. (Великобритания), а первый трактор с двигателем внутреннего сгорания, работающем на продуктах переработки нефти, создан инженерами Хартом и Парром только в 1896 г. (США). Их широкое практическое применение относится к началу XX в. В силу своих изначальных тяговых функций для механизации пахоты как наиболее энергоемкого процесса в сельском хозяйстве на заре тракторостроения в Российской империи трактор в народе получил образное название «железный конь». Созданные в 1922 г. модели «Русский трактор», «Гном», «Карлик», «Коломенец-1» конструкции Я. В. Мамина и Е. Д. Львова, а с 1924 г. аналог американской модели «Фордзон-Путиловец», имели небольшую мощность порядка 15 кВт и скорость до 10 км/ч, что позволяло им работать с прицепным плугом по принципу конной тяги.

В зависимости от числа отвальных плужных корпусов и скорости движения выбирались тяговое усилие и мощность трактора. Так, сначала опытным путем, а затем теоретически в научных трудах академика Василия Прохоровича Горячкина (1868–1935) – основоположника земледельческой механики в Российской империи – было обосновано разделение тракторов на тяговые классы. В наши дни учреждена «Золотая медаль» его имени, которой награждают ученых за выдающиеся заслуги в этой области знаний.

Вглядимся в рисунок первого серийного трактора – памятника истории техники (рисунок 1). Металлические задние колеса со спицами и «шпорами», передние колеса с продольными «направляющими» ребрами, металлическое штампованное из листового железа сиденье для тракториста и рулевое колесо с простым механическим приводом на управляемые колеса. Кабины для тракториста нет. Но отметим то общее и принципиальное, что роднит его с конструкцией современных тракторов. Это основные функциональные устройства – двигатель внутреннего сгорания, муфта сцепления, коробка передач, задний мост с дифференциалом, колеса, механизмы управления и контрольно-измерительные приборы по минимуму. А главное – принцип передвижения за счет фрикционной передачи – трением ведущего колеса об опорную поверхность. Но тяговый коэффициент полезного действия такого трактора составлял лишь 45 %.

Что же изменилось в устройстве колесного трактора примерно через 30 лет (рисунок 2)?

Сразу отметим пневматические резиновые колеса с почвозащепами, задний и боковой валы отбора мощности для привода рабочих машин и устройство для их навешивания на трактор с гидравлическим приводом подъема. Благодаря этому трактор может работать как с прицепными машинами на колесах, так и с навесными без колес. Появилась кабина без особых удобств, но способная защитить тракториста от дождя, ветра и мороза. Мощность двигателя – 26,5 кВт, скорость до 13 км/ч – в два раза быстрее пешехода. Отметим, что замена металлических колес на пневматические шины повысила тяговый КПД трактора с 45 до 66 %, т. е. более чем на одну треть. Это существенный прогресс.

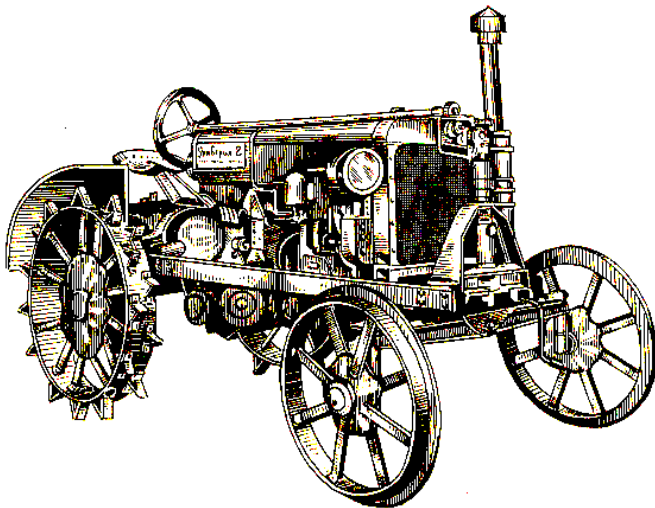


Рисунок 1 – Трактор «Универсал»

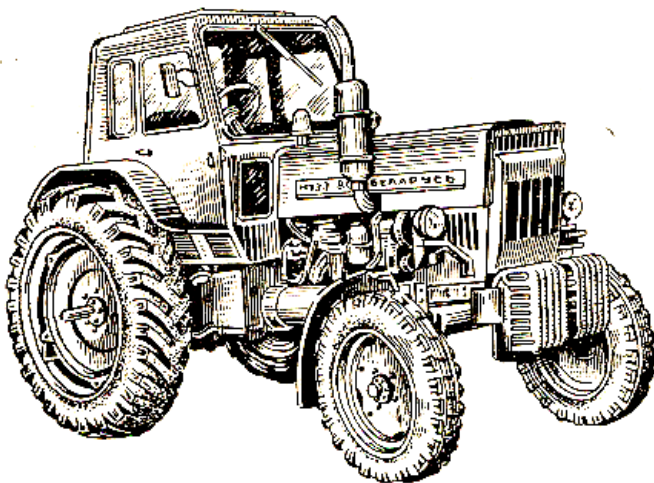


Рисунок 2 – Трактор «Беларусь»



Определенный порядок расположения на тракторах **основных функциональных узлов и агрегатов** отражают компоновочные схемы. Среди них наиболее распространены моноблочная (классическая) и раздельно-агрегатные схемы (рисунок 3). Первая из них отличается передним расположением двигателя и кабиной над осью задних ведущих колес, передними и задними колесами разного размера. Корпусные детали блока двигателя, муфты сцепления, коробки передач и заднего моста соединены жестко в одном блоке (рисунок 3, а). По такой схеме созданы пропашные колесные и гусеничные тракторы Т-25 А, МТЗ-80, МТЗ-82, Т-70 и другие.

Гусеничные тракторы имеют раму, на которой в передней части установлен двигатель, а в задней – корпуса коробки передач и заднего моста, над которыми расположена кабина. Передний и задний блоки силовой передачи связаны промежуточным карданным валом (рисунок 3, б). По такой схеме выполнены тракторы Т-74, ДТ-75, ДТ-175С.

Раздельно-агрегатная схема предполагает переднее расположение двигателя, за ним кабину ближе к середине колесной базы, колеса одного размера и грузоподъемности. Корпуса муфты сцепления и коробки жестко соединены между собой и блоком двигателя, а раздельные передний и задний мосты имеют привод через шарнирные муфты (карданные передачи). Поворот трактора обеспечивает шарнирно-сочлененная рама (рисунок 3, в). Такая схема характерна для колесных тракторов общего назначения Т-150К и К-701.

**Классификация тракторов** по их назначению включает сельскохозяйственные, промышленные, лесопромышленные и лесохозяйственные, а также их модификации с учетом специфики выполняемых работ. Диапазон тяговых усилий сельскохозяйственных тракторов составляет 9 классов от 2 до 80 кН, промышленных – 14 классов от 14 до 1000 кН.

В международной практике колесные тракторы классифицируют по максимальной тяговой мощности в кВт с разделением на четыре категории: 35; 35–75; 75–135; 135–300. Перспективная классификация отражает современный переход от исключительно «тяговой» к «тягово-энергетической» концепции трактора. Современный трактор – это сложная многофункциональная машина, заключающая в себе и отражающая все мировые достижения машиностроения и других отраслей промышленности.

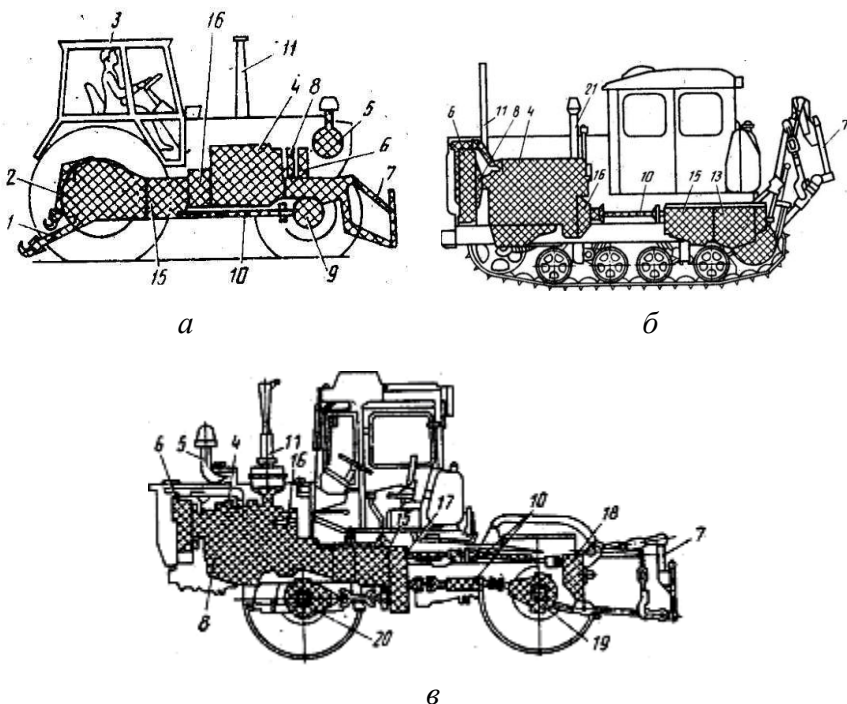


Рисунок 3 – Основные компоновочные схемы тракторов (окончание):  
*a* – моноблочная; *б* и *в* – раздельно-агрегатные: 1 и 7 – навесная система;  
 2 – трансмиссия; 3 – кабина; 4 – двигатель; 5 – воздухоочиститель; 6 – радиатор;  
 8 – вентилятор; 9 – редуктор переднего ведущего моста универсально-пропашного трактора; 10 – карданный вал; 11 – выхлопная труба; 12 – топливный бак;  
 13 – задний мост; 14 – бортовые редукторы; 15 – коробка перемены передач;  
 16 – сцепление; 17 – раздаточная коробка; 18 – редуктор вала отбора мощности;  
 19 и 20 – редукторы ведущих мостов колесных тракторов общего назначения;  
 21 – воздухозаборник; 22 – редуктор заднего ведущего моста гусеничного трактора общего назначения

После тягового усилия вторым важным параметром трактора является мощность его двигателя, кВт. По физическому смыслу это означает работу в единицу времени, что эквивалентно произведению тяговой силы на поступательную скорость при линейном перемещении трактора,  $\text{Н} \cdot \text{м/с}$ , (или крутящему моменту на ведущих колесах на угловую скорость при вращательном движении,  $\text{Н} \cdot \text{м/с}$ ). Для каждого трактора мощность есть величина постоянная, которая

соответствует технической характеристике его двигателя. Поэтому полностью реализовать мощность можно двумя путями: в большое тяговое усилие при малой скорости движения, как, например, при работе с бульдозерным отвалом или плугом, либо в высокую скорость при малом тяговом усилии на транспортных работах с прицепом. Однако при этом надо учесть первое условие о том, что тяговое усилие не беспредельно, а ограничено сцепными качествами и массой трактора. Тогда на практике возможны два случая: в хороших дорожных условиях при высокой скорости и не соответствующем ей тяговом усилии двигатель может «заглохнуть» вследствие перегрузки, а в плохих, например на скользкой дороге, колеса трактора будут буксовать на месте.

За прошедшие 100 лет техническая эволюция превратила «железного коня» в мобильный энергетический универсальный модуль. Он способен работать с прицепными и навесными машинами и орудиями различного назначения – сельскохозяйственными, дорожно-строительными, мелиоративными, буровыми, землеройными, коммунальными, транспортными, где необходимо высокое тяговое усилие в сочетании с отбором мощности на привод активных рабочих органов. Рабочие машины могут размещаться непосредственно на тракторе на специальных навесных устройствах спереди, сбоку или сзади (рисунок 4). Трактор применяется также для привода стационарных машин от вала отбора мощности с независимым приводом (работа на месте).

В любом случае применение одиночного трактора без рабочей машины не имеет функционального и экономического смысла, за исключением использования в качестве транспортного средства при чрезвычайных ситуациях в условиях бездорожья.

Вместе с рабочей машиной энергетический модуль образует машинно-тракторный агрегат, а с транспортным полуприцепом и прицепом для перевозки грузов – тракторный поезд. Поэтому системы агрегатирования с навесными машинами представляют собой достаточно сложные рычажно-пространственные устройства с электрогидравлическим регулированием усилий и глубины обработки почвы. Их дополняют тягово-сцепные устройства с вилкой и буксирным крюком с автоматом сцепки для работы со всеми видами прицепных машин, а также пневматическая система управления тормозами тракторных прицепов.

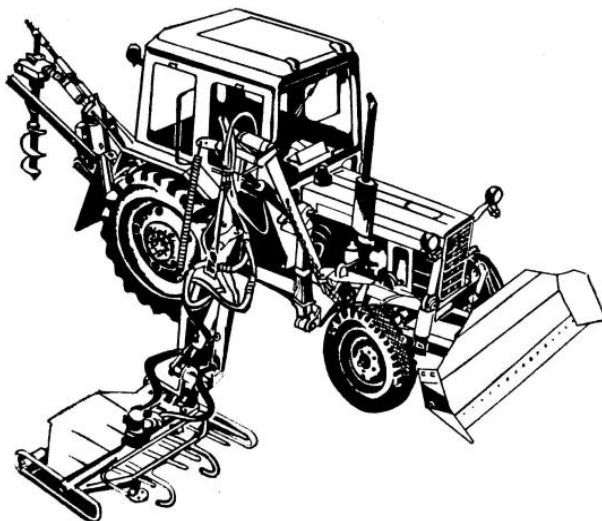


Рисунок 4 – Универсальная машина-комплекс НО-9А на базе колесного трактора для ремонта и содержания автомобильных дорог

Универсально-пропашные тракторы предназначены для работы при возделывании сельскохозяйственных культур рядкового посева или посадки с периодической обработкой междурядий, например, сахарной свеклы, картофеля, кукурузы, хлопка и других. Для каждой культуры существует определенная ширина междурядий от 45 до 90 см и защитная зона их прикорневой системы. Кроме того, высокостебельные культуры, такие как кукуруза и хлопчатник, по мере вегетации требуют значительной высоты дорожного просвета. Значительные площади занимают пахотные земли на склонах до 10 градусов, что предъявляет повышенные требования к устойчивости движения. В этих условиях трактор должен обладать широкой колеей и пониженным центром тяжести за счет малого диаметра колес или же специальных бортовых редукторов. Поэтому универсально-пропашные тракторы имеют ходовую систему с изменяемой геометрией за счет подбора ширины профиля и наружного диаметра пневматических шин, регулирования колеи колес, дорожного просвета, продольной базы, шарниров крепления навесных рабочих машин, стабилизации остова или колес в вертикальном положении.

Примером универсального варианта ходовой системы изменяемой геометрии является горно-равнинная модификация трактора «Беларус» МТЗ-82 и прицепы к нему (рисунки 5–7). Задние его колеса установлены на универсальных бортовых редукторах (рисунок 8), части которых «складываются» под воздействием усилий гидравлических цилиндров, управляемых датчиком крена, например маятникового типа. Это обеспечивает вертикальное положение остова трактора, а также дает возможность регулирования его продольной базы. Такой трактор незаменим при работе на склонах, откосах дорог и полезен в условиях средней полосы, где строго горизонтальных поверхностей полей нет. Например, на пахоте одно колесо трактора катится по дну ранее проложенной борозды, что приводит к заведомому боковому наклону его остова вместе с трактористом.



Рисунок 5 – Трактор «Беларус» с изменяемой геометрией ходовой системы (испытания на полигоне МТЗ, д. Абчак, Минский р-н)



Рисунок 6 – Механизм коррекции положения навешиваемых на трактор с изменяемой геометрией ходовой системы машин и орудий



Рисунок 7 – Полуприцеп с изменяемой геометрией ходовой системы (испытания на Киргизской МИС, г. Кант)

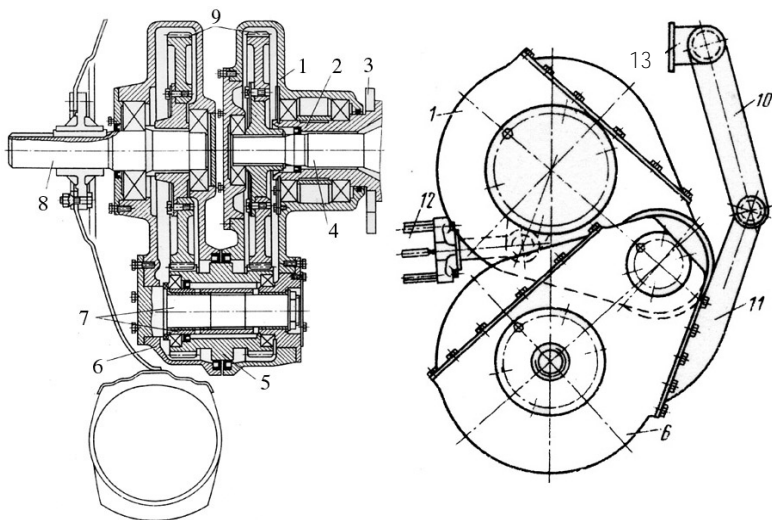


Рисунок 8 – Сдвоенный раскладывающийся редуктор горно-равнинной модификации универсально-пропашного трактора «Беларус» с изменяемой геометрией ходовой системы

Какое колесо выбрать для трактора? Ответ на этот вопрос дает многовековой опыт, связанный с минимальными затратами на передвижение конных или ручных повозок. Это были колеса большого диаметра и узкого профиля. Современным примером может служить велосипедное колесо.

Секрет кроется в том, что колесо действует по принципу рычага с бесконечно перемещающейся точкой опоры. Радиус колеса определяет плечо рычага, и чем оно больше, тем меньше усилие на передвижение. В теории это находит отражение в той закономерности, что сопротивление передвижению прямо пропорционально нагрузке на колесо и обратно пропорционально размерам колеса и прочности грунта, причем ширина колеса представлена первой степенью, а его диаметр – второй, т. е. более значимой.

В полевых условиях под воздействием силы веса колесо (аналогично – опорный каток гусеницы) деформирует почву, что приводит к образованию колеи и дополнительному сопротивлению движению. Для пневматических колес считается оптимальным равенство затрат энергии на деформацию шин и почвы. Для ведущего колеса важным фактором являются его сцепные качества с опорной поверхностью (аналог – коэффициент трения), которые зависят от площади контакта, давления, материала шины, формы ее беговой дорожки. Тогда при равной площади отпечатка потребуется колесо большего диаметра, который в свою очередь ограничен конструктивными габаритами машины. Пневматические шины обладают к тому же допустимой нагрузкой, поэтому общей массе трактора и ее распределению по осям должно соответствовать определенное число колес.

Вторая жизнь колеса началась с того момента, когда Джон Бойд Данлоп (ирландский ветеринарный врач-хирург) изобрел пневматическое колесо. Его конструкция прошла длинный эволюционный путь развития, но маленькое устройство – золотник для накачки шин – и сегодня остается его неизменным атрибутом. Оно позволяет регулировать давление в шине в зависимости от физико-механических характеристик опорной поверхности и нагрузки на колесо.

Обязательным устройством для любой колесной машины независимо от назначения, мощности, массы и конструкции является дифференциал. Впервые его применил инженер Пекье в 1828 г. в заднем мосту паромобиля. Задача дифференциала – разделить крутящий момент двигателя поровну на колеса левой и правой стороны (борты) при их вращении с разными угловыми скоростями, что особенно проявляется на криволинейных траекториях движения. Это свойство можно отразить формулами:  $M_{\text{лев}} = M_{\text{прав}}$ ;  $\omega_{\text{лев}} \neq \omega_{\text{прав}}$ . Образно говоря, дифференциал – это «весы», на которых взвешив-

ваются не силы, а крутящие моменты. И казалось бы – чем точнее, тем лучше. Но вот беда – крутящие моменты выравниваются по тому колесу, которое находится в худших сцепных условиях. Вам случалось видеть автомобиль на обочине зимней дороги? Колесо одного его борта стоит на сухом асфальте, а второго – на льду. А если еще на подъеме? Тогда одно его колесо буксует на льду, а второе стоит неподвижно на асфальте. Суммарный момент составляют два минимальных момента  $M_c = 2M_{\text{мин}}$ . Это как раз тот случай, когда дифференциал стал не только ненужным, но вредным. Здесь нужна сплошная ось на два колеса, чтобы суммировать оба момента – большой и маленький – а следовательно, и усилия в контакте колеса с дорогой. Вот тогда колесо на асфальте примет на себя основную движущую силу. Значит нужно такое устройство, которое заблокирует наши «весы» – дифференциал. Самое простое из них – подвижная кулачковая муфта, управляемая ногой водителя. Но долго держать ее включенной ему неудобно, поэтому придумали самые хитроумные конструкции блокировки дифференциалов, которые управляются автоматически. Сигналом может служить поворот управляемых колес, разность величины буксования передних и задних колес, разность крутящих моментов на колесах разных бортов. А если условия движения стабильны, то можно блокировку включить постоянно или же, наоборот, принудительно выключить. Поэтому все колесные тракторы снабжены устройствами блокирования дифференциала.

Здесь возможен также и другой вариант – применение так называемых дифференциалов повышенного внутреннего трения. Это так называемые самоблокирующиеся дифференциалы – в нужный момент они включаются и работают как «грубые весы».

Патент на гусеничную замкнутую ленту из ряда железных пластин, соединенных между собой коваными пальцами, Ричард Эджворт, изобретатель из Великобритании, получил еще в 1770 г. Предполагалось, что каждая пара колес по обе стороны экипажа будет катиться по замкнутой ленте, как по хорошо укатанной дороге. Но возникла проблема поворота, не было подходящего парового двигателя. Идея оказалась преждевременной, и о ней все забыли. И только через 120 лет в 1879 г. парходный механик Федор Блинов получил патент на «вагон с бесконечными рельсами для перевозки грузов по шоссейным и проселочным дорогам», а спустя



10 лет построил первый действующий гусеничный трактор с паровой машиной мощностью 20 лошадиных сил (рисунок 9). Его публичная демонстрация состоялась дважды – в 1889 г. в Саратове и в 1897 г. в Нижнем Новгороде на ярмарке. Он имел две гусеничные ленты, одетые на четыре опорных колеса по каждому борту. Задние колеса были ведущими звездочками с приводом от двух паровых машин и общего котла. Трактор поворачивался за счет разной частоты вращения звездочек каждого борта. Такой принцип поворота, получивший название «бортовой», сохраняется и поныне. Экипаж трактора включал водителя и кочегара, обслуживающего паровой котел. Это был прототип, освоенный промышленностью в виде гусеничного трактора с двигателем внутреннего сгорания лишь в 1912 г. фирмой «Холт-Парр» (США).

