

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»

В.В. Лянденбургский

**ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРО-
И ГИРОПРИВОДОВ
НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ**

Пенза 2013

УДК 629.113.003.67

ББК 39.33–08

Л26

Рецензенты: кандидат технических наук, доцент кафедры «Организация безопасности движения» И.Е. Ильина (ПГУАС);
кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация машино-тракторного парка» А.С. Иванов (ПГСХА)

Лянденбургский В.В.

Л26 Применение электро- и гидроприводов на автомобильном транспорте: моногр. / В.В. Лянденбургский. – Пенза: ПГУАС 2013. – 288 с.

ISBN 978-5-9282-0949-0

Изложен подробный анализ существующих электро- и гиромобилей. Предлагается схема объединяющая преимущества электро- и гиромобилей, что приведет к увеличению энергоемкости транспортных средств.

Монография предназначена для широкого круга специалистов, научных работников, преподавателей и аспирантов, студентов обучающихся по направлению 190601 «Автомобили и автомобильное хозяйство».

ISBN 978-5-9282-0949-0

© Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2013

© Лянденбургский В.В., 2013

ПРЕДИСЛОВИЕ

Автомобили обладают целым рядом эксплуатационных свойств, которые характеризуют выполнение автомобилями транспортных и специальных работ. Эти свойства определяют приспособленность автомобилей к условиям эксплуатации, а также эффективность и удобство их использования.

Основными эксплуатационными свойствами, обеспечивающими движение автомобиля, являются тягово-скоростные и тормозные свойства, топливная экономичность, управляемость, маневренность, устойчивость, плавность хода, проходимость, экологичность и безопасность движения.

Эти свойства существенно зависят от конструкции и технического состояния автомобиля, его систем и механизмов, а также от своевременного и качественного технического обслуживания автомобиля.

Из указанных эксплуатационных свойств экологичность автомобиля является одним из важнейших.

Экологичностью автомобиля называется его свойство, характеризующее степень наименьшего загрязнения окружающей среды отработавшими газами и шумом. Она зависит, главным образом, от режима работы двигателя и его технического состояния.

Экологичность автомобиля серьезно влияет на состояние окружающей среды, здоровье и жизнь людей, растительный и животный мир. Поэтому экологичности автомобилей необходимо уделять серьезное внимание. Чем лучше экологичность автомобилей, тем меньший вред они наносят природе и людям.

А вред окружающей среде автомобили наносят большой, приводящий к невосполнимым потерям.

При движении автомобили потребляют большое количество кислорода для сжигания топлива в цилиндрах двигателей. Так, при скорости 40 км/ч за один час движения автомобиль сжигает такое количество кислорода, которым могли бы дышать в течение этого времени более одной тысячи человек. Потребляя большое количество кислорода, автомобили сильно загрязняют окружающую среду, так как при сгорании 1 л топлива в цилиндрах двигателя выброс отработавших газов через выпускную трубу составляет 300 г. Кроме отработавших газов в воздух попадают картерные газы и углеводороды в результате испарения топлива из топливных баков, карбюраторов и трубопроводов. При этом испарившиеся углеводороды составляют примерно 20 % всех углеводородов, попавших в воздух из автомобилей. А из всех газов (промышленных, транспортных и др.), выбрасываемых в окружающую среду, 75 % составляют отработавшие газы автомобилей.

Отработавшие газы, выбрасываемые в окружающую среду, содержат до 280 различных веществ. Среди них – азот и его окислы, углекислый и сернистый газы, окись углерода, альдегиды, углеводороды (этан, метан, этилен, бензол, ацетилен и др.), свинец, марганец и их соединения, сложные соединения углерода и водорода (пирен, бензапирен и др.), сажа и целый ряд других веществ. Все вещества, входящие в состав отработавших газов, находятся в различных состояниях (газообразных, жидких, твердых) и являются токсичными.

Весьма перспективным направлением снижения уровня загрязнения окружающей среды отработавшими газами и достижения высокой экологичности автомобилей является применение а также электро- и гибридных автомобилей. Однако при большом распространении аккумуляторных автомобилей им не будет хватать электроэнергии, вырабатываемой всеми электростанциями мира, т.к. суммарная установочная мощность двигателей всех автомобилей намного превышает мощность всех электростанций мира. На современном этапе развития применение экологически чистых автомобилей ограничено. В тоже время для снижения загрязнения в местах наибольшего скопления автомобилей, а также для внутрихозяйственных перевозок применение электро- и гибридных автомобилей актуально.