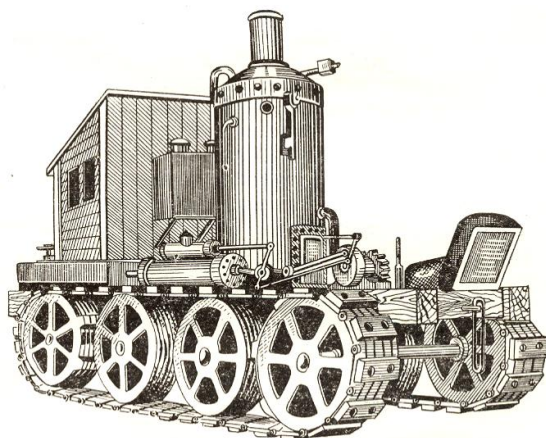


Рисунок 9 – Первый гусеничный трактор Блинова

Перематывание гусениц трактора, этих «бесконечных рельсов», сопровождается дополнительными потерями энергии на трение в шарнирах, подъем звеньев на определенную высоту, деформацию грунта при их укладке на опорную поверхность. На современных тракторах применяются различные конструкции шарнирных соединений гусеничных звеньев – от самых простых в виде проушин и пальцев открытого типа до закрытых с применением подшипников

и обрезиненных втулок пальцев (рисунок 10, 11). На тяжелых тракторах находит применение бесшарнирная резиноканатная гусеница, где усилие в обводе воспринимает стальной канат, армированный в замкнутую резиновую ленту с грунтозацепами (рисунок 12).



Рисунок 10 – Современный гусеничный трактор «Беларус-1802» мощностью 180 л. с.



Рисунок 11 – Гусеничный трактор «Беларус» на пахоте



Рисунок 12 – Трактор с резиновой гусеницей

**Тяговое усилие** трактора зависит от его массы и состояния опорной поверхности, в контакте с которой находится ходовое устройство. Физический смысл передвижения трактора заключается в передаче энергии трением, поэтому его характеризуют два коэффициента – качения и скольжения. Разность между ними, умноженная на массу трактора, и определяет его тяговое усилие. На основании известного из физики закона Кулона для ведущего колеса

$$P_{кр} = G(\varphi - f),$$

где  $G$  – вес трактора (или нормальная нагрузка на колесо);

$\varphi$  – коэффициент сцепления (трение скольжения);

$f$  – коэффициент сопротивления движению (трение качения).

Для ведомого колеса сопротивление качению

$$P_f = Gf,$$

трение скольжения отсутствует.

В конструкции универсально-пропашных тракторов заложена так называемая классическая компоновка – с колесами разного размера: передних управляемых – малого, а задних ведущих – большого. При этом на задние колеса приходится примерно  $\frac{2}{3}$  веса трак-

тора, а на передние – остальная  $\frac{1}{3}$ . Меньше нельзя из-за опасности потери продольной устойчивости и управляемости. Такая колесная схема обозначена формулой  $4 \times 2$  – всего четыре колеса, из них два – ведущих. Следовательно,  $\frac{1}{3}$  веса трактора не используется для создания тягового усилия. А вот схема  $4 \times 4$  со всеми ведущими колесами уже лишена такого недостатка. Но проблема в том, что колеса малого размера не могут развить значительное тяговое усилие и передний ведущий мост играет роль вспомогательной, резервирующей системы. Естественное стремление увеличить эффективность переднего моста в общей доле тягового усилия трактора привело к увеличению размеров управляемых колес и установке передних балластных грузов. По мере увеличения массы и тягового класса тракторов размеры передних и задних колес стали практически соизмеримы.

Отсюда возникает постоянное противоречие: с одной стороны – для повышения тягового усилия необходимо увеличивать вес трактора (отсюда известный прием – дополнительный балластный груз); с другой – увеличение веса приводит к росту потерь мощности на передвижение. В каждом случае сочетание между весом и указанными коэффициентами, характеризующими состояние опорной поверхности, должно быть оптимальным. А вот как реализовать потенциальные возможности трактора – через колесо или гусеницу, – это другой вопрос. В любом случае трактор может развить движущее усилие в пределах собственного веса, в то время как, например, в природе муравей – в несколько раз больше за счет лучших сцепных качеств своей «ходовой системы».

**Стремление к максимальному тяговому эффекту** и проходимости машин в самых разнообразных природно-климатических условиях привело к созданию двух основных типов ходового устройства – колесного и гусеничного. Первый из них применяется преимущественно на тракторах универсального назначения, а второй – на промышленных тракторах для работы с тяжелыми дорожными и строительными машинами.

В конце XIX в. появился гибридный проект колесно-гусеничного движителя, названный затем полугусеничным ходом. В 1913 г. прошли испытания автомобиля «Руссо-Балт» с полугусеничным движителем конструкции Адольфа Кегресса, на основе которого в 1920 г. была со-

здана комбинированная резино-металлическая гусеница, которая натягивалась на пару задних ведущих колес трехосных автомобилей для увеличения проходимости. Такая конструкция в 60-е годы XX столетия нашла широкое применение на колесных тракторах «Беларус» Минского тракторного завода, используемых при работе на переувлажненных землях в период весенних полевых работ и в зимнее время на снежном покрове. Полугусеница устанавливалась на заднее ведущее и промежуточное пневматическое колесо, которое было снабжено натяжным устройством и механизмом его подъема при передвижении по дорогам. Сезонное использование полугусениц и трудоемкость монтажно-демонтажных работ, интенсивный износ пневматических шин из-за кинематического несоответствия скоростей колеса и гусеницы в двухконтурном обводе, снижение универсальности трактора, а также другие факторы сделали этот проект экономически невыгодным.

**Альтернативой гусеничному ходу** и его гибридной разновидности – полугусеничному – для повышения проходимости и тягово-сцепных качеств колесных тракторов являются двоярные колеса на передней и задней оси с каждой стороны (рисунок 13). Одним из недостатков таких конструкций является неравномерность нагрузок на пневматические колеса на неровной опорной поверхности, которая усугубляется разницей в их диаметре и внутренним давлением. В связи с этим изобретены рычажно-балансирные устройства крепления дисков колес к ступицам ведущих колес (рисунок 14).



Рисунок 13 – Современный трактор «Беларус» со двоярными колесами на выставке

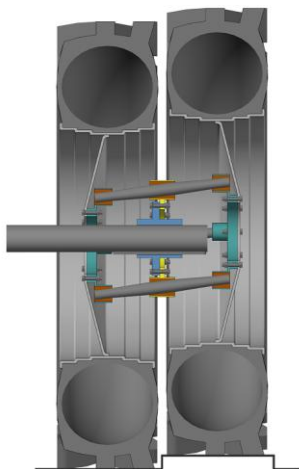


Рисунок 14 – Копирование рельефа опорной поверхности, обеспечиваемое системой сдвигания колес на основе равноплечих коромысел

Для работы колесных сельскохозяйственных тракторов в полевых условиях характерными почвенными фонами является стерня (пахота после уборки зерновых культур) или рыхлая почва, подготовленная под посев. Поэтому важным ограничительным фактором выступает допустимое удельное давление на почву и ее уплотнение при многократном проходе колес по одному следу. По сути взаимодействия трактор и следующая за ним прицепная колесная машина, например для внесения удобрений, представляет собой дорожный каток для уплотнения грунтов с таким же многократным периодическим приложением и снятием нагрузки различной величины. Гусеничные тракторы не являются исключением, поскольку ходовая система состоит из ряда последовательно расположенных опорных катков не менее шести штук по каждому борту. К тому же в период весенних полевых работ влажность почвенного слоя по агрономическим показателям для лучших всходов и развития растений совпадает с той оптимальной величиной, при которой достигается максимальная плотность почвы при укатывании.

Как же выйти из этого противоречия? Приходится применять уширенные гусеницы или сдвоенные широкопрофильные шины низкого давления, а для выравнивания нагрузок на колесах одной оси – специальные ступицы колес с рычажно-балансирными устройствами.

Поэтому выбор размеров ходового аппарата трактора представляет собой важную оптимизационную задачу в поисках компромисса между многими противоречивыми требованиями. Правильность решения в каждом случае должна быть подтверждена практикой.

Так идет постоянное своеобразное соперничество между колесными и гусеничными тракторами, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки: у первых это скорость и универсальность, но относительно высокая цена крупногабаритных пневматических шин, а у вторых – высокая проходимость и тяговое усилие, но высокая удельная металлоемкость гусеничного хода. Поэтому, несмотря на множество вариантов исполнения этих принципиальных схем, защищенных патентами и авторскими свидетельствами, победителя в этой борьбе нет – они и впредь будут дополнять друг друга. Промышленные тракторы высоких тяговых классов используются преимущественно в гусеничном варианте, универсально-пропашные – в колесном, и общего назначения – в примерно равном количественном соотношении в выпуске.

#### **Что общего и в чем различие между трактором и автомобилем?**

С появлением парового двигателя (внешнего сгорания), а затем и двигателя внутреннего сгорания повозка превратилась в автономное транспортное средство: пассажирское для людей и грузовое для различных грузов. Эта функция предопределила принципиальное устройство трансмиссии автомобиля – одна рабочая (так называемая «прямая») передача и 4–5 пониженных для разгона, маневрирования и движения задним ходом. Соответственно числу передач и относительно невысоким нагрузкам автомобильные коробки передач имеют меньшие габариты и массу. В их конструкцию заложена «трехвальная» схема из первичного, промежуточного (дополнительного для вспомогательных передач) и вторичного валов.

Колесный трактор – это младший брат автомобиля. Но в отличие от него каждая передача трактора – от самой малой до максимальной скорости движения – является рабочей, а их число достигает 40 применительно ко всем разнообразным условиям движения и полному набору (его еще называют «шлейфом») рабочих машин и орудий.

Тракторная коробка перемены передач, в отличие от автомобильной, имеет «двухвальную» схему – из первичного и вторичного вала. Большое число передач при высоком значении крутящих моментов обусловило более сложную их конструкцию и массу.

Здесь для правильного выбора режима движения на помощь человеку приходят различные автоматические устройства. Среди них отметим коробку передач с переключением скоростей на ходу без разрыва потока мощности, которая особенно эффективна при работе трактора на подъемах и спусках пересеченного рельефа местности при выполнении полевых работ. Без такой коробки передач всякий раз при выключении фрикционной муфты сцепления трактор на пахоте неизбежно остановится сопротивлением плуга, после чего потребуются дополнительные затраты энергии на последующие трогание с места и разгон.

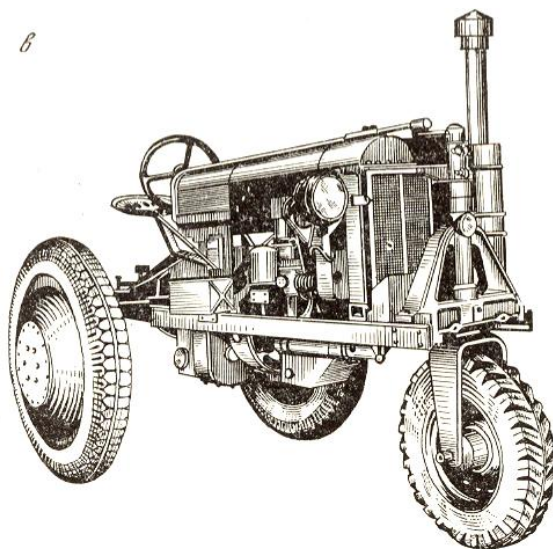
На тяжелых тягачах также находят применение гидродинамические передачи – гидротрансформаторы – автоматические преобразователи крутящего момента, изобретение которых относится к 1907 г. (конструкция Г. Феттингера, Германия).

**Современный уровень** тракторостроения наиболее наглядно отражает комфортабельная кабина, где расположен пост управления всеми устройствами трактора. Отметим рулевое управление с гидроусилителем и возможностью перестановки для движения обратным ходом (реверс), комплекс контрольно-измерительных приборов для управления работой двигателя, силового привода, передней и задней навесными гидрофицированными системами, двухскоростными валами отбора мощности с независимым и синхронным приводом. Кабина снабжена всеми необходимыми системами жизнеобеспечения водителя в сложных полевых и климатических условиях в соответствии с требованиями мирового рынка. Она обеспечивает безопасность водителя в случае аварийного опрокидывания трактора, обзорность рабочих машин. Примечательно, что первые простые кабины, защищающие водителя от дождя, снега и ветра появились на советских тракторах, а потом уже на зарубежных. С 1980 г. на всех современных моделях тракторов «Беларус» мощностью от 50 до 120 л. с. устанавливается унифицированная кабина, отвечающая всем мировым стандартам (рисунки 15, 16). Сейчас кабина трактора по комфортности не уступает автомобильной – в их конструкции находят применение панорамные стекла, кондиционеры, регулируемые сиденье и рулевая колонка, очистители и омыватели стекол. Уровень шума на рабочем месте на лучших моделях трактора удалось снизить до 75–80 децибел.





Рисунки 15 – Трактор «Беларус» МТЗ-80Х хлопковой модификации с унифицированной кабиной на выставке



Рисунки 16 – Первые советские универсально-пропашные тракторы «Универсал» (без кабины)

**Интенсивное строительство** автомобильных и тракторных заводов в Советском Союзе началось в 30-е годы XX столетия в Москве, Ярославле, Сталинграде, Челябинске, Харькове, Ленинграде, а в послевоенные годы – в Рубцовске (Алтай), в Липецке, Владимире, Минске, Жодино, Могилеве, Петрозаводске. В 1950 г. МАЗ выпустил первый карьерный самосвал грузоподъемностью 25 тонн и мощностью 300 л. с. К 1960 г. производство тракторов в СССР стало больше, чем в США или в трех вместе взятых промышленно развитых странах – Великобритании, Франции и Германии. С распадом в 1991 г. Советского Союза и образованием взамен его СНГ уверенные позиции на мировом рынке сохранил только Минский тракторный завод, который входит в десятку крупнейших производителей тракторов наряду с такими признанными фирмами, как Катерпиллер, Джон Дир, Кейс, Дойц, Комацу, Фиат, Фендт, Нью-Холанд. Сохраняют свои промышленные потенциалы автомобильные заводы МАЗ, МЗКТ, БелАЗ и МоАЗ, производящие тяжелые автомобили и тягачи.

**Первый серийный универсально-пропашной колесный трактор** «Беларус» МТЗ-2 был выпущен в 1953 г. В последующие годы были разработаны конструкции и поставлено на производство более 10 различных моделей тракторов. С 1959 г. колесные тракторы стали основной продукцией завода.

В настоящее время Минский тракторный завод выпускает колесные тракторы, начиная от одноосного мотоблока мощностью 6,6 кВт и массой 145 кг до трактора «Беларус 3022 ДВ» мощностью 220 кВт и эксплуатационной массой 11 700 кг. Всего производится 14 базовых моделей различного тягового класса. Созданы также гусеничный трактор мощностью 160 кВт и массой 10 500 кг с обычной металлической и резинокордовой гусеницами; шасси универсальное «Беларус Ш-406» мощностью 88 кВт, грузоподъемностью кузова 3500 кг и скоростью движения 50 км/ч (гибридная схема трактора и автомобиля) для работы с дорожными, коммунальными, лесными и сельскохозяйственными машинами; специальные лесные машины шарнирно-сочлененного типа на базе тракторов мощностью 88 и 114 кВт для погрузочно-транспортных, валочно-сучкорезных и раскряжевых работ.

**Большой вклад** в теорию, создание и развитие конструкций семейства автомобилей МАЗ внесли главные конструкторы Б. Л. Шапошник, М. С. Высоцкий, известные ученые Г. М. Кокин, А. И. Гришкевич, О. С. Руктешель; двигателей внутреннего сгорания – Б. Е. Железко, Г. М. Кухаренок; тракторов «Беларус» – главные конструкторы МТЗ И. И. Дронг, П. И. Бойков, И. П. Ксеневич, П. А. Амельченко, М. Г. Мелешко, В. А. Коробкин, И. Н. Усс, а также ученые кафедры «Тракторы» и отраслевой лаборатории универсально-пропашных колесных тракторов «ОНИЛКТ» Белорусского политехнического института (ныне Белорусский государственный технический университет) во главе с заведующим кафедрой, профессором, доктором технических наук В. В. Гуськовым Среди них – А. Х. Лефаров, Ю. А. Атаманов, В. В. Яцкевич, В. П. Бойков, Н. В. Богдан, Г. П. Грибко, П. В. Зелёный, Ч. И. Жданович и другие.

## Лабораторная работа № 1

### ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА ТРАНСПОРТНО-ТЯГОВЫХ МАШИН И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯГОВЫХ УСИЛИЙ ГУСЕНИЧНЫХ ТРАКТОРОВ

**Оборудование и наглядные пособия:** натурные образцы основных узлов и механизмов транспортно-тяговых машин; плакаты с изображением основных частей транспортно-тяговых машин.

#### Задание:

1. Изучить общее устройство транспортно-тяговых машин строительного комплекса.
2. Изучить назначение, устройство и работу транспортно-тяговых машин.
3. Изучить назначение, устройство и работу основных частей транспортно-тяговых машин.
4. Вычертить схему машины, дифференциала, ходовой части, описать их устройство и работу.
5. Определить силу тяги на крюке трактора в соответствии с вариантом задания (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Исходные данные

| Показатели                   | Вариант            |            |                     |               |              |
|------------------------------|--------------------|------------|---------------------|---------------|--------------|
|                              | 1                  | 2          | 3                   | 4             | 5            |
| Тип трактора                 | Т-130              | ДТ-75В     | Т-130               | ДТ-75В        | Т-130        |
| Характеристика пути движения | Очень рыхлый грунт |            | Неуплотненный грунт | Плотный грунт |              |
| Номера передачи при движении | 1, 2, 3            | 1, 2, 3    | 4, 5, 6             | 4, 5, 6       | 2, 3, 4      |
| Уклон пути $i$ , град        | Подъем<br>8        | Спуск<br>5 | Спуск<br>6          | Подъем<br>9   | Подъем<br>11 |

## Автомобили, колесные тягачи и промышленные тракторы в строительстве

При производстве строительных работ используются **грузовые автомобили**, разделяемые на *универсальные* – бортовые, имеющие кузова-платформы с откидными бортами; *автосамосвалы* – автомобили с опрокидными кузовами с задней или боковой разгрузкой; *специализированные автомобили* – цистерны, битумовозы, цементовозы, автобетоносмесители, контейнеро-, панеле- и фермовозы, автомобили для перевозки длинномерных грузов – роспуски. Для перебазирования дорожных и строительных машин используют *автотопоезда*, включающие тягач и прицепную или полуприцепную платформу-трейлер.

Для повышения проходимости машин и соблюдения норм давления на дорожные покрытия автомобили выпускают с различным числом колесных осей (мостов).

Схема расположения основных агрегатов и механизмов на автомобиле показана на рисунке 1.1.

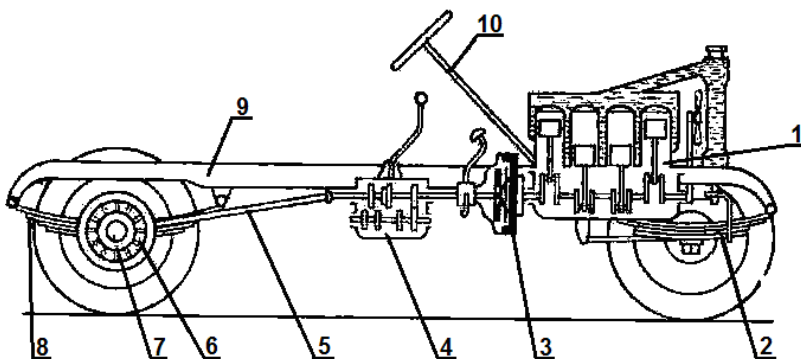


Рисунок 1.1 – Схема расположения основных агрегатов и механизмов на автомобиле:

- 1 – двигатель; 2, 8 – передний и задний мост; 3 – сцепление; 4 – коробка перемены передач; 5 – карданный вал; 6 – главная передача; 7 – дифференциал; 9 – рама; 10 – рулевое управление

В качестве базовых машин для навесного и прицепного оборудования используют специальные *колесные тягачи* и *гусеничные тракторы*.

**Колесные тягачи** по ходовому устройству разделяют на *одноосные* и *двухосные* (рисунок 1.2). Одноосный тягач может передвигаться и выполнять рабочие операции только будучи агрегатированным с различными видами оборудования. Выпускают одноосные тягачи массой 9–27 т, мощностью 145–900 кВт.

Двухосные тягачи в отличие от одноосных могут передвигаться самостоятельно без агрегатирования. **По схеме поворота** они подразделяются на машины с *одной управляемой осью* – передней или задней, с *бортовым поворотом* или с *шарнирно-сочлененной рамой*.

В строительстве широкое применение находят **тракторы общего назначения** и **промышленные**. Тракторы *общего назначения* рассчитаны главным образом на реализацию тягового усилия на крюке на повышенных скоростях (10–12 км/ч), что характерно для сельскохозяйственных работ. Они мало приспособлены для длительной работы в режиме малых скоростей (3–4 км/ч) с максимальным тяговым усилием.

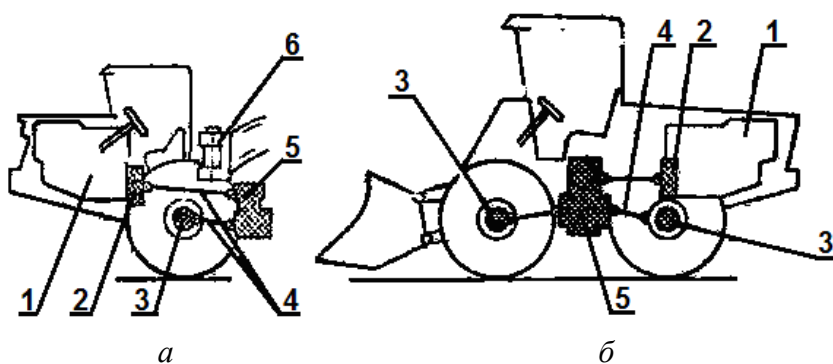


Рисунок 1.2 – Компоновочные схемы колесных тягачей:

*а* – одноосного; *б* – двухосного:

- 1 – двигатель; 2 – сцепление; 3 – ведущие мосты; 4 – карданные валы;
- 5 – коробка передач; 6 – шарнир сцепного устройства с агрегатированным оборудованием

*Промышленные тракторы* предназначены для работы с различными видами навесного оборудования. При высокой проходимости реализуются высокие тяговые усилия во время работы с прицепным оборудованием на тяжелых грунтах. Наиболее распространена компоновочная схема промышленных гусеничных тракторов, представленная на рисунке 1.3.

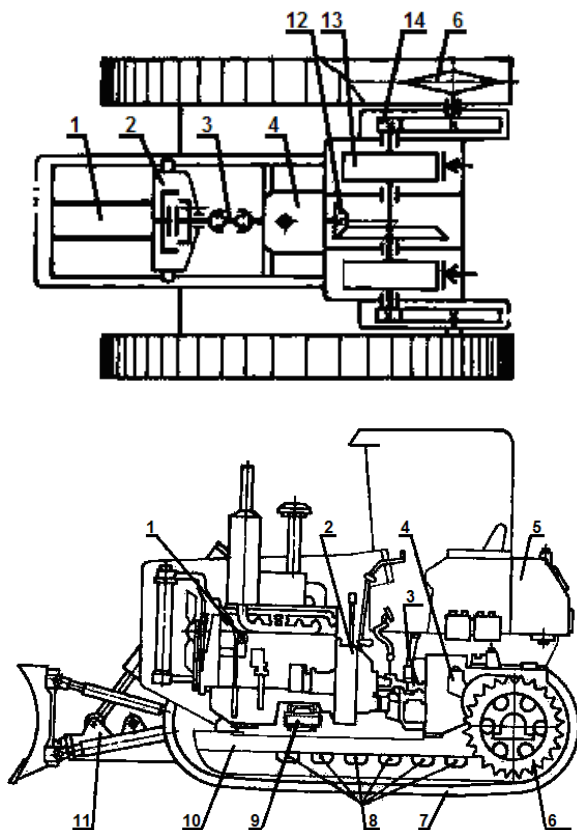


Рисунок 1.3 – Компоновочная схема гусеничного трактора:

- 1 – двигатель; 2 – сцепление; 3 – карданная передача; 4 – коробка передач;
- 5 – топливный бак; 6 – ведущая звездочка; 7 – гусеница; 8 – оси опорных катков;
- 9 – поперечная рессора; 10 – рама гусеничной тележки; 11 – навесное оборудование;
- 12 – главная передача; 13 – бортовые фрикционы с тормозами;
- 14 – бортовые редукторы

## Основные части машин

**Основными частями** грузового автомобиля являются: *двигатель, шасси и кузов.*

*Двигатель 1* (см. рисунок 1.1) предназначен для преобразования тепловой энергии, получаемой при сгорании топлива, в механическую работу.

*Шасси* представляет собой комплекс агрегатов и механизмов, предназначенных для передачи крутящего момента от двигателя к ведущим колесам, передвижения автомобиля и управления им. **Шасси** состоит из *трансмиссии, ходовой части и механизмов управления.*

*Трансмиссия* (силовая передача) предназначена для изменения, распределения и передачи крутящего момента от вала двигателя 1 к ведущим колесам машины. Она состоит из механизма сцепления 3, коробки передач 4, карданной передачи 5, главной передачи 6, дифференциала 7 и полуосей (см. рисунок 1.1).

*Коробка передач* служит для изменения передаточного числа, крутящего момента и направления движения, передаваемого от двигателя на ведущие колеса, что необходимо для выбора оптимальных режимов движения в зависимости от дорожных условий и степени загрузки автомобиля.

*Муфта сцепления* позволяет при переключении передач отсоединить двигатель от трансмиссии и вновь соединить их без останова автомобиля, а также служит для плавного трогания автомобиля с места.

*Раздаточную коробку* устанавливают на автомобилях повышенной проходимости с двумя ведущими мостами и более, она предназначена для распределения потока мощности между ними.

**Механизмы управления** автомобиля состоят из двух самостоятельных систем: *рулевого управления 10 и тормозной системы.* Направление движения автомобиля изменяют путем поворота управляемых колес.

Особенностью ведущих мостов является наличие главной передачи и дифференциала (рисунок 1.4). *Главная передача* служит для увеличения крутящего момента и передачи движения под прямым углом к заднему мосту, а *дифференциал* перераспределяет крутя-



щий момент между колесами при движении машины на повороте. Крутящий момент от карданного вала передается на ведущую шестерню 1 (рисунок 1.4) главной передачи, от которой приводится во вращение ведомая шестерня 2, скрепленная с корпусом 7 дифференциала. Внутри коробки дифференциала установлены конические шестерни-сателлиты 6, свободно вращающиеся с осями 5 и находящиеся в зацеплении с коническими шестернями 4 полуосей (приводных валов) 3 ведущих колес.

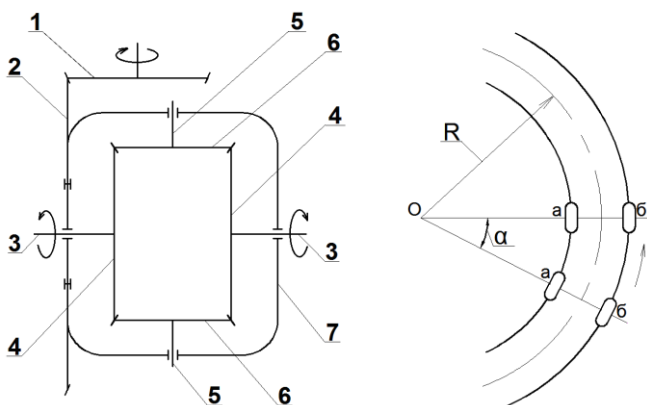


Рисунок 1.4 – Схема главной передачи и дифференциала и траектория движения колес автомобиля на повороте:

1, 2 – шестерни главной передачи; 3 – ведущие полуоси; 4 – шестерни полуосей; 5 – оси сателлитов; 6 – сателлиты; 7 – корпус дифференциала

**При прямолинейном движении**, когда ведущие колеса проходят одинаковый путь, а следовательно, вращаются с одинаковой частотой, сателлиты, не вращаясь вокруг собственной оси, передают крутящий момент от коробки дифференциала на шестерни левой и правой полуосей. **При повороте** внешнее колесо проходит больший путь (б–б), чем внутреннее колесо (а–а), с большей скоростью. Следовательно, частота вращения конической шестерни полуоси внешнего колеса больше, чем внутреннего. При этом сателлиты, продолжая движение совместно с коробкой дифференциала, вращаются вокруг собственных осей, обегая шестерню полуоси внутреннего колеса и позволяя полуосям вращаться с различной частотой.

*Ходовая часть* – это совокупность элементов шасси, образующих ходовую тележку самоходных и прицепных машин. Она предназначена для передвижения машин, передачи нагрузки на опорную поверхность, обеспечения устойчивости машин, реализации тягового усилия через движитель.

*Движителем* называют устройство, преобразующее энергию силовой установки в линейное перемещение машины.

В ходовую часть входят рама  $\vartheta$  (см. рисунок 1.1), на которой крепятся все узлы и агрегаты автомобиля, подвеска (передняя и задняя), передний  $2$  и задний  $8$  мосты и колеса автомобиля.

*Пневмоколесные ходовые части* находят наиболее широкое применение в мобильных строительных и дорожных машинах. Основным элементом пневмоколесных ходовых частей является пневматическая шина (рисунок 1.5), состоящая из покрышки, камеры, в которую накачивается воздух, ободной ленты и вентиля. Иногда применяют бескамерные шины, представляющие собой покрышки, герметически прилегающие к ободам (рисунок 1.5, б). Существуют **шины высокого давления** (0,5–0,7 МПа) и **низкого давления** (0,12–0,35 МПа). Давление на опорную поверхность определяется в основном давлением воздуха в шине. Для повышения проходимости машин по слабым грунтам применяют шины *сверхнизкого давления* (0,05–0,08 МПа). В зависимости от соотношения  $H/B$  (рисунок 1.5, д) различают шины *обычные* ( $H/B = 0,9–1,1$ ), *широкопрофильные* ( $H/B = 0,4–0,9$ ), *арочные* ( $H/B = 0,3–0,4$ ) и *пневмокотки* ( $H/B = 0,2–0,35$ ). У обычной шины наружный диаметр  $D$  связан с высотой  $H$  и диаметром обода  $d$  зависимостью  $D \approx 2H + d$ .

Маркировку шин наносят на боковины двумя числами через тире. Например: 14,00 – 20. Первое число характеризует ширину профиля  $B$ , а второе – внутренний диаметр (или посадочный диаметр)  $d$  (в дюймах).

В пневмоколесные ходовые части входят элементы подвески (рисунок 1.6). Эти элементы, являясь упругими, предназначены для снижения динамических нагрузок, действующих на раму машины при передвижении. В качестве таких элементов используют рессоры в виде пакета (набора) стальных полос переменной жесткости, пружин и торсионов (стержней, работающих на кручение).

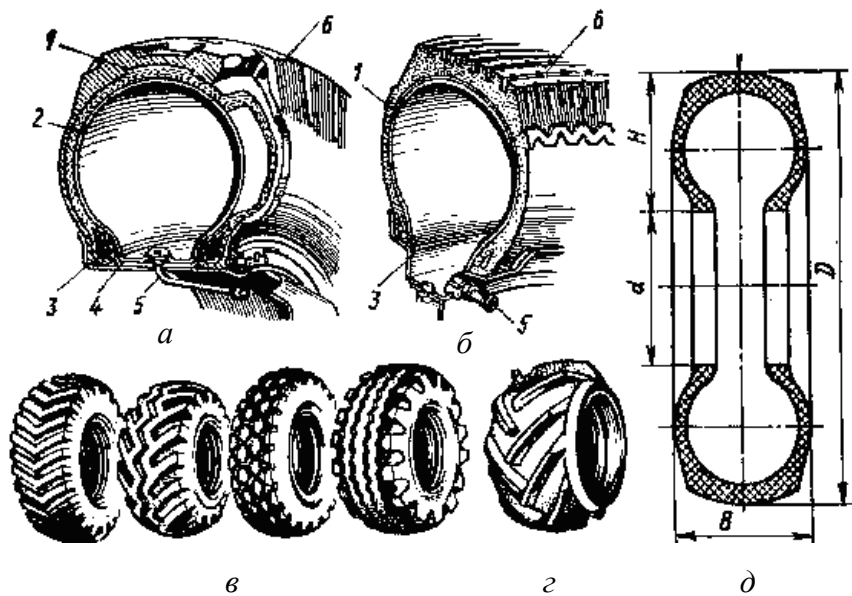


Рисунок 1.5 – Пневматические шины:  
*a* – камерная; *б* – бескамерная; 1 – покрывка; 2 – камера; 3 – обод колеса;  
 4 – ободная лента (флеп); 5 – вентиль; 6 – протектор;  
*в* – типы рисунков протекторов; *z* – арочная; *д* – основные размеры шины

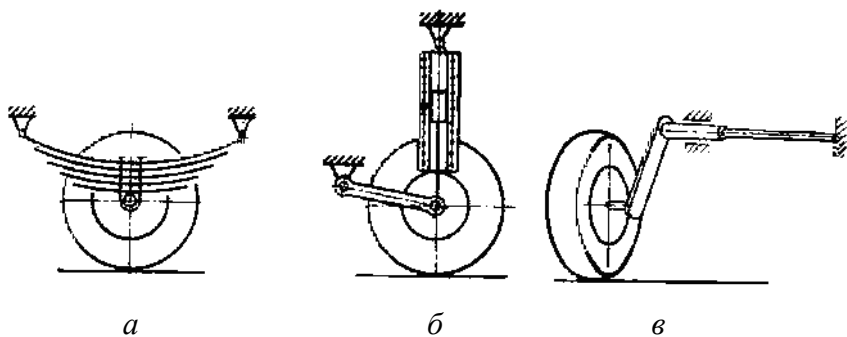


Рисунок 1.6 – Упругие подвески:  
*a* – рессорная; *б* – пружинная; *в* – торсионная

Гусеничная ходовая часть обеспечивает повышенную проходимость тракторов, экскаваторов, погрузчиков и других машин. Основа гусеничной ходовой части – гусеница – замкнутая цепь, состоящая из шарнирносоединенных разборных или неразборных звеньев. Гусеница представляет собой цепь, на звеньях которой прикреплены башмаки с грунтозацепами различной формы (*траки*), шарнирно соединенные между собой.

Гусеничные ходовые части могут быть *жесткими малоопорными* (рисунок 1.7, а), *жесткими многоопорными* (рисунок 1.7, б), *упругобалансирными* (рисунок 1.7, в) и *индивидуально-эластичными*. У жестких гусеничных ходовых частей оси опорных катков укреплены неподвижно на раме машины или гусеничной тележки, а у упругих – могут перемещаться, копируя все неровности опорной поверхности и улучшая тем самым сцепление.

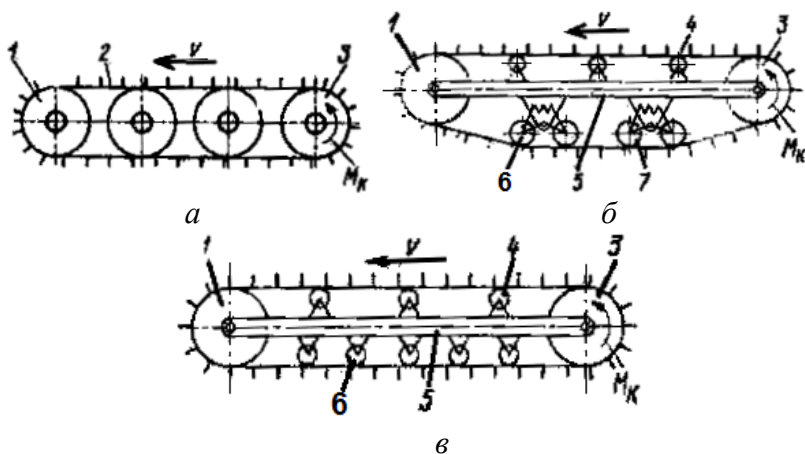


Рисунок 1.7 – Гусеничные ходовые части:

- а – жесткая малоопорная; б – жесткая многоопорная; в – упругобалансирная;
- 1 – направляющее колесо; 2 – гусеница; 3 – ведущее колесо;
- 4 – поддерживающие катки; 5 – рама гусеничной тележки; 6 – опорные катки;
- 7 – балансир с упругим элементом

Жесткие многоопорные и упругобалансирные гусеничные ходовые части могут быть конструктивно выполнены в виде гусеничных тележек, которые соединены с рамой машины жестко (экскаваторы)

или с помощью упругих элементов. Например, широко распространенная конструкция полужесткой подвески многих промышленных тракторов представлена на рисунке 1.8.

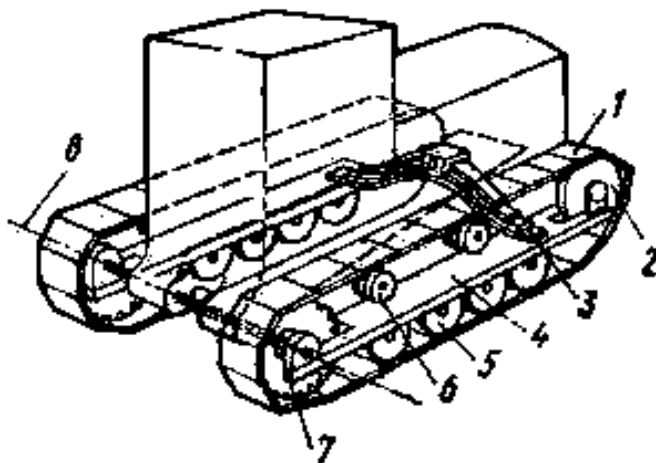


Рисунок 1.8 – Полу жесткая подвеска гусеничного трактора:  
1 – гусеница; 2 – направляющее колесо (натяжное); 3 – поперечная рессора;  
4 – рама гусеничной тележки; 5 – опорные катки; 6 – поддерживающие катки;  
7 – ведущее колесо; 8 – геометрическая ось ограниченного качания гусеничных тележек относительно основной рамы

Гусеничные ходовые части по сравнению с пневмоколесными имеют большую поверхность опоры, что обеспечивает лучшее сцепление с грунтом, повышенную проходимость в условиях бездорожья и слабых грунтов при малом давлении на грунт (0,04–0,1 МПа). Машины с гусеничными ходовыми частями способны преодолевать уклоны до 50 %. К **недостаткам** гусеничных ходовых частей строительных и дорожных машин следует отнести большую массу (до 40 % общей массы машины), сложность конструкции, интенсивное изнашивание, а также малую транспортную скорость (до 12 км/ч) и недопустимость передвижения по дорогам с усовершенствованными покрытиями во избежание порчи последних.

## Методические указания по определению силы тяги на крюке гусеничного трактора

Одним из основных эксплуатационных параметров трактора является его тяговое усилие на крюке. Сила тяги на крюке трактора  $P_{кр}$  зависит от его мощности двигателя, скорости движения и характера пути движения и может быть определена по формуле

$$P_{кр} = P - P_f,$$

где  $P$  – сила тяги, развиваемая на ходовом аппарате трактора;

$P_f$  – сопротивление движению трактора.

Значение  $P$  принимается из сопоставления силы тяги, развиваемой трактором по мощности  $P_N$  и по сцеплению  $P_{сц}$ .

Значения  $P_N$  и  $P_{сц}$  определяются по формулам:

$$P_N = \frac{N_d \cdot \eta}{v}; \quad P_{сц} = m \cdot g \cdot \phi,$$

где  $N_d$  – мощность двигателя трактора, кВт (таблица 1.2);

$\eta$  – коэффициент полезного действия (КПД) силовой передачи,  
 $\eta = 0,80-0,86$ ;

$v$  – скорость движения, м/с (таблица 1.2);

$m$  – масса трактора, кг (таблица 1.2);

$g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>,  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>;

$\phi$  – коэффициент сцепления ходового аппарата с грунтом (таблица 1.3).

Таблица 1.2 – Техническая характеристика гусеничных тракторов

| Показатели                                  | Марка трактора |       |
|---|----------------|-------|
|   | ДТ-75В         | Т-130 |
| Мощность двигателя $N_d$ , кВт              | 58,8           | 118   |
| Скорость движения $v$ , м/с,<br>вперед<br>1 | 1,51           | 0,88  |

Окончание таблицы 1.2

| Показатели     | Марка трактора |        |
|----------------|----------------|--------|
|                | ДТ-75В         | Т-130  |
| 2              | 1,69           | 1,09   |
| 3              | 1,88           | 1,26   |
| 4              | 2,09           | 1,51   |
| 5              | 2,32           | 1,89   |
| 6              | 2,59           | 2,19   |
| 7              | 3,19           | 2,54   |
| 8              | –              | 3,08   |
| Масса $m$ , кг | 6490           | 14 030 |

Таблица 1.3 – Значение коэффициентов сцепления  $\phi$  и сопротивления движению  $f$

| Грунт   | Для гусеничного движителя |      |
|---|---------------------------|------|
|   | $\phi$                    | $f$  |
| Очень рыхлый грунт, насыпной, свежееотсыпной                                    | 0,6–0,8                   | 0,12 |
| Недоуплотненный грунт, насыпной грунт после нескольких проездов колесных машин  | 0,8–1,0                   | 0,10 |
| Плотный грунт, грунт, уплотненный тяжелыми катками, накатанная грунтовая дорога | 0,9–1,1                   | 0,07 |

Если  $P_N < P_{сц}$ , то принимается  $P = P_N$ ; если  $P_N > P_{сц}$ , то принимается  $P = P_{сц}$ , т. к. в этом случае сила тяги по мощности  $P_N$  не может быть использована полностью из-за буксования трактора при достижении тягового усилия на ходовом аппарате величины  $P_{сц}$ .

Значение  $P_f$  при прямолинейном движении с постоянной скоростью определяется по формуле

$$P_f = P_{fn} \pm P_{fi}$$

где  $P_{fn}$  – сопротивление движению трактора на прямолинейном участке;  
 $P_{fi}$  – сопротивление движению трактора от уклона пути, знак плюс (+) принимается при движении на подъем, знак минус (–) – при спуске по уклону.

В свою очередь

$$P_{fn} = mg \cdot f \cdot \cos \alpha; P_{fi} = mg \cdot f \cdot \sin \alpha,$$

где  $f$  – коэффициент сопротивления движению (см. таблицу 1.3);  
 $i$  – уклон пути движения в градусах (см. таблицу 1.1).



## Лабораторная работа № 2

### ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

**Оборудование и наглядные пособия:** натурные образцы деталей основных систем и механизмов дизельного двигателя; плакаты с изображением основных систем и механизмов дизельного двигателя.

#### Задание:

1. Изучить конструкцию и процессы рабочего цикла четырехтактного дизельного двигателя.
2. Вычертить принципиальную схему устройства дизельного четырехтактного двигателя и описать его работу.
3. Определить эффективную мощность, вращающий момент, удельный и общий расход топлива при заданной продолжительности работы дизельного двигателя (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Исходные данные

| Показатели   | Номер режима работы $i$ | Вариант |      |      |      |      |      |      |
|--|-------------------------|---------|------|------|------|------|------|------|
|  |                         | 1       | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |
| Частота вращения коленчатого вала двигателя $n, \text{с}^{-1}$ | 1                       | 26,3    | 28,4 | 29,1 | 27,2 | 30,2 | 28,4 | 27,2 |
|  | 2                       | 27,2    | 30,1 | 30,0 | 28,6 | 34,3 | 30,1 | 28,6 |
|  | 3                       | 29,2    | 33,2 | 32,0 | 30,2 | 35,0 | 33,2 | 30,2 |
|  | 4                       | 30,2    | 35,0 | 35,0 | 33,3 | 36,7 | 35,0 | 33,3 |
| Продолжительность работы при заданном режиме $t, \text{мин}$   | 1                       | 8       | 7    | 7    | 8    | 10   | 8    | 12   |
|  | 2                       | 12      | 13   | 13   | 12   | 20   | 12   | 28   |
|  | 3                       | 30      | 27   | 27   | 30   | 25   | 30   | 15   |
|  | 4                       | 10      | 13   | 13   | 10   | 5    | 10   | 5    |

## Общее устройство и работа дизельного четырехтактного двигателя

В двигателе внутреннего сгорания (ДВС) (рисунок 2.1) рабочий процесс протекает в полости, образованной цилиндром 3, поршнем 4 и головкой 5, в которой установлены впускной и выпускной клапаны 6. Поршень соединяется шатуном 2 с коленчатым валом 1. При вращении последнего поршень в цилиндре движется возвратно-поступательно вверх и вниз. При заполнение цилиндра воздухом и топливом (в определенном отношении) образуется горючая смесь, происходит ее сжатие и воспламенение. Газы, образующиеся при сгорании топлива, расширяясь, совершают механическую работу. Их давление воспринимается поршнем и через шатун передается на коленчатый вал. Полученный на коленчатом валу крутящий момент с маховика 7 передается на трансмиссию машины. После расширения газов цилиндр очищается от отработавших газов для нового заполнения его свежей горючей смесью. Все эти процессы и составляют периодически повторяющийся рабочий цикл ДВС.

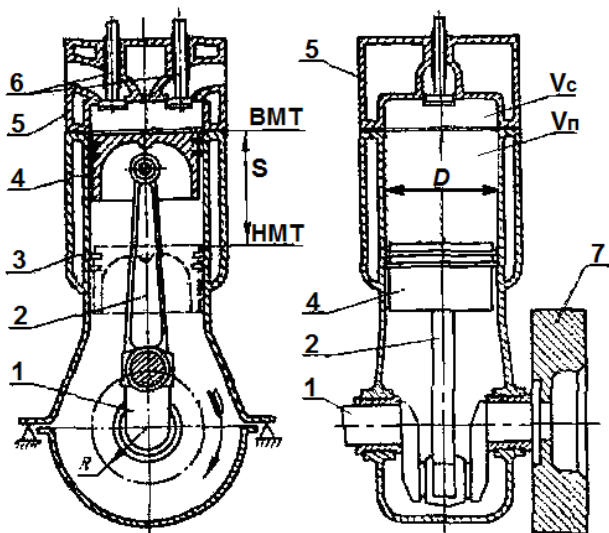


Рисунок 2.1 – Схема двигателя внутреннего сгорания

## Устройства дизельного четырехтактного двигателя и его основных механизмов и систем

Принципиальная схема устройства дизельного четырехтактного двигателя приведена на рисунок 2.2.