1. ВЛИЯНИЕ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Состав отработавших газов зависит от сорта топлива, присадок к нему, режима работы двигателя, его технического состояния, условий движения автомобиля и др. Больше всего ядовитых веществ автомобиль выбрасывает в окружающую среду при трогании с места и торможении.

В составе отработавших газов автомобилей наибольший удельный вес по объему имеет окись углерода (до 10 %), окислы азота (до 0,8 %), несгоревшие углеводороды (до 3 %), альдегиды (до 0,2 %) и сажа. Так, при сжигании 1000 л топлива бензиновые двигатели выбрасывают в окружающую среду с отработавшими и картерными газами 200 кг окиси углерода, 25 кг углеводородов, 20 кг окислов азота, 1 кг сажи и 1 кг сернистых соединений. Если токсичность окиси углерода принять за единицу, то токсичность окислов азота равна 10, а углеводородов – 0,65.

Причины образования токсичных веществ в двигателях автомобилей следующие.

Окись углерода образуется главным образом при сгорании топлива с недостатком кислорода – при богатых горючих смесях. При этом в отработавших газах дизелей окись углерода составляет по объему всего 0,1...0,2 %, тогда как у бензиновых (карбюраторных) двигателей она в десять раз больше.

Окислы азота в наибольших количествах у бензиновых двигателей и дизелей образуются в тех зонах цилиндров, где топливо сгорает в первую очередь.

Углеводороды образуются из-за неполного сгорания топлива вследствие недостаточно высокой температуры у стенок камер сгорания.

Альдегиды в наибольшем количестве образуются при низких температурах сгорания топлива – на холостом ходу и малых нагрузках дизеля. При этом некоторые альдегиды, образующиеся в дизелях, обуславливают неприятный запах отработавших газов.

Сажа образуется в дизелях в наибольшем количестве при сгорании топлива с недостатком кислорода (при полных нагрузках), о чем свидетельствует черный дым, выходящий из глушителя. В бензиновых двигателях сажа образуется в небольших количествах, так как топливо в цилиндрах сгорает при достаточном количестве кислорода.

Токсичные вещества отработавших газов, попадая в организм человека, поражают его центральную нервную систему, дыхательные пути, кровь, все органы и ткани и вызывают тяжелые и неизлечимые болезни.

Окись углерода, действуя на состав крови, вызывает кислородное голодание организма человека, что сказывается прежде всего на центральной нервной системе.

Окислы азота в организме человека соединяются с водой. Они образуют в дыхательных путях соединения азотной и азотистой кислот и вызывают тяжелые заболевания.

Углеводороды, содержащиеся в отработавших газах, не представляют большой опасности для здоровья человека. Однако при определенных атмосферных условиях они способствуют образованию специфического тумана (смога), обладающего вредным действием.

Альдегиды раздражающе действуют на все слизистые оболочки организма человека и поражают центральную нервную систему.

Соединения свинца поражают все органы и ткани организма человека, кровь, вызывают нервные заболевания. Они не выводятся из организма и с течением времени накапливаются до опасных концентраций.

Сажа, представляющая собой мельчайшие частицы твердых углеродистых продуктов с содержанием чистого углерода до 99 %, загрязняет легкие человека. Но главная опасность состоит в том, что сажа является активным переносчиком канцерогенных веществ, которые легко осаждаются на ее частицах.

Воздух, отравленный отработавшими газами автомобилей, губителен и для природы. Он замедляет рост растений, сокращает сроки их жизни и приводит к гибели. Так, в условиях города с развитым автомобильным транспортом рост растений замедляется в два раза, а срок жизни таких деревьев, как вяз и липа, сокращается в пять–шесть раз. Особенно губительны для растений углеводороды, сернистый газ и сероводород.

Конструкцией современных автомобилей, их систем и механизмов предусматривается обеспечение менее токсичного загрязнения окружающей среды отработавшими газами. Это достигнуто применением бесконтактной электронной системы зажигания, распределителя зажигания с центробежным и вакуумным регуляторами опережения зажигания, карбюратора с диафрагменным пусковым устройством и с экономайзером принудительного холостого хода с электронным управлением, замкнутой системы вентиляции картера двигателя, более равномерным распределением топлива по цилиндрам двигателя, регулированием оптимальной температуры охлаждающей жидкости и другими конструктивными мероприятиями. Так, замкнутая система вентиляции картера двигателя исключает попадание картерных газов в окружающую среду и обеспечивает снижение выброса углеводородов на 25...30 %, не увеличивая при этом содержание окислов углерода и азота.