Для установки и крепления основных механизмов и узлов двигателя служит его *остов*, состоящий из картера 33, цилиндра 1. В дизельных двигателях строительных и дорожных машин устанавливается, как правило, несколько цилиндров, которые образуют *блок цилиндров*. Блок цилиндров отливают как одну деталь, называемую *блок-картером*. Сверху блок цилиндров герметически закрывается *головкой блока*. В нижней части блок-картера имеются разъемные подшипники для установки коленчатого вала 32, а внутри – подшипники распределительного вала 34. Снизу блок-картер закрывается поддоном, используемым в качестве резервуара для масла смазочной системы. В верхней части блок-картер имеет *рубашку охлаждения* – пространство между наружной стенкой и стенками цилиндров, заполняемое охлаждающей жидкостью. В головке блока цилиндров имеются камеры сгорания 29, отверстия для крепления форсунок 8, гнезда для клапанов 3 и 30 и рубашка охлаждения.

Дизельный четырехтактный двигатель состоит из узлов и деталей, объединенных в механизмы: *кривошипно-шатунный* и *газораспределительный* – и системы: *питания, смазки, охлаждения* и *пуска*.

*Кривошипно-шатунный механизм* включает коленчатый вал 32, шатун 31, поршень 2, соединенный с шатуном поршневым пальцем, и маховик, установленный на конце коленчатого вала (на рисунке не показан).

В дизельных двигателях применяется *газораспределительный механизм* с верхними (подвесными) клапанами, расположенными в головке блока. Основными деталями газораспределительного механизма в этом случае являются: распределительный вал 34, толкатели 35, штанги 5, закрепленные на оси коромысла 6, впускные 30 и выпускные 3 клапаны, пружины 7 клапанов, шестерни привода распределительного вала 34.

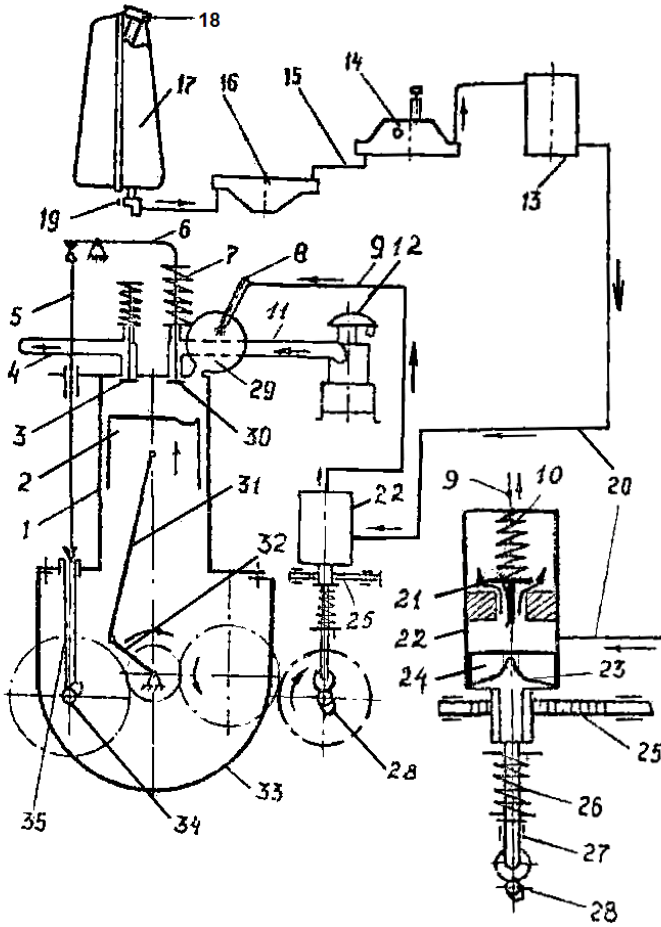


Рисунок 2.2 – Принципиальная схема устройства дизельного четырехтактного двигателя

Система питания дизеля состоит из двух частей: системы питания двигателя воздухом, предназначенной для очистки и подачи воздуха в цилиндры, и топливной системы, предназначенной для подачи в цилиндры под высоким давлением и в определенный момент соответствующего нагрузке количества жидкого топлива. К системе питания двигателя воздухом относятся: воздухоочисти-

тель 12 и впускные трубопроводы 11. Основными элементами топливной системы являются: топливный бак 17 с сетчатым фильтром 18 и краном 19, фильтры грубой 16 и тонкой 13 очистки топлива, подкачивающий насос 14, топливный насос высокого давления (ТНВД) 22, форсунки 8, трубопроводы низкого 15, 20 и высокого 9 давления. Топливный насос высокого давления служит для подачи к форсункам дизельного топлива под высоким давлением.

*Топливный насос высокого давления* имеет ряд секций, число которых соответствует количеству цилиндров двигателя. На рисунке 2.2 показано устройство одной секции. Основными элементами секции топливного насоса являются гильза 22, плунжер 24 и нагнетательный клапан 21, прижимаемый к своему гнезду пружиной 10. Внутренняя поверхность гильзы 22 и наружная поверхность плунжера 24 обработаны с высокой степенью точности за счет индивидуальной притирки, что исключает возможность утечки топлива между их поверхностями. Плунжер 24 перемещается в неподвижно закрепленной гильзе 22 вниз пружиной 26, а вверх – кулачковым валом 28 и толкателем 27. При нижнем положении плунжера в пространство гильзы над плунжером через открытое впускное отверстие в ее боковой поверхности по трубопроводу 20 поступает топливо. Как только верхняя торцевая кромка плунжера при его движении вверх пройдет впускное отверстие гильзы и его боковая поверхность закроет последнее, давление топлива над плунжером резко повышается и под его действием нагнетательный клапан 21 открывается (при  $p = 10\text{--}13$  МПа). Топливо при этом из гильзы по трубопроводу высокого давления 9 и через форсунку 8 подается в камеру сгорания цилиндра.

Нагнетание топлива в цилиндре будет продолжаться до тех пор, пока отсекающая кромка фигурной выточки 23 на поверхности плунжера при его движении вверх не достигнет впускного отверстия гильзы. В этот момент топливо из пространства над плунжером через осевое отверстие и соединенную с ней выточку на плунжере начнет перетекать во впускное отверстие. Давление над плунжером при этом, несмотря на дальнейшее движение последнего вверх, упадет, что приведет к закрытию пружиной 10 клапана 21 и прекращению подачи топлива в цилиндр.

При постоянной величине полного хода плунжера 24 его нагнетательный ход, а следовательно, и количество топлива, подаваемого в цилиндр, изменяется поворотом плунжера 24 вокруг его оси в неподвижной гильзе 22. В результате этого отсекающая кромка 23 фигурной выточки на плунжере будет раньше или позже совмещаться с выпускным отверстием гильзы при его движении вверх, а следовательно, будет вытекать больше или меньше топлива из надплунжерного пространства во впускное отверстие и, соответственно, меньше или больше топлива подаваться в цилиндр. Для поворота плунжеров на их нижние концы закреплены зубчатые секторы, находящиеся в зацеплении с рейкой 25 топливного насоса. Рейка 25 перемещается вручную или автоматически всережимным регулятором центробежного типа в сторону увеличения или уменьшения подачи в зависимости от нагрузки на двигатель.

*Смазочная система* двигателя комбинированная, т. е. некоторые детали смазываются маслом, поступающим под давлением (коренные и шатунные подшипники, подшипники распределительного вала, поршневые пальцы оси коромысел, шестерни механизмов и систем), а другие – разбрызгиваемым маслом.

*Система охлаждения* дизельных двигателей бывает *жидкостной* и *воздушной*. В первом случае отвод тепла от узлов и деталей осуществляется путем омывания блока цилиндров и головки блока охлаждающей жидкостью (чаще всего водой). Особенностью жидкостной системы охлаждения дизелей является то, что рубашки охлаждения пускового и дизельного двигателей соединены между собой. В результате этого при работе первого происходит подогрев деталей дизеля водой, нагретой в рубашке охлаждения пускового двигателя, что ускоряет прогрев и пуск основного двигателя.

Так как большинство дизелей имеет термостат в системе охлаждения, то при температуре охлаждающей жидкости до 68–72 °С последняя циркулирует по *малому замкнутому кругу*: насос – рубашка охлаждения головки цилиндров – рубашка охлаждения пускового двигателя – насос. При достижении охлаждающей жидкостью температуры свыше 68–72 °С клапан термостата открывается и вода циркулирует по *большому замкнутому кругу*: насос – рубашка охлаждения блока цилиндров – рубашка охлаждения головки цилиндров – радиатор – насос.

При воздушном охлаждении двигатель обдувают холодным воздухом с помощью мощного вентилятора.

*Система пуска* служит для пуска двигателя в работу. Для пуска дизельного двигателя используются пусковой карбюраторный двухтактный или четырехтактный двигатель, вал которого через муфту сцепления, редуктор, шестерню привода соединяется с зубчатым венцом, закрепленным на маховике коленчатого вала дизеля.

### **Рабочий цикл четырехтактного дизельного двигателя**

**Такт впуска.** Поршень движется от верхней мертвой точки (ВМТ) к нижней мертвой точке (НМТ). Под действием вращающегося коленчатого вала 32 (см. рисунок 2.2) приводится в движение через шатун 31 поршень 2, а через шестерни привода – распределительный вал 34 и кулачковый вал 28 топливного насоса. При положении поршня 2, близком к верхней мертвой точке, кулачок распределительного вала 34 перемещает толкатель 35 вверх, последний через штангу 5 нажимает на коромысло 6, которое, поворачиваясь относительно оси крепления, давит на впускной клапан 30 и, преодолевая усилие сжатия пружины 7, открывает его.

При движении поршня 2 от ВМТ к НМТ в цилиндре над поршнем 2 создается разрежение ( $p = 0,07-0,095$  МПа). В результате этого через воздухоочиститель 12 по трубопроводу 11 и через открытый впускной клапан 30 в цилиндр засасывается очищенный от пыли атмосферный воздух. Происходит такт – впуск.

Заканчивается такт впуска (происходит закрытие впускного клапана) не в момент прихода поршня в НМТ, а после того, как он переместится от НМТ к ВМТ на величину, соответствующую  $40-60^\circ$  угла поворота коленчатого вала. Хотя поршень в это время движется вверх, давление в цилиндре некоторое время остается ниже атмосферного и воздух продолжает поступать. В указанный момент впускной клапан 30 закрывается под действием пружины 7, т. к. кулачок распределительного вала 34 к этому времени повернется и прекратит свое воздействие на толкатель 35.

**Такт сжатия.** Поршень 2 (см. рисунок 2.2) движется от НМТ к ВМТ. Оба клапана закрыты. Объем над поршнем уменьшается, и в цилиндре 1 в результате сжатия давление воздуха при подходе

поршня 2 к ВМТ возрастает до 3,0–4,0 МПа, а его температура – до 500–550 °С. К этому времени вал 28 топливного насоса повернется настолько, что его кулачок через толкатель 27 переместит вверх плунжер 24 секции топливного насоса. Вследствие этого в конце такта сжатия, когда поршень не доходит до ВМТ на 15–30° угла поворота коленчатого вала, в камеру сгорания цилиндра топливным насосом высокого давления по трубопроводу высокого давления 9 через форсунку 8 подается определенное количество топлива. Оно испаряется и перемешивается с воздухом и от его температуры самовоспламеняется. К приходу поршня в ВМТ в камере сжатия происходит интенсивное горение топлива и резкое повышение давления газов в цилиндре до 6,0–10,0 МПа.

**Такт расширения.** Оба клапана закрыты. В камере сжатия происходит догорание топлива. Под действием давления газов от ВМТ к НМТ поршень 2 (см. рисунок 2.2) движется вниз и через шатун 31 передает усилие на кривошип коленчатого вала 32, заставляя его ускоренно поворачиваться, в результате чего совершается работа. К концу такта давление и температура в цилиндре падают.

**Такт выпуска.** При подходе поршня 2 (см. рисунок 2.2) к НМТ давление газов в цилиндре понижается до 0,4–0,5 МПа и за 40–60° до прихода поршня 2 в НМТ открывается выпускной клапан 3 (впускной клапан 30 закрыт), привод которого осуществляется от распределительного вала 34 так же, как и впускного клапана 30. Отработавшие газы давлением внутри цилиндра выбрасываются в атмосферу через открытый выпускной клапан 3 и выпускную трубу 4. При достижении поршнем ВМТ рабочий цикл дизеля оканчивается.

После этого начинается новый цикл. Вновь открывается впускной клапан 30, закрывается выпускной 3 и начинается следующий рабочий цикл.

Таким образом, полный рабочий цикл четырехтактного дизельного двигателя осуществляется за четыре хода поршня, что соответствует двум оборотам коленчатого вала 32. Распределительный вал 34 и вал 28 топливного насоса делают за это время по одному обороту. Изменение состава горючей смеси в дизелях достигается за счет изменения количества топлива, подаваемого топливным насосом через форсунку в цилиндр.



## Рабочий процесс дизеля с наддувом

Наполнение цилиндров воздухом путем принудительной подачи его под давлением компрессором называется *наддувом*. Наддув осуществляется центробежным компрессором, который приводится во вращение турбиной, работающей от отработавших (выхлопных) газов двигателя. Такой агрегат называют *газотурбоагнетателем*, а сам процесс – *турбонаддувом*. Работа газотурбоагнетателя осуществляется следующим образом (рисунок 2.3). Во время выпуска отработавшие газы по выпускным трубопроводам *1* поступают через сопла на лопатки рабочего колеса *б* турбины *2* и вращают ее. Рабочее колесо *5* компрессора *4* установлено на общем с турбиной роторе *3*. Вращаясь вместе с турбиной, компрессор подает под избыточным давлением (0,03–0,06 МПа) воздух по впускным трубопроводам *7* в цилиндры двигателя. Применение турбонаддува увеличивает мощность двигателя.

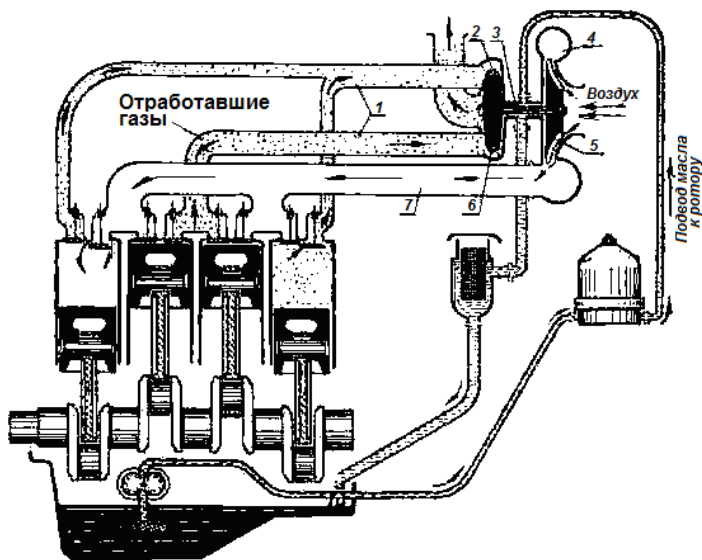


Рисунок 2.3 – Схема работы дизеля с наддувом

## Методические указания

Для оценки автотракторных двигателей с точки зрения динамических и экономических качеств при различных режимах работы (скоростной режим и нагрузка) по экспериментальным данным строятся кривые, выражающие зависимости его эксплуатационных показателей и носящие название *характеристик*. **Основными характеристиками двигателей** внутреннего сгорания являются *скоростная* и *нагрузочная*.

Скоростная характеристика дизельного двигателя, показывающая изменение эффективной мощности  $N_e$ , вращающего момента  $M_v$  и удельного расхода топлива  $q_e$  в зависимости от частоты вращения коленчатого вала  $n$  (см. таблицу 2.1), приведена на рисунок 2.4.

Пользуясь скоростной характеристикой дизеля определяют:

1. Расход топлива при заданной продолжительности работы на указанном режиме

$$G_i = \frac{q_{e,i} \cdot N_{e,i} \cdot t}{1000 \cdot 60}, \text{ кг,}$$

где  $i$  – режим работы,  $i = 1-4$  (см. таблицу 2.1);

$q_{e,i}$  – удельный расход топлива на указанном режиме работы, г/кВт·ч (рисунок 2.4);

$N_{e,i}$  – эффективная мощность двигателя на указанном режиме, кВт (рисунок 2.4);

$t_i$  – продолжительность работы на указанном режиме, мин (см. таблицу 2.1).

2. Полный расход топлива для работы двигателя на указанных режимах в течение заданного времени

$$G_m = G_1 + G_2 + G_3 + G_4, \text{ кг,}$$

где  $G_1, G_2, G_3, G_4$  – расход топлива на указанных режимах работы двигателя.

Значение эффективной мощности  $N_{\text{э}}$ , эффективного вращающего момента  $M_{\text{в}}$  и удельного расхода топлива  $q_{\text{э}}$  принимается непосредственно из скоростной характеристики по заданной частоте вращения вала  $n$ .

Результаты определения показателей двигателя сводятся в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты определения показателей двигателя

| № п/п | Заданные значения                      |                                    | Эффективная мощность $N_{\text{э}}$ , кВт | Эффективный вращающий момент $M_{\text{в}}$ , Н·м | Удельный расход топлива $q_{\text{э}}$ , г/кВт·ч | Расход топлива $G_{\text{т}}$ , кг |
|-------|--|------------------------------------|---|---|--|------------------------------------|
|       | Частота вращения $n$ , с <sup>-1</sup> | Продолжительность работы $t$ , мин |   |   |  |                                    |
| 1     | 2                                      | 3                                  | 4   | 5   | 6  | 7                                  |

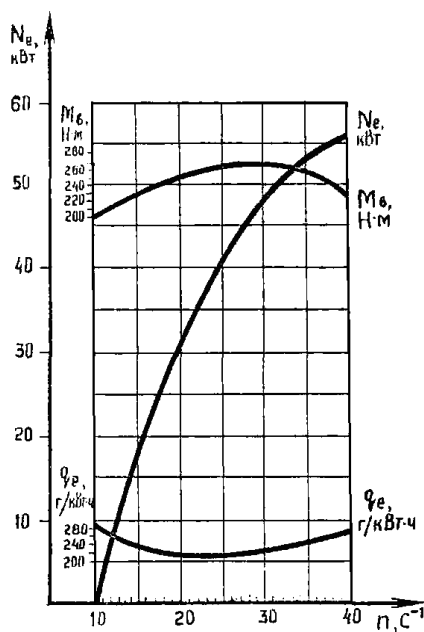


Рисунок 2.4 – Скоростная характеристика дизельного двигателя

## Лабораторная работа № 3

### ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА КАРБЮРАТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

**Оборудование и наглядные пособия:** натурные образцы деталей основных систем и механизмов карбюраторного двигателя; плакаты с изображением основных систем и механизмов карбюраторного двигателя.

**Задание:**

1. Изучить устройство и принцип работы четырехтактного карбюраторного двигателя.
2. Вычертить принципиальную схему двигателя, описать его устройство и принцип работы.
3. Определить литраж двигателя, индикаторную, литровую и поршневую мощность, часовой расход топлива и эффективный КПД в соответствии с исходными данными (таблица 3.1) заданного варианта.

Таблица 3.1 – Исходные данные

| Наименование показателей                                     | Вариант |      |      |      |      |      |      |
|--|---------|------|------|------|------|------|------|
|  | 1       | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |
| Диаметр цилиндра $d$ , мм                                    | 82      | 79   | 92   | 100  | 79   | 92   | 100  |
| Ход поршня $S$ , мм  | 70      | 80   | 80   | 95   | 80   | 92   | 95   |
| Число цилиндров $i$  | 4       | 4    | 8    | 8    | 4    | 4    | 8    |
| Эффективная мощность $N_{\text{э}}$ , кВт                    | 55      | 59   | 85   | 114  | 59   | 70   | 114  |
| Частота вращения $n$ , $\text{с}^{-1}$                       | 96,6    | 87,0 | 53,4 | 51,7 | 87,0 | 75,0 | 51,7 |
| Удельный эффективный расход топлива $q_{\text{э}}$ , г/кВт·ч | 290     | 300  | 330  | 330  | 300  | 310  | 330  |

## Устройство и принцип работы четырехтактного карбюраторного двигателя

Двигатель внутреннего сгорания включает следующие механизмы и системы:

1. *Кривошипно-шатунный механизм* служит для восприятия давления газов и преобразования возвратно-поступательного движения поршня во вращательное движение коленчатого вала.

2. *Механизм газораспределения* обеспечивает впуск в цилиндры свежего заряда и выпуск отработавших газов в строго определенные промежутки времени.

3. *Система питания* в карбюраторном двигателе предназначена для приготовления горючей смеси.

4. *Система регулирования* автоматически изменяет поступление горючей смеси или подачу топлива в цилиндры в зависимости от нагрузки двигателя и частоты вращения коленчатого вала.

5. *Система смазки* обеспечивает непрерывное поступление смазочного масла ко всем трущимся деталям двигателя с целью уменьшения их износа, нагревания и снижения потерь мощности на преодоление трения.

6. *Система охлаждения* предназначена для отвода тепла от нагреваемых деталей с целью сохранения определенной их температуры.

7. *Система пуска* осуществляет пуск двигателя.

8. *Система зажигания* в карбюраторном двигателе служит для получения искры путем высоковольтного электрического разряда, необходимой для зажигания рабочей смеси в цилиндре.

Принципиальная схема устройства карбюраторного двигателя приведена на рисунке 3.1.

Остов двигателя образуют неподвижные корпусные детали, которые служат для установки и крепления всех важнейших механизмов и узлов двигателя. К деталям остова относят картер 27, блок цилиндров 37, головку 21 цилиндров, поддон 29 картера и картер маховика. Блок цилиндров 37 и картер двигателя 27 для упрощения и увеличения жесткости конструкции объединяют в одну деталь, называемую *блок-картером*. В блок-картере имеется *водяная рубашка* – пространство между наружной стенкой и стенками цилин-

дров, заполняемое охлаждающей жидкостью. В нижней части блок-картера имеются разъемные коренные подшипники для установки коленчатого вала 30, а внутри – подшипники распределительного вала 31, приводящего в действие клапанный механизм.

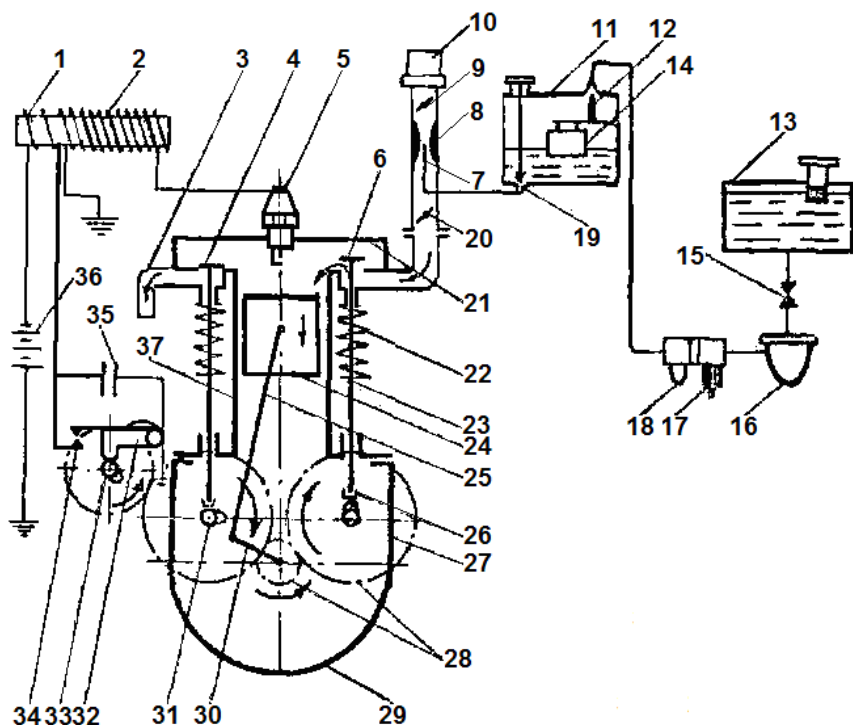


Рисунок 3.1 – Принципиальная схема устройства четырехтактного карбюраторного двигателя

Сверху блок-картер герметически закрывается крышкой или головкой 21 блока. В головке 21 блока располагаются камеры сжатия, отверстия для электрических запальных свечей и гнезда для клапанов. Снизу блок-картер закрывается поддоном 29, используемым в качестве резервуара для масла смазочной системы.

*Кривошипно-шатунный* механизм включает поршень 24 с кольцами и поршневым пальцем, шатун 25, коленчатый вал 30 и маховик (на рисунке не показан).

*Механизм газораспределения* состоит из распределительного вала 31 с кулачками, приводных шестерен 28, толкателей 26, штанги 23, впускного 6 и выпускного 4 клапанов и пружин 22.

*Система питания* включает топливный бак 13 с краном 15, фильтры грубой 16 и тонкой 18 очистки топлива и воздуха 10, подкачивающий топливный насос 17, карбюратор, топливопроводы и впускную трубу.

Основными деталями простейшего *карбюратора* являются поплавковая камера 11, поплавок 14, игольчатый клапан 12, жиклер 19, диффузор 8, распылитель 7, воздушная 9 и дроссельная 20 заслонки. Из топливного бака 13 в поплавковую камеру 11 топливо подается насосом 17. Поплавок 14 и игольчатый клапан 12 поддерживают требуемый уровень топлива в поплавковой камере. К распылителю 7 топливо поступает самотеком при создании над ним разрежения, возникающего при засасывании воздуха.

*Система зажигания* состоит из источника тока – аккумуляторной батареи 36, индукционной катушки 1 и 2, конденсатора 35, прерывателя 32 с контактами 34 и распределителем, свечой 5, проводом и др.

*Система батарейного зажигания* обеспечивает воспламенение рабочей смеси в карбюраторных и газовых двигателях электрической искрой, возникающей при разряде между электродами свечи зажигания. Ток высокого напряжения (не менее 12 кВ), необходимый для создания искрового разряда, получают от приборов системы зажигания.

Батарейное зажигание нашло широкое применение на автомобильных двигателях, зажигание от магнето – на пусковых двигателях тракторных дизелей.

**Элементы системы батарейного зажигания.** Система состоит из следующих элементов (рисунок 3.2): источников тока низкого напряжения – аккумуляторной батареи 23 и генератора постоянного тока 20, выключателя зажигания 17, катушки зажигания 10, распределителя 15 тока высокого напряжения, прерывателя 4 тока низкого напряжения с конденсатором 2, свечей 1, амперметра 18, реле-ре-

гулятора 21, проводов высокого 12 и низкого 7, 16 и 22 напряжения. Электроприборы образуют две цепи: низкого и высокого напряжения. В цепь низкого напряжения кроме источников тока входят прерыватель 4, первичная 9 обмотка катушки зажигания с добавочным сопротивлением 11 и выключатель зажигания 17. Цепь высокого напряжения состоит из вторичной 8 обмотки катушки зажигания, распределителя 15 и свечей зажигания 1.

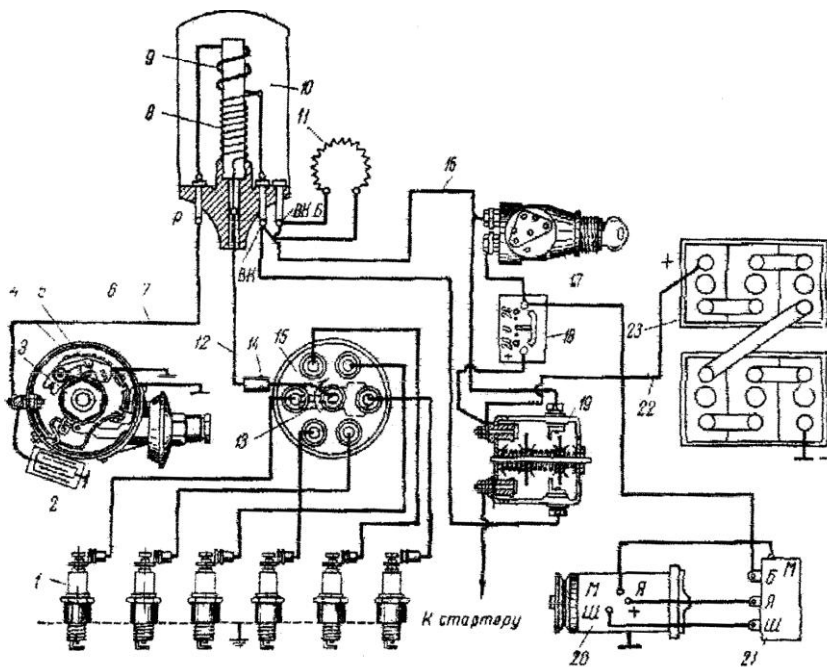


Рисунок 3.2 – Схема батарейного зажигания

Батарейная система зажигания имеет однопроводное соединение источников тока с потребителями. Вторым проводом служит масса – все соединяемые между собой металлические части машины. У современных автомобилей к массе присоединяются отрицательные клеммы источников тока. При работе системы от аккумуляторной батареи (пуск двигателя и работа на малых оборотах) ток низкого напряжения идет от положительной клеммы батареи 23 через клемму



выключателя 19 стартера, амперметр 18, замок зажигания 17, добавочное сопротивление 11, первичную обмотку индукционной катушки 9, подвижный 5 и неподвижный 6 контакты прерывателя на массу и отрицательную клемму батареи.

При работе системы от генератора (работа двигателя под нагрузкой) ток низкого напряжения от положительной клеммы генератора через реле-регулятор 21, амперметр, замок зажигания, добавочное сопротивление, первичную обмотку индукционной катушки и контакты прерывателя идет на массу и отрицательную клемму генератора.

Ток высокого напряжения возникает в системе батарейного зажигания при периодическом замыкании и размыкании контактов прерывателя кулачком 3. При этом в первичной обмотке индукционной катушки получается прерывистый ток, который создает меняющееся магнитное поле. Во вторичной обмотке индуцируется ток высокого напряжения (12–24 кВ), который по проводу 12 через подавительное сопротивление радиопомех 14, центральный контакт, ротор 13 и боковой контакт распределителя 15 проходит в виде искры через электроды свечи и воспламеняет рабочую смесь в цилиндре.

Напряжение во вторичной обмотке зависит от величины тока в первичной обмотке и скорости его исчезновения. Чем быстрее исчезает ток в первичной обмотке при размыкании, тем выше напряжение во вторичной обмотке. Искрение в контактах прерывателя при размыкании уменьшает скорость исчезновения тока и резко снижает вторичное напряжение. Для уменьшения искрения параллельно контактам прерывателя включается конденсатор.

С увеличением числа цилиндров и частоты вращения коленчатого вала двигателя уменьшается продолжительность времени замыкания контактов прерывателя. Так как для нарастания тока в первичной цепи до максимального значения требуется некоторое время, то при определенной частоте вращения коленчатого вала ток в первичной цепи не сможет достигать требуемого значения, и напряжение во вторичной обмотке понизится. Для предотвращения этого явления в цепь низкого напряжения вводится дополнительное сопротивление (резистор). Резистор изготавливается из материалов, увеличивающих свое электрическое сопротивление с повышением температуры. Когда двигатель работает на малых частотах вращения, время замыкания контактов прерывателя достаточно велико, поэтому ток

в первичной цепи достигает наибольшего значения и вызывает нагрев резистора, в результате чего увеличивается общее сопротивление первичной цепи. Ввиду этого ограничивается ток первичной обмотки и искрение контактов прерывателя снижается. С увеличением частоты вращения вала ток в первичной цепи не успевает достигнуть максимального значения, поэтому сопротивление резистора и всей цепи уменьшается. Это позволяет поддерживать напряжение в цепи высокого напряжения в пределах, достаточных для надежного воспламенения рабочей смеси. При пуске двигателя стартером резистор замыкается накоротко, что способствует получению более интенсивных разрядов между электродами свечей зажигания и облегчает запуск двигателя.

*Свеча зажигания* предназначена для образования электрической искры, которой воспламеняется рабочая смесь в цилиндрах двигателя. Свеча имеет стержень с центральным электродом, отделенным от массы керамическим изолятором, и боковой электрод, соединенный с массой. Электроды свечи изготавливаются из никель-марганцевого сплава, изоляторы – из уралита, кристаллокорунда. Ток высокого напряжения подводится к центральному электроду и, пробивая воздушный промежуток (0,6–0,8 мм), переходит на боковой электрод. Свечи ввертываются в головку блока с помощью резьбы на нижней части корпуса. Верхняя часть корпуса завальцована на изоляторе. Уплотнение изолятора в корпусе достигается шайбой. Между корпусом и изолятором устанавливается медная шайба, способствующая отводу тепла от свечи и предотвращению утечки газов из цилиндра.

*Смазочная система* включает резервуар для масла (поддон 29, картера (см. рисунок 3.1)) масляный насос, масляный радиатор, фильтры и маслопроводы.

*Жидкостная система охлаждения* состоит из рубашки охлаждения, радиатора, водяного насоса, вентилятора, термостата, патрубков и трубопроводов.

Карбюраторные двигатели автомобильного типа имеют механическую *систему пуска* от электрического стартера. В такую систему пуска входит электродвигатель постоянного тока (стартер), питаемый от аккумулятора, шестеренчатая передача от вала стартера к валу двигателя и включающее устройство.

## Рабочий цикл четырехтактного карбюраторного двигателя

**В первом такте**—впуске горючей смеси при движении поршня 24 (см. рисунок 3.1) от ВМТ к НМТ в пространстве над поршнем и в линии, соединяющей надпоршневое пространство с воздухоочистителем 10, создается разрежение, и под действием атмосферного давления воздух поступает в воздухоочиститель 10 и далее к диффузору 8 карбюратора.

При движении воздуха через диффузор 8 карбюратора скорость его значительно возрастает, и над распылителем 7 образуется разрежение, вследствие чего топливо вытекает из распылителя 7, распыляется проходящим с большой скоростью воздухом, перемешивается с ним, испаряется в этом воздухе и поступает в цилиндр 37.

Регулировка состава смеси в простейшем карбюраторе осуществляется изменением проходного сечения жиклера 19 и величины открытия воздушной заслонки 9, а количество смеси, подаваемой в цилиндр, регулируется положением дроссельной заслонки 20.

Поступление горячей смеси в цилиндр прекращается при достижении движущимся вниз поршнем 24 крайнего положения.

При движении поршня в обратном направлении в цилиндре происходит **второй такт** — сжатие рабочей смеси при закрытых впускном 6 и выпускном 4 клапанах. Степень сжатия карбюраторных двигателей составляет 6–10. По мере уменьшения объема смеси давление и температура в цилиндре повышаются и при достижении поршнем ВМТ достигают соответственно значений 0,8–1,5 МПа и 350–450 °С. К этому времени кулачок прерывателя 33, нажимая на подвижный контакт 32 прерывателя, размыкает электрическую цепь первичной обмотки 1 катушки зажигания, питаемой от аккумуляторной батареи 36. В результате во вторичной обмотке 2 катушки зажигания наводится ЭДС высокого напряжения до 10 000–15 000 В. При замыкании обмотки высокого напряжения 2 на свечу 5 между ее электродами проскакивает электрическая искра, воспламеняющая сжатую в цилиндре рабочую смесь.

В результате горения температура повышается до 2000–2500 °С, давление в цилиндре возрастает до 4,0–6,0 МПа, и под его действием поршень 24 движется вниз, передавая через шатун 25 давление от энергии сгораемых газов коленчатому валу 30. Совершается

**третий такт** – рабочий ход. В конце рабочего хода открывается выпускной клапан 4, и отработавшие газы через выпускной коллектор и выхлопную трубу 3 выбрасываются в атмосферу.

Поршень при **четвертом такте** (выпуске отработавших газов) совершает движение от НМТ к ВМТ, среднее давление газов в цилиндре в этот период составляет 0,105–0,115 МПа, а температура – 700–850 °С. В конце хода поршня открывается впускной клапан 6, а выпускной 4 закрывается. Рабочий цикл двигателя повторяется.

Для вывода поршня 24 из мертвых положений, в которых шатун 25 и кривошип коленчатого вала 30 располагаются на одной линии, и обеспечения поворота коленчатого вала 30 при холостых ходах (такты: впуск, сжатие, выпуск) на валу последнего устанавливается маховик, накапливающий энергию при рабочем ходе.

Таким образом, полный рабочий цикл четырехтактного двигателя совершается за четыре хода поршня, т. е. за два оборота коленчатого вала. Распределительный вал 31 и валик прерывателя 33, имеющие привод от коленчатого вала 30 шестернями 28, за это время совершают по одному обороту.

При первых же оборотах коленчатого вала начинает работать смазочная система и система охлаждения, имеющие привод от коленчатого вала. *Смазочная система двигателя комбинированная*: часть деталей смазывается маслом, поступающим к трущимся поверхностям *под давлением* (коренные и шатунные подшипники коленчатого вала, подшипники распределительного валика, поршневые пальцы), а остальные детали смазываются *разбрызгиванием* масла, находящегося в поддоне 29 картера. Охлаждающая жидкость (вода) водяным насосом при непрогретом двигателе направляется в рубашку охлаждения цилиндров, оттуда – в рубашку охлаждения головки цилиндров, а затем снова к насосу. Когда температура охлаждающей жидкости достигнет 68–72 °С, открываются клапаны термостата, и вода из рубашки охлаждения головки цилиндров через термостат и верхний патрубок направляется в радиатор для охлаждения, после чего через нижний патрубок снова поступает в насос.

## Методические указания по определению показателей двигателя

1. Литраж двигателя – суммарный рабочий объем цилиндров, выраженный в литрах:

$$V = \frac{p \cdot d^2}{4} S \cdot i, \text{ л,}$$

где  $d$  – диаметр цилиндра, дм (см. таблицу 3.1);

$S$  – ход поршня, дм (см. таблицу 3.1);

$i$  – число цилиндров (см. таблицу 3.1).

2. Среднее эффективное давление

$$p_e = \frac{N_e \cdot \phi}{2V \cdot n}, \text{ мПа,}$$

где  $N_e$  – эффективная мощность, снимаемая с коленчатого вала, кВт (см. таблицу 3.1);

$\tau$  – тактность двигателя, или число ходов поршня за один цикл (см. таблицу 3.1);

$n$  – частота вращения коленчатого вала,  $\text{с}^{-1}$  (см. таблицу 3.1).

3. Среднее индикаторное давление

$$p_i = \frac{p_e}{\eta}, \text{ мПа,}$$

где  $\eta$  – механический КПД, для карбюраторных двигателей  $\eta = 0,7-0,85$ .

4. Индикаторная мощность, развиваемая в цилиндрах двигателя:

$$N_i = \frac{2 p_i \cdot V \cdot n}{\phi}, \text{ кВт.}$$

### 5. Литровая мощность двигателя

$$N_{\text{л}} = \frac{N_e}{\Phi V}, \text{ кВт/л.}$$

### 6. Поршневая мощность

$$N_{\text{п}} = \frac{N_e}{F \cdot i} = \frac{N_e}{\frac{\pi d^2}{4} i}, \text{ кВт/дм}^2.$$

### 7. Часовой расход топлива

$$G_m = N_e \cdot \frac{q_e}{10^3}, \text{ кг/ч,}$$

где  $q_e$  – удельный эффективный расход топлива, г/кВт·ч.

### 8. Эффективный КПД

$$\eta_e = 3600 \cdot \frac{N_e}{G_m \cdot H_{\text{н}}},$$

где  $H_{\text{н}}$  – низшая удельная теплота сгорания топлива, для автомобильных бензинов  $H_{\text{н}} = 42\,000$  кДж/кг.

## Лабораторная работа № 4

### ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПУСКА ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

**Оборудование и наглядные пособия:** пусковой двигатель ПД-10УД – натурный образец на тракторе ДТ-75; плакаты с изображением устройства пускового двигателя П-350, его деталей и схемы работы.

#### **Задание:**

1. Изучить рабочий цикл и конструкцию двухтактного карбюраторного двигателя.
2. Изучить конструкцию и работу пускового устройства.
3. Вычертить принципиальные схемы рабочего цикла, двигателя и пускового устройства, описать их конструкцию и работу.

#### **Система пуска**

Чтобы добиться устойчивого пуска дизеля, нужно раскрутить коленчатый вал с пусковой частотой вращения (для дизелей – 150–350 об/мин).

К системе пуска относятся электрические стартеры и вспомогательные (пусковые) двигатели, а также устройства, облегчающие воспламенение горючего, – пусковые подогреватели, свечи накаливания – и устройства, разогревающие двигатель и масло для уменьшения усилия прокручивания коленчатого вала.

Для пуска дизелей гусеничных тракторов в основном применяют пусковые двигатели, которые по сравнению с электрическим стартером более надежны при пуске в зимнее время. Пусковые двигатели – карбюраторные, чаще всего одноцилиндровые, работающие по двухтактному циклу, с кривошипной продувкой.

## Рабочий цикл двухтактного карбюраторного двигателя с кривошипной продувкой

В двигателях с кривошипной продувкой (рисунки 4.1, 4.2) нет клапанов. Впуск горючей смеси и выпуск отработавших газов происходит при периодическом открытии поршнем специальных окон в стенках цилиндра: впускных *Вп*, выпускных *Вып* и продувочных *Пр*. Цилиндр герметически соединен с полостью *КК*, где вращается коленчатый вал. Эту полость называют кривошипной камерой (*КК*). Нижняя полость цилиндра вместе с кривошипной камерой и поршнем представляет собой насос, засасывающий горючую смесь, состоящую из мелко распыленного бензина и воздуха, и перекачивающий ее в цилиндр.

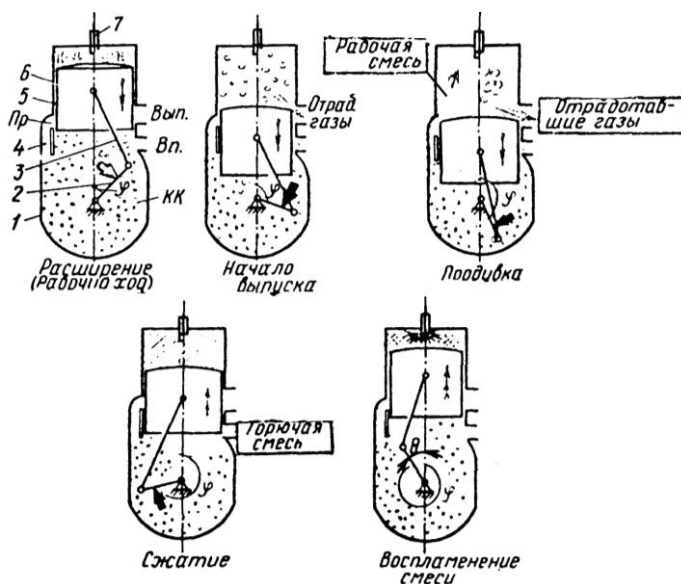


Рисунок 4.1 – Рабочий цикл двухтактного карбюраторного двигателя с кривошипной камерой:

1 – картер; 2 – коленчатый вал; 3 – шатун; 4 – продувочный канал; 5 – поршень; 6 – цилиндр; 7 – искровая свеча зажигания; *Вып* – выпускное окно; *Вп* – впускное окно; *КК* – кривошипная камера; *Пр* – продувочное окно;  $\alpha$  – угол поворота кривошипа;  $\beta$  – угол отклонения кривошипа



**Первый такт.** Начнем рассматривать работу с положения поршня в ВМТ. В камере сгорания рабочая смесь (горючая смесь + остаточные газы) сжата до давления 0,9–1,5 МПа, впускное окно *Вп* открыто, продувочное окно *Пр* закрыто поршнем, в кривошипной камере *КК* уже имеется горючая смесь (воздух + распыленное топливо). Топливо в камере сгорания воспламеняется электрической искрой, создаваемой на электродах искровой свечи 7 зажигания. Тепло разогревает газы в цилиндре до температуры 2130–2530 °С, в результате чего давление в камере сгорания повышается до 2,5–4 МПа. Под действием силы давления газов поршень 5 движется к НМТ и через шатун 3 вращает коленчатый вал 2 – совершается работа (рабочий ход).

При движении вниз поршень перекрывает впускное окно *Вп* и сжимает горючую смесь в кривошипной камере *КК*. Как только поршень откроет выпускное окно *Вып*, то под действием перепада давления в цилиндре (0,4–0,6 МПа) и атмосфере отработавшие газы с большой скоростью начнут выходить из цилиндра – совершается **процесс выпуска**. Затем поршень открывает продувочное окно *Пр*, и горючая смесь, сжатая в *КК*, через него поступает в цилиндр, вытесняет отработавшие газы и заполняет цилиндр. Этот процесс одновременной очистки цилиндра от отработавших газов и заполнения его свежим зарядом называют *продувкой*.

Поршень прошел один ход – коленчатый вал повернулся на пол-оборота.

**Второй такт.** Впускное окно *Вп* закрыто поршнем, продувочное окно *Пр* и выпускное окно *Вып* открыты. При движении от НМТ к ВМТ поршень последовательно перекрывает сначала продувочное окно *Пр* (заканчивается продувка), затем выпускное окно *Вып* (заканчивается выпуск), и над поршнем начинается сжатие рабочей смеси. В это же время в кривошипной камере создается разрежение, и, когда открывается впускное окно *Вп*, в камеру засасывается свежая порция горючей смеси. При подходе поршня к ВМТ вновь подается искра, и цикл повторяется.

Двухтактный цикл совершается за два хода поршня, что соответствует одному обороту коленчатого вала.

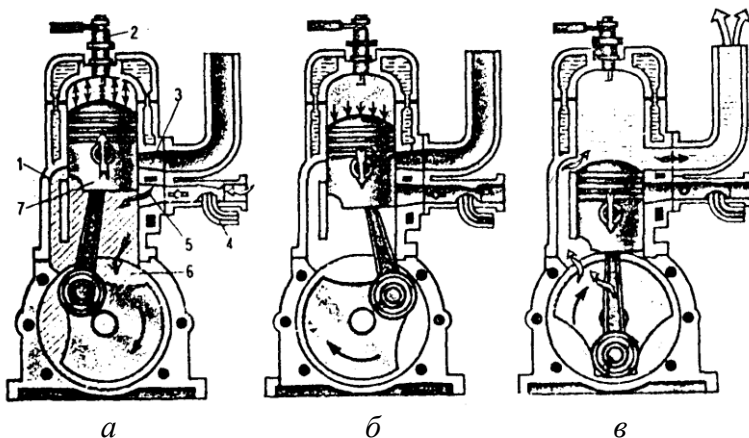


Рисунок 4.2 – Схема рабочего процесса двухтактного карбюраторного двигателя:  
*а* – сжатие: 1 – продувочное окно; 2 – свеча; 3 – выпускное окно; 4 – карбюратор;  
 5 – впускное окно; 6 – кривошипная камера; 7 – поршень;  
*б* – рабочий ход; *в* – выпуск и продувка

### Устройство пусковых двигателей

Техническая характеристика пусковых двигателей ПД-10УД и ПД-350 представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Техническая характеристика пусковых двигателей

| Параметры и показатели двигателя                  | ПД-10УД         | ПД-350 |
|---|-----------------|--------|
| Номинальная мощность, кВт                         | 8,5             | 9,9    |
| Частота вращения при номинальной мощности, об/мин | 3500            | 4000   |
| Степень сжатия                                    | 7,3             | 7,5    |
| Система охлаждения                                | Жидкостная      |        |
| Система зажигания                                 | Магнето М 124Б2 |        |
| Карбюратор  | 11.1107         |        |
| Стартер   | СТ-362          |        |
| Аккумуляторная батарея                            | 6СТ-50 ЭМС      |        |

*Остов двигателя.* На картере 24 (рисунок 4.3) болтами закреплен цилиндр 4, на верхнюю плоскость которого установлены прокладка и головка 6 цилиндра. В цилиндре проделано впускное окно *Вп*, выпускное окно *Вып*, продувочные окна *Пр* и каналы 14, соединяющие полость цилиндра с полостью кривошипной камеры. В головку вворачивают искровую свечу 8 зажигания и заливной краник 7. Для охлаждения вокруг цилиндра имеется водяная рубашка.

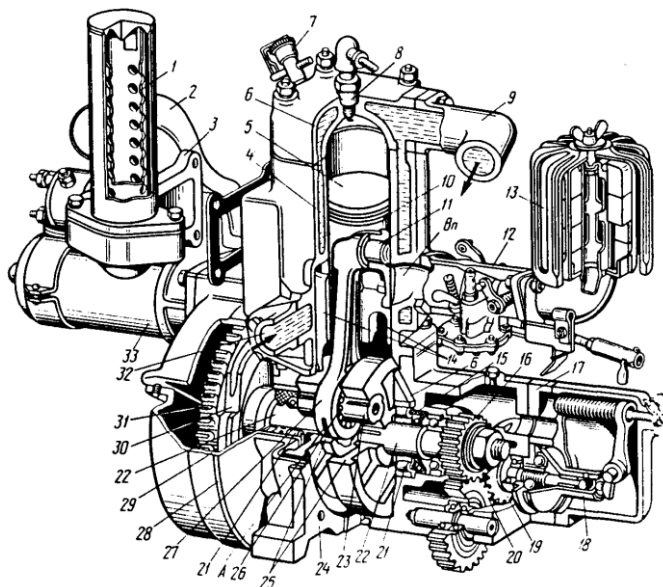


Рисунок 4.3 – Пусковой двигатель ПД-10УД:

- 1 – глушитель; 2 – выпускной коллектор; 3 – выпускная труба; 4 – цилиндр; 5 – поршень; 6 – головка цилиндра; 7 – заливной краник; 8 – искровая свеча зажигания; 9, 32 – патрубки; 10 – кольца; 11 – палец; 12 – карбюратор; 13 – воздухоочиститель; 14 – продувочный канал; 15 – самоподжимная манжета; 16, 19, 20 – шестерни (ведущая, регулятора, промежуточная); 17 – корпус регулятора; 18 – регулятор; 21 – подшипник; 22 – коленчатый вал; 23 – палец (шатунная шейка); 24 – картер; 25 – щека (противовес); 26 – шатунный подшипник; 27 – шатун; 28 – корпус; 29 – кожух; 30 – желоб маховика; 31 – венец маховика; 33 – стартер; А – прорезь; Б – смазочный канал

*Кривошипно-шатунный механизм.* Алюминиевый поршень 5 имеет выпуклое днище. Поршневые кольца 10 стопорятся от проворачива-

вания специальными штифтами, а поршневой палец 11 – заглушками. Это сделано для того, чтобы окна не открывались через отверстие пальца, тем самым не нарушался рабочий процесс двигателя и кольца не ломались бы о кромки окон, т. к. поршень в этом двигателе действует как золотник механизма газораспределения.

В соединении нижней головки шатуна 27 с коленчатым валом 22 установлен подшипник 26 игольчатого типа. Коленчатый вал сборный. Шатунная шейка 23 и коренные шейки впрессованы в щеки, на которых сделаны утолщения – противовесы. Коленчатый вал вращается на подшипниках качения. На одном конце вала установлен маховик с желобом 30 для пускового шнура на ободке и зубчатым венцом 31 соединения с шестерней стартера 33. На другом конце вала установлена шестерня 16, от которой вращение передается на шестерни 19 и 20 редуктора пускового двигателя, привода магнето и регулятора.

*Система питания* состоит из топливного бака, фильтра топливopпровода, карбюратора 12 с воздухоочистителем 13.

Специальной *смазочной системы* нет, поэтому моторное масло добавляют прямо в топливо в соотношении 1:15.

*Карбюратор К-06 (11.1107)* – это устройство для приготовления горючей смеси. Он имеет трубчатый корпус 1 (рисунок 4.4) с плавным сужением внутри – диффузором Д. В диффузоре установлен распылитель б, внутри него просверлено калиброванное отверстие – главный жиклер. При перепаде давления в атмосфере и цилиндре во время впуска воздух с большой скоростью (до 100 м/с) проходит мимо распылителя, подхватывает и дробит вытекающее из распылителя и частично испаряющееся топливо. Приготовленная горючая смесь поступает в кривошипную камеру.

**Пуск двигателя:** воздушная заслонка 8 прикрыта, дроссельная 2 – приоткрыта. Воздуха поступает мало, разрежение в цилиндре передается на главный жиклер, топлива идет много, смесь получается богатая.

**Холостой ход:** воздушную заслонку открывают, дроссельную прикрывают. Главный жиклер выключен из работы дроссельной заслонкой. Разрежение передается на систему холостого хода. Топливозоудушная смесь поступает в двигатель через отверстие после дроссельной заслонки.

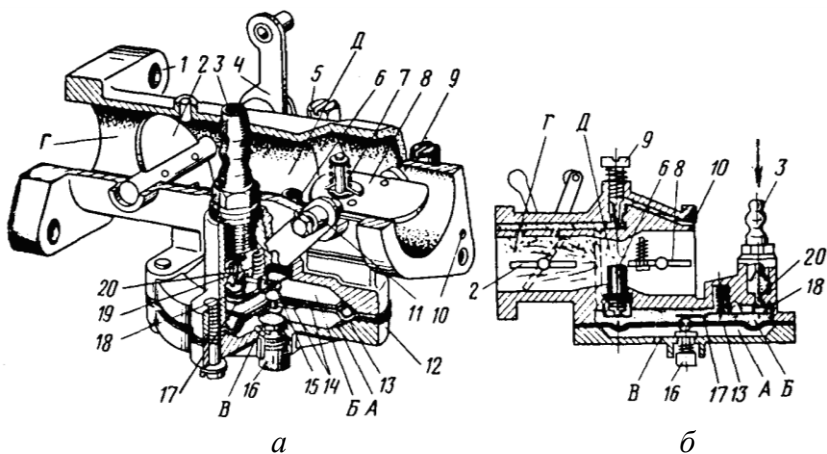


Рисунок 4.4 – Карбюратор К-06 (11.1107):

*а* – общий вид; *б* – схема работы:

- 1 – корпус; 2 – дроссельная заслонка; 3 – штуцер подвода топлива; 4 – рычаг управления дроссельной заслонкой; 5 – винт регулировки дроссельной заслонки; 6 – распылитель; 7 – клапан воздушной заслонки; 8 – воздушная заслонка; 9 – регулировочный винт холостого хода; 10 – воздушный жиклер; 11 – ось; 12 – крышка диафрагмы; 13 – диафрагма; 14 – накладки; 15 – ось клапана; 16 – утопитель; 17 – рычаг клапана; 18 – клапан; 19 – пружина клапана; 20 – жиклер; А, Б – полости под диафрагмой и над ней; В – отверстие; Г – задроссельная полость; Д – диффузор

**Рабочий режим:** воздушную заслонку открывают, дроссельную заслонку открывают в зависимости от нагрузки на двигатель: чем больше она открыта, тем больше смеси идет в двигатель и тем больше его мощность.

Перед поступлением в карбюратор воздух проходит через воздухоочиститель, где фильтруется через элементы из поролона.

Пуск двигателя производится с помощью электростартера. В случае выхода из строя электропуска снимают кожух маховика и пускают двигатель ручным способом (шнуром).

Система зажигания состоит из магнето 15 (рисунок 4.5), искровой свечи 8 зажигания и провода высокого напряжения.

Магнето – это прибор для получения переменного электрического тока и преобразования его в импульсы высокого напряжения.

При размыкании контактов магнитное поле первичной обмотки резко сокращается и с большой скоростью пересекает витки вторичной обмотки трансформатора, наводя в ней импульс тока напряжением 18–20 кВ.

В момент размыкания контактов прерывателя в первичной обмотке наводится вызывающая искрение между контактами ЭДС самоиндукции. Подключенный параллельно контактам конденсатор 2 заряжаясь, предотвращает искрение, а затем после размыкания контактов, разряжаясь, несколько продлевает искровой разряд на свече, что способствует лучшему зажиганию смеси.

Кнопкой 9 в случае необходимости соединяют первичную обмотку с «массой» и выключают зажигание. Провод высокого напряжения крепится в гнезде В. Здесь же расположен искровой предохранитель.

Искровая свеча зажигания служит для воспламенения смеси высоковольтным искровым разрядом. Воздушный промежуток между электродами (0,6–1 мм) пробивается при напряжении 18–20 кВ. Свеча состоит из корпуса 16 (рисунок 4.5, в), центрального 18 и бокового 19 электродов, разделенных изолятором.

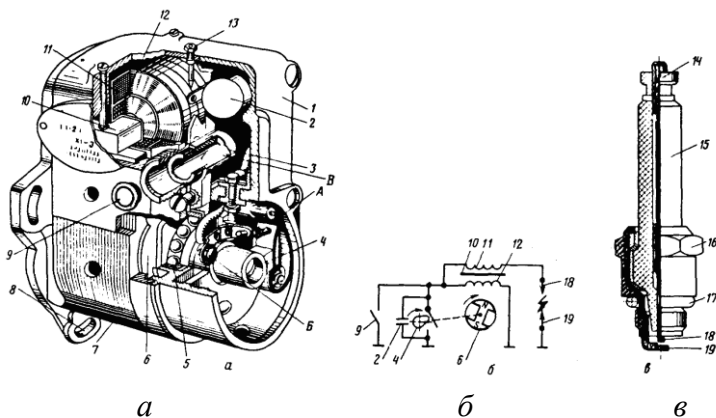


Рисунок 4.5 – Магнето и искровая свеча зажигания:

- а – магнето; б – электрическая схема зажигания; в – искровая свеча зажигания:  
 1 – корпус магнето; 2 – конденсатор; 3 – патрон высоковольтного провода;  
 4 – кулачок; 5 – подшипник; 6 – ротор; 7 – статор; 8 – отверстия крепления магнето; 9 – кнопка выключения зажигания; 10 – сердечник трансформатора;  
 11 – вторичная обмотка; 12 – первичная обмотка; 13 – искровой предохранитель;  
 14 – гайка крепления провода; 15 – изолятор; 16 – корпус; 17 – медное кольцо;  
 18 – центральный электрод; 19 – боковой электрод; А – прерыватель;  
 В – регулировочный винт; В – гнездо провода высокого напряжения

*Система охлаждения* – жидкостная термосифонная, соединенная с системой охлаждения основного двигателя.

Запуск дизельного двигателя трактора осуществляется пусковым устройством, схематически представленным на рисунке 4.6. Пусковое устройство включает пусковой двигатель, редуктор, муфту сцепления и автомат выключения. От коленчатого вала 1 пускового двигателя вращение передается посредством шестерен редуктора 2, 3, 4 на полумуфты 5 и 6 сцепления (полумуфты 5 и 6 вводятся в зацепление рычагом 10). Пусковая шестерня 8 рычагом 9 вводится в зацепление с зубчатым венцом 7 маховика, закрепленного на коленчатом валу дизельного двигателя. Шестерня 8 выводится из зацепления специальным автоматом. Для предохранения пускового двигателя от разноса при запуске двигателя служит муфта свободного хода, которая выключает муфту сцепления пускового двигателя.

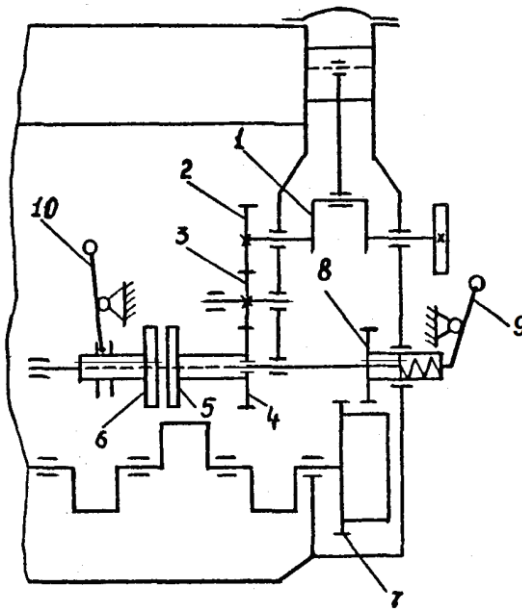


Рисунок 4.6 – Схема пускового устройства:

1 – коленчатый вал пускового двигателя; 2, 3, 4 – шестерни редуктора; 5, 6 – диски сцепления; 7 – зубчатый маховик; 8 – пусковая шестерня; 9 – рычаг включения шестерни; 10 – рычаг включения муфты сцепления

**Для запуска** следует открыть кран подачи топлива пускового двигателя, а воздушную заслонку слегка приоткрыть рукояткой, подключить аккумуляторную батарею к стартеру нажатием кнопки массы, а затем повернуть рычаг включения стартера и запустить двигатель. Обычно число попыток включения стартера при исправном пусковом двигателе – 3–4.

Вал пускового двигателя прокручивают в течение 5 секунд с перерывом 30–40 секунд. Когда пусковой двигатель наберет обороты, воздушная заслонка полностью открывается. Затем приступают к запуску дизельного двигателя, для этого пусковую шестерню 8 рычагом 9 дизельного двигателя (см. рисунок 4.6) вводят в зацепление с маховиком, затем включают муфту сцепления 10. Дизельный двигатель следует прогреть до температуры воды 40–50 °С.

**После запуска** дизельного двигателя выключают муфту сцепления пускового устройства и останавливают пусковой двигатель, для чего закрывают воздушную заслонку или нажимают кнопку выключения магнето.



## Лабораторная работа № 5

### ИЗУЧЕНИЕ МУФТ СЦЕПЛЕНИЯ

**Оборудование и наглядные пособия:** натурный образец муфты сцепления; плакаты с изображением устройства муфты сцепления.

#### **Задание:**

1. Изучить принцип действия и классификацию сцеплений.
2. Изучить конструкции, работу, эксплуатацию и основные неисправности муфт сцепления.
3. Вычертить схему однодискового сухого постоянно замкнутого сцепления, описать его конструкцию и работу.

#### **Принцип действия и классификация сцеплений**

Сцепление служит для передачи крутящего момента, быстрого разъединения и плавного соединения двигателя с трансмиссией. Сцепление также предохраняет двигатель и детали трансмиссии от перегрузок.

**Сцепления по виду передачи энергии** бывают механические фрикционные, гидравлические, электрические, электромагнитные и др. На гусеничных тракторах применяются механические фрикционные сцепления.

Если взять два диска и сжать их с силой  $P$ , за счет возникающих сил трения диски передадут крутящий момент. Если снять сжимающую силу, то силы трения исчезнут, и диски не смогут передавать крутящий момент. Таким образом, значение крутящего момента, передаваемого дисками, зависит от их площади, коэффициента трения материала и силы сжатия дисков. В случае возникновения сопротивления на выходном валу большего, чем момент, который могут передавать диски, они пробуксовывают и ограничивают крутящий момент на валах – предохраняют их от перегрузок.

*Механические фрикционные дисковые сцепления* подразделяют на следующие группы:

– по роду трения на *сухие* и *мокрые*. В мокрых сцеплениях диски работают в жидкости (масле), в сухих – без жидкости;

– по числу ведомых дисков на *однодисковые, двухдисковые и многодисковые*;

– по типу нажимного устройства на *постоянно замкнутые* (если нажимной механизм пружинного типа) и *непостоянно замкнутые* (если нажимной механизм рычажного типа или гидроцилиндр);

– *без усилителя* и *с усилителем* в управлении сцеплением. Усилители бывают рычажно-пружинные (сервомеханизмы), гидравлические, пневматические и т. д.;

– по назначению на *главные* и *дополнительные*. Главным называется сцепление, передающее крутящий момент от двигателя на ходовую часть. Сцепления, установленные в коробке передач, на валу отбора мощности (ВОМ), и другие – дополнительные (или специальные).

**Однодисковое сухое постоянно замкнутое сцепление** (рисунок 5.1, *a*) устанавливают на маховике 1. К ведущей части сцепления относится маховик 1, кожух 12 и соединенный с ним шпонками нажимной диск 3. Ведомая часть состоит из ведомого диска 2 и вала 5. Ведомый и нажимной диск прижимаются к маховику пружинами 4, упирающимися в кожух 12. Суммарная сила пружин (от 9 до 19 штук) – до 8–10 кН. Диски разъединяются механизмом управления. В него входят: педаль 9, тяга 10, рычаг управления 11, выжимная муфта (подшипник) 8, выжимные рычаги 7, закрепленные шарнирно на стойках, и тяги 6, соединенные с нажимным диском 3. При отпущенной педали 9 пружины сжимают диски – сцепление замкнуто и передает крутящий момент. При нажатии на педаль выжимная муфта поворачивает выжимные рычаги 7, которые через тяги 6 оттягивают нажимной диск 3 от маховика и ведомого диска 2, исключая силу действия пружин 4, – сцепление разомкнуто. Стоит отпустить педаль – диски замыкаются.

При износе трущихся поверхностей дисков внутренние концы выжимных рычагов 7 будут приближаться к выжимной муфте 8 и могут упереться в него. Это уменьшит силу сжатия дисков, вызовет их пробуксовку. Упорный подшипник, установленный в муфте 8, будет постоянно вращаться и быстро выйдет из строя. Для предотвращения этого явления между концами выжимных рычагов и торцом выжимного подшипника выдерживают зазор *A*. Регулируют этот зазор изменением длины тяги 10. Зазор проверяют по свободному ходу педали (перемещение педали без особого усилия должно составлять 30–40 мм, что соответствует перемещению выжимного подшипника на 2–4 мм).

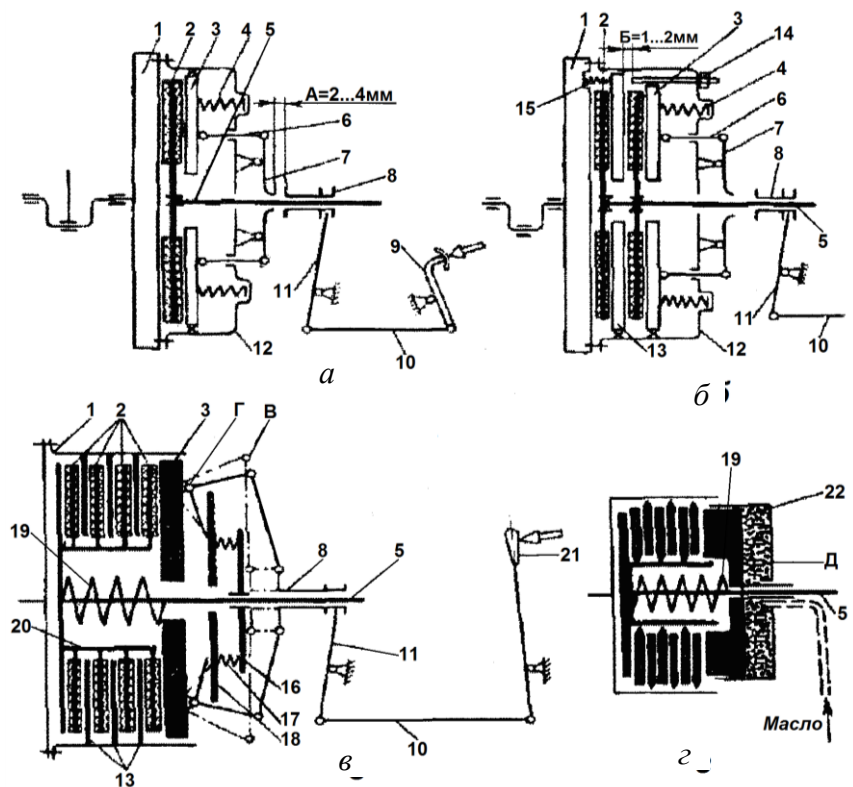


Рисунок 5.1 – Схемы сцеплений:

*а* – однодисковое постоянно замкнутое; *б* – двухдисковое постоянно замкнутое;  
*в* – многодисковое сухое непостоянно замкнутое; *г* – многодисковое мокрое  
с гидроуправлением:

1 – маховик; 2 – ведомый диск; 3 – нажимной диск;

4 – нажимная пружина; 5 – вал; 6, 10 – тяги; 7 – выжимной рычаг; 8 – выжимная муфта; 9 – педаль; 11, 21 – рычаги управления; 12 – кожух; 13 – промежуточный ведущий диск; 14 – ограничительный винт; 15, 19 – отжимные пружины;

16 – опорный диск; 17 – компенсационная пружина; 18 – упорный диск;

20 – ведомый барабан; 22 – поршень; *A* – зазор между выжимными рычагами и выжимным подшипником; *B* – зазор между ограничительным винтом и ведущим диском; *B* – положение рычажной системы при максимальном нажатии («мертвое» положение); *Г* – шарнир; *Д* – нажимной цилиндр

Стальной ведомый диск со ступицей соединен через пружины-гасители крутильных колебаний и одновременно демпферы от резких нагрузок в момент трогания трактора с места. Для затормаживания ведомых частей сцепления при разомкнутых дисках служит тормозок.

**Двухдисковое сухое постоянно замкнутое сцепление** устанавливают на тракторах с мощными двигателями, когда одного ведомого диска мало для передачи большого крутящего момента. Отличие от однодискового сцепления в том, что пружины 4, упираясь в кожух 12, нажимным диском 3 прижимают к маховику два ведомых диска 2 и установленный между ними ведущий диск 13. Диски сцепления разъединяются при нажатии выжимной муфты 8 на концы выжимных рычагов 7, которые через тяги 6 отводят нажимной диск 3, исключая силы действия пружин 4.

Возможные перекосы и заклинивание дисков 2 и 13 на валу могут привести к неполному включению сцепления (сцепление «ведет»). Чтобы этого не произошло, ведущий диск 13 от маховика отжимается пружинами 15, а его перемещение вправо ограничивается винтом 14. Регулировки двухдискового сцепления аналогичны регулировкам однодискового сцепления. Добавляется только регулировка ограничительного винта 14. Ведомые диски имеют по восемь пружинных гасителей крутильных колебаний, промежуточный диск центрируется с двух сторон отжимными пружинами. Двадцать нажимных пружин находятся под кожухом.

Управляют сцеплением через четыре выжимных рычага, на концах которых установлено упорное медно-графитовое кольцо. Воздействие от педали на рычаг выжимного подшипника передается через пружинный сервомеханизм.

**Многодисковые сцепления** чаще всего бывают мокрыми и непостоянно замкнутыми. Их устанавливают в редукторе пускового двигателя в коробках передач, приводе ВОМ и др.

На ведущем барабане (см. рисунок 5.1, в) установлены ведущие диски 13. Между ними установлены ведомые диски 2, соединенные шлицами с ведомым барабаном 20.

Пакет дисков сжимают рычажным механизмом. При движении влево выжимного подшипника 8 двулучий рычаг В поворачивается и, упираясь в упорный диск 18, перемещает вместе с шарниром Г нажимной диск 3. Максимальное перемещение и сжатие дисков будет, когда серьги установятся перпендикулярно валу – «мертвое» положение.

Пружина 19 служит для быстрого разъединения дисков при снятии сил их сжатия. Компенсационные пружины 17 обеспечивают более мягкое включение сцепления и компенсацию износа дисков.

Чтобы сцепление не размыкалось само, механизм немного переводят дальше через «мертвое» положение. При этом на рычаге чувствуется характерный щелчок.

Пакет дисков может сжиматься механически или за счет давления масла на поршень 22 гидроцилиндра *D* (рисунок 5.1, *з*). Подобные сцепления называют фрикционными **с гидроуправлением**, или **с гидropоджимом**. По характеру своего действия они будут непостоянно замкнутыми. Сцепление с гидроуправлением не требует регулировок, однако оно чувствительно к давлению в полости цилиндра *D* и к подаче масла, охлаждающего диски.

**Эксплуатация муфты сцепления.** Во время работы двигателя нельзя держать ногу на педали сцепления (это может привести к быстрому износу деталей), выжимать педаль нужно быстро, отпускать плавно, не допуская длительной работы сцепления на полувыжатой муфте.

При скрежете шестерен в коробке при переключении передач (сцепление «ведет») регулируют зазор между выжимными рычагами и выжимным подшипником.

Трогание трактора рывками чаще всего происходит при резком отпуске педали.

Если трактор плохо «тянет» и при этом чувствуется специфический запах, это значит, что диски неправильно отрегулированы или замаслены. Замасленные диски промывают бензином.

## Лабораторная работа № 6

### ИЗУЧЕНИЕ КОРОБОК ПЕРЕДАЧ АВТОМОБИЛЕЙ И ТРАКТОРОВ

**Оборудование и наглядные пособия:** натурный образец коробки передач; плакаты с изображением устройства механизма переключения передач, коробки передач ступенчатой, с шестернями постоянного зацепления и гидротрансформатора.

#### **Задание:**

1. Изучить принцип действия и классификацию коробок передач.
2. Изучить устройство и работу ступенчатых, гидромеханических, составных коробок передач, коробок передач с шестернями постоянно-го зацепления и механизма переключения передач трактора.
3. Вычертить кинематические схемы коробок передач и описать их конструкцию и работу.

#### **Общие сведения**

Коробка передач автомобиля (трактора) служит для изменения крутящего момента по величине и направлению на ведущих колесах (звездочках), а также для отсоединения работающего двигателя от силовой передачи во время стоянки машины или движения ее по инерции.

Наиболее распространены на отечественных автомобилях и тракторах ступенчатые механические коробки передач.

Ступенчатые коробки передач состоят из набора шестерен, которые входят в зацепление друг с другом в различных сочетаниях, образуя несколько передач (ступеней) с различными передаточными числами. К ступенчатым коробкам передач предъявляются следующие **требования**: высокий КПД, небольшие размеры и масса, удобство и легкость в управлении, простота и доступность в обслуживании, бесшумность в работе.

Большое разнообразие условий работы и технологических процессов, выполняемых автомобилем и трактором, требует наличия достаточного числа передач, при которых машина работает с наибольшей производительностью и в наиболее экономичном режиме. Поэтому автомобильные коробки передач обычно имеют 3–

5, а тракторные – 8–16 ступеней переднего хода. Кроме того, в коробках передач предусматриваются передачи заднего хода: у автомобилей – одна, у тракторов – до шести и более. Большое число ступеней тракторных коробок передач (по сравнению с автомобильными) объясняется значительным разнообразием условий работы и технологических процессов трактора.

Ступенчатые коробки передач классифицируются по перечисленным ниже основным признакам.

**По кинематической схеме** делятся на *двухвальные, трехвальные, четырехвальные* и *составные*. На автомобилях обычно устанавливают трехвальные коробки передач, на тракторах – составные.

**По типу зубчатой передачи** – на коробки с *неподвижными осями валов* (простые) и коробки с *вращающимися осями валов* (планетарные). Простые коробки передач проще и дешевле в изготовлении, они получили преимущественное распространение на автомобилях и тракторах. Планетарные коробки передач применяются в сочетании с гидротрансформатором в комбинированных трансмиссиях.

**По способу зацепления шестерен** коробки бывают с *подвижными шестернями* и с *постоянным зацеплением шестерен*. В автомобилях применяются коробки с обоими типами зацепления шестерен, на тракторах – коробки с подвижными шестернями.

**По методу переключения передач** различают коробки с переключением передач на ходу машины (*под нагрузкой*) и коробки с переключением передач при остановке машины (*без нагрузки*). Первый тип коробок применяется на автомобилях и тракторах, второй – только на тракторах. Переключение передач производится при подвижных шестернях (каретках) специальным механизмом управления, а при постоянном зацеплении шестерен – кулачковыми или зубчатыми муфтами.

**По числу передвижных элементов** (кареток или муфт) коробки подразделяются на *двух-* и *трехходовые*.

### Ступенчатые коробки передач

Коробка передач трактора ДТ-75М (рисунок 6.1) – четырехвальная, четырехходовая, с переключением передач скользящими шестернями, обеспечивает семь передач вперед и одну заднего хода.

Первые четыре передачи (основные) передают момент через одну пару шестерен, соединяя первичный вал 1 со вторичным 19.

V, VI и VII передачи достигаются включением трех пар шестерен при использовании всех четырех валов через пары шестерен постоянного зацепления 2 и 29, 29 и 28, затем со второго промежуточного на вторичный 19 включением пар 27 и 24 (V передача), 26 и 23 (VI передача), 25 и 21 (VII передача). Задняя передача получается включением двух пар шестерен – через пару постоянного зацепления 2 и 29 и с первого промежуточного вала на вторичный включением пары 30 и 22.

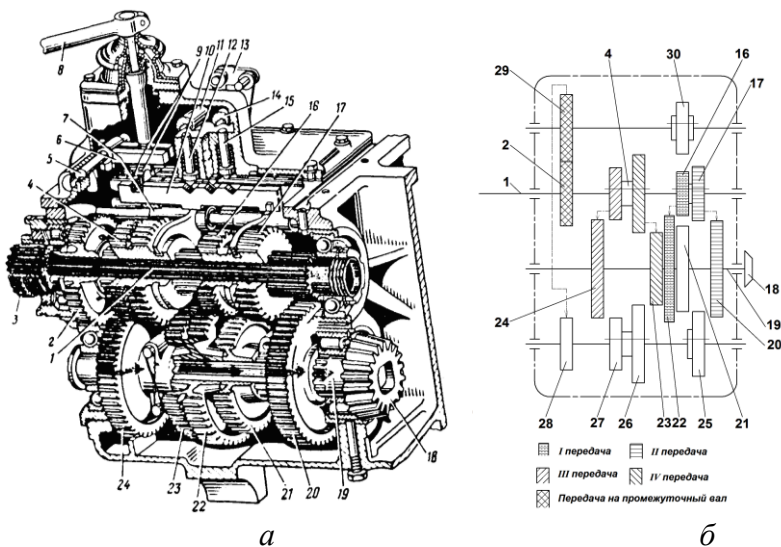


Рисунок 6.1 – Коробка передач трактора ДТ-75М:

*а* – коробка передач (без промежуточных валов); *б* – кинематическая схема:  
 1 – первичный вал; 2 – шестерня постоянного зацепления; 3 – зубчатая муфта; 4 – каретка III и IV передачи; 5 – валик; 6 – направляющая вилка; 7 – валик переключения; 8 – рычаг переключения; 9 – разделительные планки; 10 – планка переключения; 11, 14 – валики блокировки; 12, 15 – фиксаторы; 13 – упор; 16 – шестерня I передачи; 17 – шестерня II передачи; 18 – ведущая шестерня главной передачи; 19 – вторичный вал; 20, 22, 23, 24 – ведомые шестерни II, I, IV и III передач; 21 – ведомая шестерня VII передачи; 25 – шестерня VII передачи; 26, 27 – шестерни VI и V передач; 28, 29 – шестерни постоянного зацепления второго и первого промежуточных валов; 30 – шестерня заднего хода



Все валы установлены на роликовых и шариковых подшипниках. Вторичный вал выполнен заодно с шестерней 18 главной передачи. Все валы шлицованы. Шестерни на вторичном валу закреплены хомутами неподвижно.

Управление коробкой передач осуществляется **механизмом переключения**. Механизм переключения смонтирован в крышке коробки. С его помощью обеспечивается включение шестерен на полную длину зуба, предотвращается одновременное включение двух или более передач и самовключение передачи при работе автомобиля.

**Механизм переключения передач автомобиля** (рисунок 6.2) состоит из рычага 1 переключения передач, трех ползунов 4, вилок переключения, фиксаторов 6, 7, 9, замочного устройства, состоящего из штифта 8 и двух пар шариков 10 и 11, и предохранителя включения заднего хода 5. Шаровая опора 2 рычага входит в сферическое гнездо крышки 3 и закрепляется пружиной и штифтом. При наклоне рычага вправо или влево его нижний конец входит в пазы вилок переключения, установленных на ползунах. Наклон рычага вперед или назад вызывает перемещение ползуна в противоположную сторону, поэтому вилка передвигает шестерню или муфту, включая одну из передач.

Точность установки шестерен при включении или выключении передач обеспечивается с помощью фиксаторов 6, 7 и 9, состоящих из шариков и пружин, расположенных вертикально в приливах крышки картера коробки передач. Шарик входит в углубления ползунов 4. На каждом ползуне есть три углубления: крайние – для соответствующих передач, а среднее – для нейтрального положения. Предотвращение возможности одновременного включения двух передач достигается установкой замочного устройства. Когда один из ползунов перемещается, два других запираются шариками, входящими в боковые выемки ползунов. Для предотвращения случайного включения заднего хода или первой передачи применяют специальный упор 5. Переместить ползун в положение, соответствующее включению первой передачи или передачи заднего хода, можно только затратив дополнительное усилие на отжатие пружины упора 5.

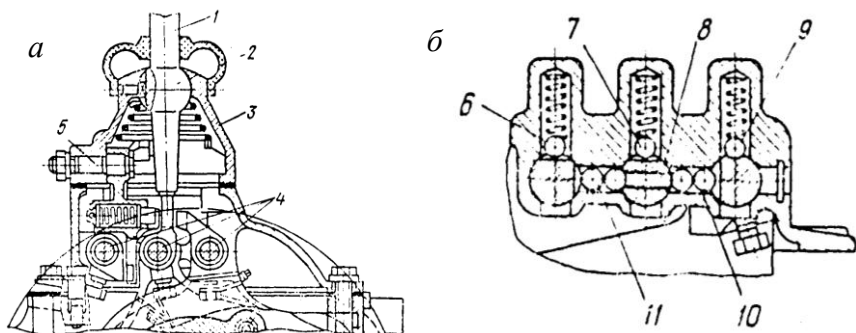


Рисунок 6.2 – Механизм переключения передач автомобиля:  
*а* – поперечное сечение; *б* – устройство фиксации

На тракторах применяются механизмы переключения передач с качающимися рычагами. Рычаг *3* (рисунок 6.3) шаровой опорой *4* крепится в крышке *5* коробки передач. Нижний конец *16* рычага входит в паз ползуна *11*, на котором укреплена вилка *12*. При перемещении рычага *3* вперед или назад ползун *11* перемещает вилку *12* вместе с подвижной шестерней *13*, установленной на валу *14*, вследствие чего включается или выключается соответствующая передача.

Для предотвращения самопроизвольного включения или выключения шестерен и обеспечения зацепления шестерен по всей длине зуба в механизме управления коробкой передач имеются фиксаторы *15*. При включении передачи фиксаторы входят в один из пазов *10* ползуна и удерживаются в нем пружиной *9*. Для вывода ползуна *11* и шестерни *13* из фиксированного положения водителю необходимо приложить усилие к рычагу *3*. Для предотвращения одновременного включения двух передач в качестве замка применяется пластина *17* с фигурными вырезами, которые ограничивают перемещение рычага *3*.

Чтобы переключение передач при включенном или не полностью выключенном постоянно замкнутом сцеплении было невозможным, коробка передач имеет **блокировочное устройство**, соединенное с педалью управления муфтой сцепления. При этом тяга *2* связывает педаль *1* с рычагом *6*, жестко закрепленным на блокировочном валике *7*. При включенной муфте сцепления верхняя часть стержня *8* фиксатора

упирается в цилиндрическую поверхность валика 7, а нижняя находится в одном из пазов ползуна 11, обеспечивая его неподвижное положение. При нажатии на педаль 1 сцепления тяга 2 и рычаг 6 поворачивают валик 7 на определенный угол, и паз 18 оказывается над стержнем фиксатора 15. При переключении передачи фиксатор 15 входит в паз 18 и освобождает ползун, обеспечивая переключение передачи.

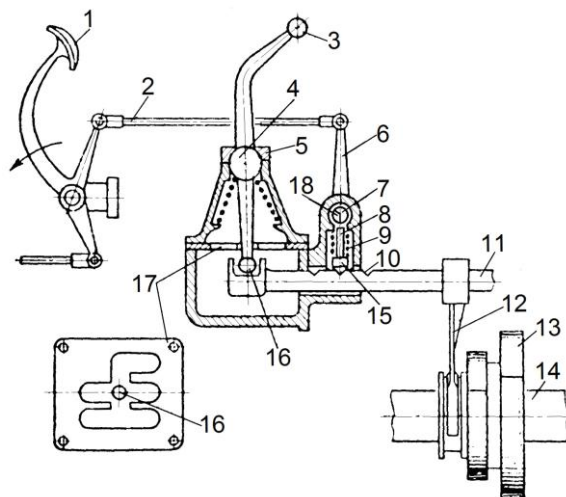


Рисунок 6.3 – Механизм переключения передач трактора

### Гидромеханические коробки передач

Гидромеханические коробки передач состоят из двух основных частей: гидродинамической бесступенчатой передачи (гидротрансформатора) и последовательно соединенной с ней двух- или трехступенчатой вальной или планетарной коробки передач. Управление коробками передач автоматическое (гидравлическое или электрическое).

Гидромеханические коробки передач должны обеспечивать широкий диапазон передаточных чисел, минимальный расход топлива по сравнению со ступенчатыми коробками передач, небольшую удельную массу, долговечность, возможность запуска машины при отрицательных температурах, удобство обслуживания.

Гидротрансформатор (рисунок 6.4) установлен перед коробкой после промежуточной передачи и представляет собой бесступенчатую коробку передач. В корпусе установлены три лопатных колеса: насосное  $H$ , турбинное  $T$  и реакторное  $P$ .

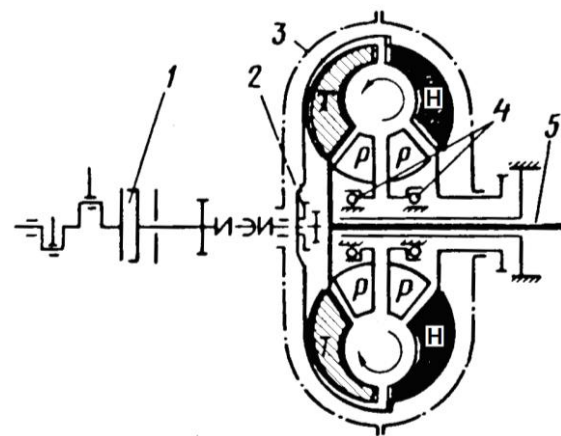


Рисунок 6.4 – Схема гидротрансформатора:

$H, T, P$  – насосное, турбинное и реакторное колеса; 1 – сцепление; 2 – зубчатая муфта; 3 – гидротрансформатор; 4 – обгонная муфта; 5 – вал коробки передач

Зазор между колесами – 1–2 мм. Полость между колесами заполнена моторным маслом. Насосное колесо соединено с входным валом, турбинное – с выходным 5, а реакторное установлено на муфте свободного хода и на основном рабочем режиме неподвижно.

Во время работы масло, находящееся между колесами, разгоняется насосным колесом  $H$  и направляется на лопатки турбинного колеса  $T$ . Скоростной напор масла давит на них, заставляет вращаться турбинное колесо  $T$  – происходит передача вращения через гидротрансформатор. Реакторное колесо  $P$  принимает поток масла с турбинного  $T$  и направляет его на насосное  $H$  – жидкость движется в гидротрансформаторе по кольцу. В зависимости от частоты вращения турбинного колеса  $T$  направление скорости жидкости, выходящей из его лопаток, меняется, соответственно меняется действие на жидкость лопаток реакторного колеса. На основном рабочем режиме реактор повышает значение крутящего момента на турбинном

валу. При увеличении частоты вращения скоростной напор жидкости, выходящей с лопаток турбинного колеса  $T$ , меняет свое направление по отношению к лопаткам реакторного колеса  $P$ . Муфта свободного хода отпускает реакторное колесо, и оно начинает вращаться вместе с турбинным с той же частотой. В гидротрансформаторе как бы остается два колеса – насосное и турбинное. Гидротрансформатор работает в режиме гидромуфты (не изменяя крутящего момента).

Так как частота вращения турбинного колеса зависит от нагрузки на него (от нагрузки на трактор), то соответственно этой нагрузке меняется добавка момента, создаваемого реакторным колесом. Этим объясняется основное свойство гидротрансформатора – автоматическое бесступенчатое изменение значения крутящего момента.

**Устройство гидромеханической передачи** показано на рисунке 6.5. Передача состоит из гидротрансформатора  $A$  и механической двухступенчатой коробки передач  $B$ .

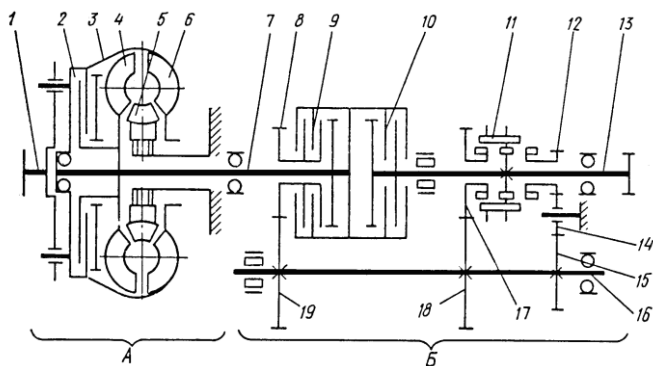


Рисунок 6.5 – Схема гидромеханической передачи

Гидротрансформатор состоит из насосного колеса 6, связанного с ведущим валом 1, турбинного колеса 4, насаженного на первичный вал 7 коробки передач, и направляющего аппарата – реактора 5. В гидротрансформаторе встроено сцепление 2, расположенное между турбинным колесом 4 и корпусом 3, вращающимся совместно с насосным колесом 6. Сцепление 2 предназначено для блокировки (отключения) гидротрансформатора путем жесткого соединения ведущего 1 и ведомого (первичного вала коробки передач) 7 валов. Блокировка гидро-

трансформатора происходит при коэффициенте трансформации  $K_{тр} = 1$  и позволяет повысить среднее значение КПД передачи. На первичном валу 7 коробки передач размещены шестерня 8 и сцепление 9, на промежуточном валу 16 – шестерня 19 привода вала, шестерня 18 переднего хода и шестерня 15 заднего хода; на вторичном валу 13 – сцепление 10, зубчатая муфта 11 и шестерни 17 переднего хода и 12 заднего хода. Управление переключением передач производится фрикционными сцеплениями 9 и 10 и зубчатой муфтой 11.

При трогании машины с места (происходящем на низшей передаче) включают сцепление 9 и передвигают влево муфту 11. Крутящий момент при этом с гидротрансформатора передается через две пары зубчатых колес 8 и 19, 18 и 17 и достигает вторичного вала 13 коробки передач через муфту 11. По мере увеличения скорости движения машины переходят на прямую передачу. Для этого включают сцепление 10 (зубчатую муфту 11 переводят в нейтральное состояние), соединяя первичный 7 вал коробки передач со вторичным 13.

Для получения заднего хода включается сцепление 9 (сцепление 10 выключено), а зубчатая муфта 11 переводится вправо. В этом случае крутящий момент передается через шестерни 8, 19, 15, 14 и 12, в результате чего изменяется направление вращения вторичного вала коробки передач.

### **Составные коробки передач**

Коробки передач большинства современных тракторов – составные, представляющие собой сочетание основной (двух-, трех- или четырехвальной) коробки передач с одним или двумя редукторами для умножения числа ступеней передач. Конструктивно основные тракторные коробки передач сходны с соответствующими автомобильными. Умножительные редукторы могут размещаться как в одном корпусе с коробкой передач, так и в отдельном корпусе. Большинство тракторных коробок передач изготавливаются с подвижными шестернями, в которых передачи переключают специальным механизмом при остановленном тракторе. При этом подвижные шестерни (зубчатые муфты) вводятся в зацепление или выводятся из него с соответствующими неподвижными шестернями.

## Коробки передач с шестернями постоянного зацепления

На современных тракторах все более широкое распространение получают коробки передач с шестернями постоянного зацепления (рисунок 6.6), где передачи переключаются зубчатыми или фрикционными муфтами во время движения машины. Такие коробки передач установлены на тракторах Т-150, Т-150К и К-701.

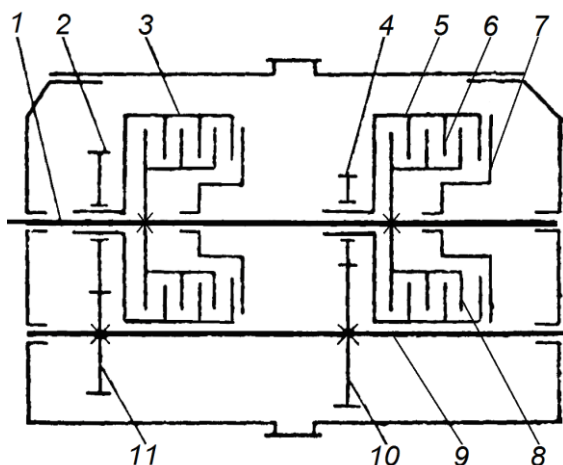


Рисунок 6.6 – Схема коробки передач с шестернями постоянного зацепления

Фрикционные муфты 3 и 5 состоят из ведущих и ведомых барабанов с установленными на них стальными или металлокерамическими дисками трения. Ведущие барабаны с дисками 8 неподвижно закреплены на шлицах первичного вала 1, а на ведомых барабанах, которые свободно вращаются на первичном валу 1, с дисками 6 неподвижно закреплены ведущие шестерни 2 и 4. Эти шестерни находятся в постоянном зацеплении с неподвижно закрепленными на вторичном валу 9 шестернями 10 и 11. Включение и выключение муфт производится нажимным диском 7 с помощью гидравлической системы управления. При движении трактора одна из муфт

включена, а другая выключена. При перемене передачи соответствующая муфта выключается, а другая включается.





## Лабораторная работа № 7

### ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ УПРАВЛЕНИЯ ГУСЕНИЧНЫМИ ТРАКТОРАМИ

**Оборудование и наглядные пособия:** натурный образец рулевой муфты.

#### Задание:

1. Изучить принцип действия и классификацию механизмов управления.
2. Изучить устройство и работу механизмов управления.
3. Вычертить кинематические схемы механизмов управления и описать их конструкцию и работу.

#### Общие сведения

Направление движения гусеничных тракторов изменяется замедлением скорости вращения внутренней по отношению к центру поворота (отстающей) гусеницы. Скорость движения другой (забегающей) гусеницы при этом сохраняется неизменной (рисунок 7.1).

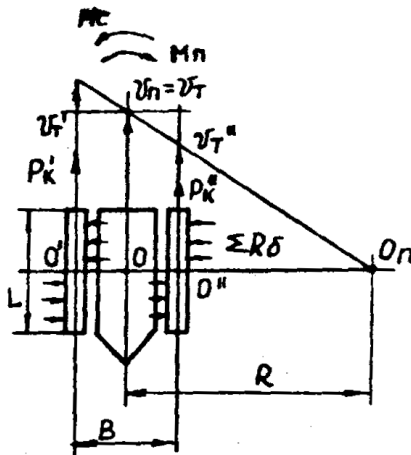


Рисунок 7.1 – Схема кинематики и динамики поворота трактора

Управляют движением гусеничных тракторов с помощью рулевых муфт, планетарных механизмов, а также коробок передач с гидравлическим выключением и двумя ведомыми валами.

**Рулевые муфты** представляют собой многодисковые сухие постоянно замкнутые сцепления, передающие крутящий момент от главной передачи на конечную. Муфты расположены на концах ведущего вала заднего моста.

Рассмотрим такой способ управления движением в гусеничных машинах (рисунок 7.2). В подшипниках 5 заднего моста вращается вал 7, на котором жестко закреплена ведомая шестерня главной передачи, получающая вращение от ведущей шестерни 6. На концах вала 7 закреплены ведущие барабаны 8 рулевых муфт. На барабаны надеты ведущие диски 2, входящие с ними в зацепление, а между ними заложены ведомые диски 3 с зубьями по наружной окружности. Этими зубьями ведомые диски 3 входят в зацепление с ведомыми барабанами 10, надетыми на ведущие барабаны 8. Ведущие и ведомые диски зажаты между нажимным диском 14 и фланцем ведущих барабанов пружинами 11. На ведомых барабанах расположены ленточные тормозы 9. **При прямолинейном движении** машины пружины 11 прижимают диски 2 и 3 друг к другу, и муфта, находясь в замкнутом состоянии, передает крутящий момент от главной передачи на вал 7 ведущей шестерни конечной передачи.

**Для плавного поворота** машины водитель выключает соответствующую муфту с помощью рычага 4. При этом нажимной диск 14 отводится к центру трактора, сжимая пружины 11 и тем самым разъединяя диски. Вторая рулевая муфта в это время остается замкнутой, и машина плавно поворачивается вокруг отключенной гусеницы. **Для более крутого поворота** отключенную гусеницу необходимо затормозить, для чего используют соответствующий ленточный тормоз 9, затягивая его вокруг ведомого барабана.

Для выключения рулевых муфт требуется усилие 0,12–0,15 кН, для снижения усилия выключения в кинематическую цепь между тягой 13 и рычагом 4 вводят гидроусилитель 12.

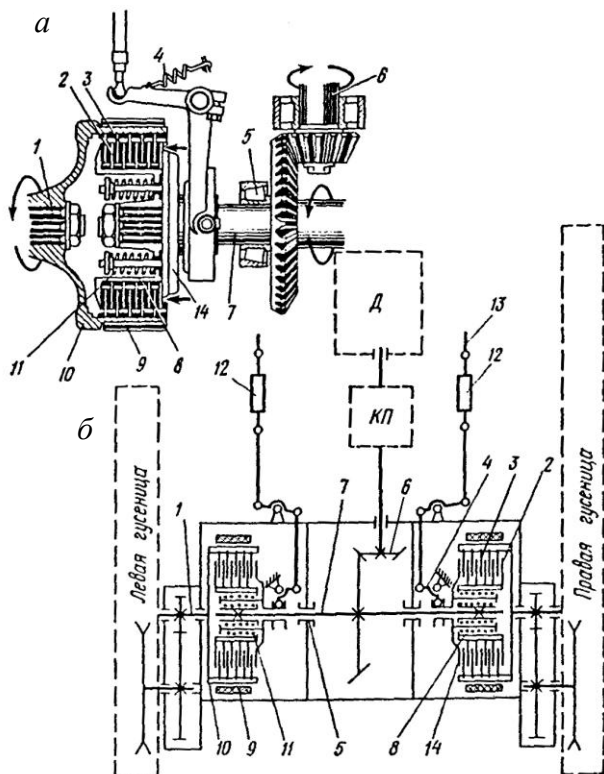


Рисунок 7.2 – Схема управления движением гусеничной машины с помощью рулевых муфт:

*а* – конструктивная схема; *б* – кинематическая схема:

*Д* – двигатель; *КП* – коробка передач

**Планетарные механизмы поворота** гусеничных машин более компактны и износоустойчивы. При их использовании прямолинейное движение машины более устойчиво, а расход мощности на поворот уменьшается. У гусеничных машин с таким механизмом управления движением (рисунок 7.3) вращение от ведущей шестерни 9 главной передачи передается на ведомую шестерню 6, в ступице которой нарезаны зубья коронной шестерни 8. Внутри коронной шестерни располагаются два водила 10 (одно для передачи крутящего момента на правую гусеницу, другое – на левую). На

каждом водиле установлены свободно вращающиеся на пальцах (осях) три цилиндрические шестерни-сателлита 11, входящие своими зубьями в зацепление с зубьями коронной шестерни 8 и одновременно с зубьями солнечной шестерни 7. Солнечная шестерня 7 жестко соединена с тормозным шкивом 4, который с помощью пружины 3 обтягивает тормозную ленту 12. Водило 10 жестко посажено на валу 5, на котором укреплены ведущая шестерня 1 конечной передачи и тормозной шкив 2.

При движении трактора **по прямой** тормоза 13 отпущены, а тормоза 12 затянуты.

Для **плавного поворота** солнечная шестерня 7 той стороны, в которую совершается поворот, растормаживается тормозом 12 и свободно вращается. Нагрузка от двигателя на гусеницу с этой стороны не передается, и ее движение замедляется. Для **крутого поворота** дополнительно тормозится соответствующий шкив 2 останочного тормоза.

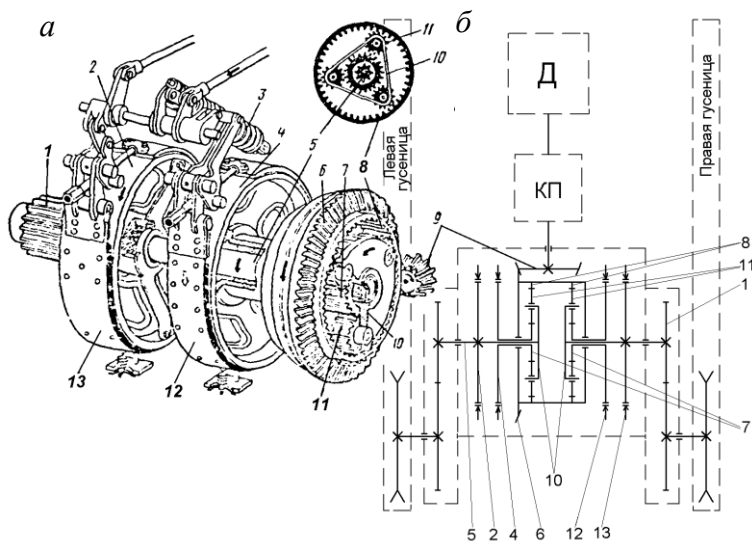


Рисунок 7.3 – Поворот гусеничного трактора с помощью планетарного механизма:  
*а* – конструктивная схема; *б* – кинематическая схема:  
*Д* – двигатель; *КП* – коробка передач

**Комбинированные механизмы поворота** в настоящее время выполняются по различным схемам.

На рисунке 7.4 мощность от двигателя подается на ведущий вал 3 коробки передач 1 с закрепленными на нем шестернями. Далее поток мощности разветвляется и передается на попарно одинаковые шестерни, свободно сидящие на ведомых валах 4. Затем через конические 6 и планетарные передачи 7 мощность передается ведущим колесам 8. Свободно сидящие на ведомых валах шестерни соединяются с ведущими колесами при помощи гидроподжимных муфт 2. На ведомых валах установлены остановочные тормоза 5.

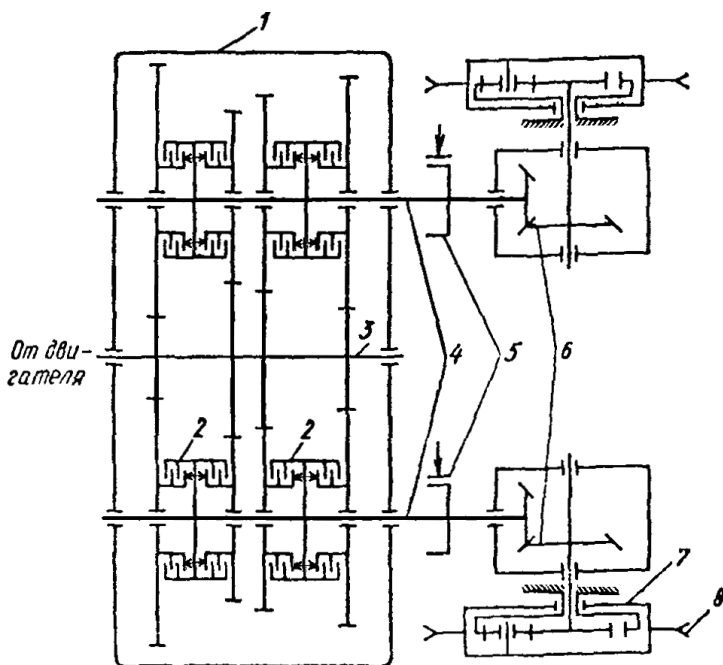


Рисунок 7.4 – Механизм поворота с отдельным подводом мощности на правое и левое ведущие колеса

**При прямолинейном движении** трактора на какой-либо передаче включаются попарно шестерни на ведомых валах 4, а остановочные тормоза 5 отпускаются.

**Поворот** трактора осуществляется несколькими способами. При фиксированных радиусах поворота включаются разноименные шестерни ведомых валов 4. При движении на высшей передаче угловая скорость забегающей полуоси остается постоянной, если частота вращения двигателя не изменяется. Угловая скорость отстающей полуоси в этом случае уменьшается в соответствии с передаточным числом включенных шестерен, соответствующих направлению поворота. При этом остановочные тормоза 5 на обоих ведомых валах опущены. При наиболее **крутых поворотах** выключаются шестерни, соответствующие направлению поворота, а остановочный тормоз 5 затягивается. В этом случае поворот трактора с комбинированным механизмом не отличается от поворота трактора с муфтами поворота. Средняя скорость трактора на повороте по сравнению со скоростью при прямолинейном движении уменьшается.

## Лабораторная работа № 8

### ИЗУЧЕНИЕ РАЗДАТОЧНЫХ КОРОБОК И ПРОМЕЖУТОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

**Оборудование и наглядные пособия:** плакаты раздаточной коробки и промежуточных соединений.

**Задание:**

1. Изучить принцип действия и классификацию раздаточных коробок и промежуточных соединений.
2. Изучить устройство и работу раздаточных коробок.
3. Вычертить кинематические раздаточных коробок и описать их конструкцию и работу.

#### Раздаточные коробки

Раздаточные коробки (рисунок 8.1) устанавливаются на автомобилях и колесных тракторах с несколькими ведущими мостами и служат для включения и выключения переднего ведущего моста и распределения крутящего момента от коробки передач между ведущими мостами. Раздаточные коробки могут также выполнять функции дополнительных коробок передач, увеличивая общее передаточное число силовой передачи. На автомобилях устанавливаются двухступенчатые раздаточные коробки, на тракторах – одно- и двухступенчатые. При наличии двухступенчатой раздаточной коробки удваивается общее число передач и увеличивается передаточное число трансмиссии, что позволяет эффективно использовать автомобиль (трактор) в самых разнообразных дорожных условиях.

В автомобилях раздаточная коробка устанавливается за коробкой передач и соединяется с ней промежуточным карданным валом. На тракторах привод к раздаточной коробке осуществляется через промежуточную шестерню, установленную в корпусе коробки передач.



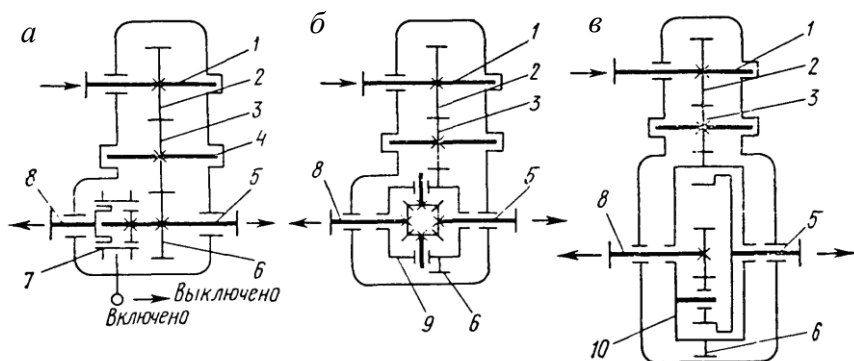


Рисунок 8.1 – Схемы раздаточных коробок:

*а* – с блокированным приводом; *б, в* – с дифференцированным приводом:

- 1 – ведущий вал; 2 – ведущая шестерня; 3 – промежуточная шестерня;
- 4 – промежуточный вал; 5 – вал привода заднего моста; 6 – ведомая шестерня;
- 7 – муфта включения; 8 – вал привода переднего колеса; 9 – симметричный дифференциал; 10 – несимметричный дифференциал

Раздаточные коробки могут быть с *блокированным* (рисунок 8.1, *а*) и *дифференциальным* (рисунок 8.1, *б, в*) приводами. Блокированный привод раздаточной коробки обуславливает вращение колес ведущих мостов с одинаковой угловой частотой. Недостаток такого привода – ухудшение условий движения машины на поворотах, когда колеса ведущих мостов имеют неодинаковые радиусы качения. Этот недостаток устраняется при установке в раздаточной коробке межосевого дифференциала, обеспечивающего распределение крутящего момента между ведущими мостами. Межосевой дифференциал может быть симметричным (рисунок 8.1, *б*), распределяющим поровну крутящий момент между ведущими мостами, или несимметричным (рисунок 8.1, *в*), когда крутящий момент разнится в зависимости от распределения вертикальной нагрузки между мостами. Несимметричный дифференциал представляет собой планетарную передачу.

### Промежуточные соединения

При установке двигателя и коробки передач на трактор возможны некоторые несоосности валов. Они также возникают при воз-

можных перекосах рамы во время движения по косогорам, переезда препятствий и т. п. Компенсируют несоосности промежуточными соединениями (рисунок 8.2), передающими одновременно с этим крутящий момент двигателя на коробку передач.

На гусеничных тракторах применяют упругие полукарданные шарниры и карданные передачи.

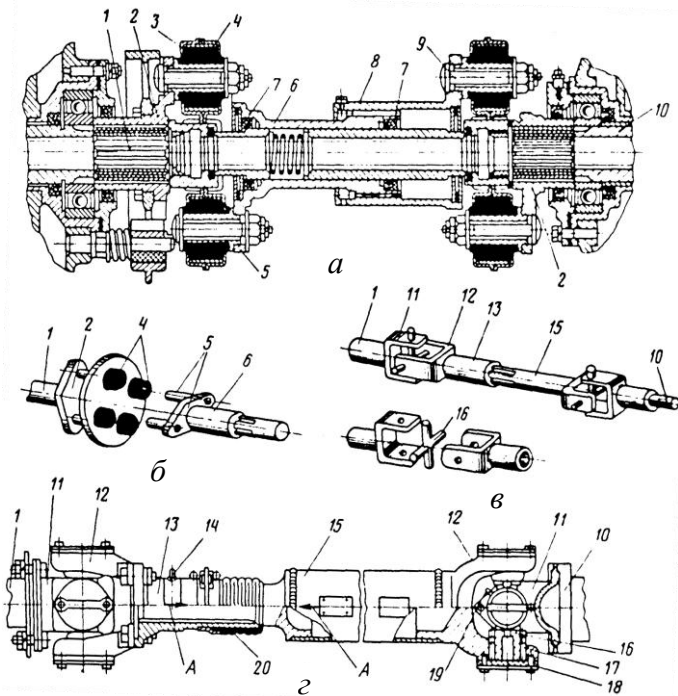


Рисунок 8.2 – Промежуточные соединения:

- а* – упругий полукарданный шарнир; *б* – схема установки крестовины;
- в* – карданная передача; *г* – схема установки вилок карданных шарниров;
- 1 – ведущий вал; 2, 5 – вилки карданов; 3 – каркас; 4 – резиновые втулки;
- 6 – малая труба; 7, 20 – манжеты; 8 – большая труба; 9 – палец; 10 – ведомый вал;
- 11, 12 – вилки карданной передачи; 13 – шлицевой полый вал; 14, 19 – масленки;
- 15 – шлицевой вал; 16 – крестовина; 17 – ролики; 18 – крышки подшипника;
- А* – установочные стрелки

## ЛИТЕРАТУРА

1. Автотракторный транспорт в строительстве / Г. В. Алексеева [и др.]. – Омск, 1986.
2. Автомобили. Специализированный подвижной состав / М. С. Высоцкий [и др.]. – Минск : Вышэйшая школа, 1989.
3. Гришкевич, А. И. Автомобили. Теория / А. И. Гришкевич. – Минск : Вышэйшая школа, 1986.
4. Двигатели внутреннего сгорания / под ред. А. С. Орлина. – М. : Машиностроение, 1990. – 288 с.
5. Железко, Б. Е. Основы теории и динамика автомобильных и тракторных двигателей / Б. Е. Железко. – Минск : Вышэйшая школа, 1980.
6. Ксеневиц, И. П. Тракторы МТЗ-100 и МТЗ-102 / И. П. Ксеневиц. – М. : Агропромиздат, 1986. – 256 с. : ил.
7. Ксеневиц, И. П. Ходовая система – почва – урожай / И. П. Ксеневиц, В. А. Скотников, М. И. Ляско. – М. : Агропромиздат, 1985. – 304 с. : ил.
8. Ксеневиц, И. П. О перспективах развития агрегатной унификации и создании модульных энергетических средств / И. П. Ксеневиц, В. В. Яцкевич // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1987. – № 12. – С. 6–11.
9. Сергеев, В. П. Автотракторный транспорт / В. П. Сергеев. – М. : Высшая школа, 1984. – 304 с.
10. Тракторы. Проектирование, конструирование и расчет / И. П. Ксеневиц [и др.]; под общ. ред. И. П. Ксеневица. – М. : Машиностроение, 1991. – 544 с. : ил.
11. Тракторы. Теория / В. В. Гуськов [и др.]. – М. : Машиностроение, 1988.
12. Унификация и агрегатирование в проектировании тракторов и технологических комплексов : учеб. пособие / В. П. Бойков [и др.]. – Минск : Адукацыя і выхаванне, 2003. – 400 с. : ил.

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| Введение. . . . .  | 3  |
| Общие указания. . . . .  | 3  |
| Введение в дисциплину. . . . .   | 4  |
| Лабораторная работа № 1<br>ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА ТРАНСПОРТНО-ТЯГОВЫХ<br>МАШИН И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯГОВЫХ УСИЛИЙ<br>ГУСЕНИЧНЫХ ТРАКТОРОВ. . . . .    | 27 |
| Лабораторная работа № 2<br>ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ<br>И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ<br>ПОКАЗАТЕЛЕЙ. . . . .     | 40 |
| Лабораторная работа № 3<br>ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА КАРБЮРАТОРНЫХ<br>ДВИГАТЕЛЕЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ<br>ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ. . . . . | 51 |
| Лабораторная работа № 4<br>ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПУСКА<br>ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ. . . . .                                       | 62 |
| Лабораторная работа № 5<br>ИЗУЧЕНИЕ МУФТ СЦЕПЛЕНИЯ. . . . .  | 72 |
| Лабораторная работа № 6<br>ИЗУЧЕНИЕ КОРОБОК ПЕРЕДАЧ АВТОМОБИЛЕЙ<br>И ТРАКТОРОВ. . . . .  | 77 |
| Лабораторная работа № 7<br>ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ УПРАВЛЕНИЯ<br>ГУСЕНИЧНЫМИ ТРАКТОРАМИ. . . . .   | 87 |
| Лабораторная работа № 8<br>ИЗУЧЕНИЕ РАЗДАТОЧНЫХ КОРОБОК<br>И ПРОМЕЖУТОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ. . . . .   | 93 |
| Литература. . . . .  | 96 |

Учебное издание

**ТЯГОВО-ТРАНСПОРТНЫЕ  
МАШИНЫ**

Лабораторный практикум  
для студентов специальности I-36 11 01  
«Подъемно-транспортные,  
строительные, дорожные машины и оборудование»

Составители :

**ЯЦКЕВИЧ** Владимир Владимирович  
**ЗЕЛЁНЫЙ** Петр Васильевич  
**БЕЖИК** Александр Александрович  
**СОКОЛОВСКИЙ** Юрий Викторович

Редактор *В. О. Кутас*  
Компьютерная верстка *А. Г. Занкевич*

Подписано в печать 10.08.2012. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 5,70. Уч.-изд. л. 4,45. Тираж 100. Заказ 382.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.