Токсичность отработавших газов во многом зависит от технического состояния автомобиля, его систем и механизмов. Полностью исправный автомобиль расходует меньше топлива и меньше загрязняет окружающую среду.

Большое влияние на токсичность отработавших газов оказывают состояние систем питания, зажигания и их регулирование. Регулирование холостого хода карбюратора является одним из наиболее доступных способов снижения токсичности отработавших газов. В условиях города двигатель автомобиля работает 30 % времени на холостом ходу, 30...40 % с постоянной нагрузкой, 20...25 % в режиме разгона и 10...15 % в режиме торможения. При этом на холостом ходу двигатель выбрасывает в воздух 5...7 % окиси углерода от объема всего выпуска, а при установившемся режиме движения только 1...2,5 %.

Правильное регулирование карбюратора на режиме холостого хода позволяет снизить выбросы окиси углерода на 30 %, углеводородов на 15 % при одновременном уменьшении расхода топлива на 25 %.

При неправильном регулировании карбюратора на холостом ходе выброс окиси углерода повышается до 15 % и более от объема всего выпуска. При этом одновременно увеличивается в 2–2,5 раза выброс углеводородов и в 1,5 раза альдегидов.

Даже при хорошем техническом состоянии двигателя и правильно отрегулированных его механизмах и системах количество токсичных веществ может достигнуть больших значений, результаты которых представлены в табл. 1.1.

Т а б л и ц а 1 . 1

Содержание токсичных веществ

1	Бензиновый двигатель	Дизель
2	3	
Окись углерода, %	6,0	0,2
Окислы азота, %	0,46	0,35
Углеводороды, %	0,4	0,04
Сажа, мг/л	0,05	0,3

Приведенные значения окиси углерода, окислов азота и углеводородов даны в объемных процентах, а сажи – в миллиграммах на 1 л отработавших газов.

Из этих значений видно, что токсичность дизелей определяется главным образом наличием в отработавших газах окислов азота, а для бензиновых двигателей зависит от концентрации окиси углерода и окислов азота. Из данных также следует, что токсичность отработавших газов дизелей значительно ниже, кроме выброса сажи, чем у бензиновых двигателей. По-

этому лучшая экологичность и высокая топливная экономичность дизелей определяют более широкое их применение на автомобилях, чем бензиновых двигателей.

Токсичность отработавших газов существенно зависит от режима движения автомобиля. При установившемся движении автомобиля происходит наименьшее загрязнение воздуха, но в этом случае при работе двигателя с постоянной нагрузкой в его отработавших газах образуется наибольшее количество окислов азота, объем которых по сравнению с холостым ходом возрастает в 30–35 раз. Торможение двигателем приводит к повышению содержания альдегидов в отработавших газах в десять раз.

Из изложенного следует, что токсичность отработавших газов во многом зависит от конструктивных и эксплуатационных факторов. Поэтому, учитывая эти факторы и воздействуя на них, можно добиться значительного снижения токсичности отработавших газов и улучшения экологичности автомобилей.

1.1. Мероприятия по снижению токсичности двигателей

К числу эффективных мероприятий относятся:

1. Совершенствование рабочих процессов и смесеобразования. Конструкция камеры сгорания существенно влияет на образование углеводородов, так как чем меньше отношение поверхности к объему камеры сгорания, тем меньше образуется углеводородов. Однако на концентрацию окиси углерода и окислов азота эти факторы влияют незначительно.

2. Применение рециркуляции отработавших газов, поступающих во впускной трубопровод двигателя. Их количество, добавляемое к топливу, регулируется в зависимости от нагрузки двигателя. Так, при полной нагрузке двигателя, когда рециркуляция составляет 10...12 %, концентрация окислов азота уменьшается почти в два раза.

3. Установка на автомобилях (перед глушителем) каталитических нейтрализаторов, в которых токсичные вещества отработавших газов превращаются в продукты, не влияющие на окружающую среду. Это позволяет снизить токсичность отработавших газов по окиси углерода на 80 %, по окислам азота на 30 % и по углеводородам на 70 %. Для примера на рис. 1.1 показана схема двухкамерного каталитического нейтрализатора, окисляющего углеводороды и окись углерода, а также разлагающего окислы азота. В камере 1 осуществляется нейтрализация окислов азота, а в камере 2 – окиси углерода и углеводородов. В качестве катализаторов в нейтрализаторах могут использоваться палладий, радий, рутений, окись меди, окись хрома, окись никеля, двуокись марганца и др.

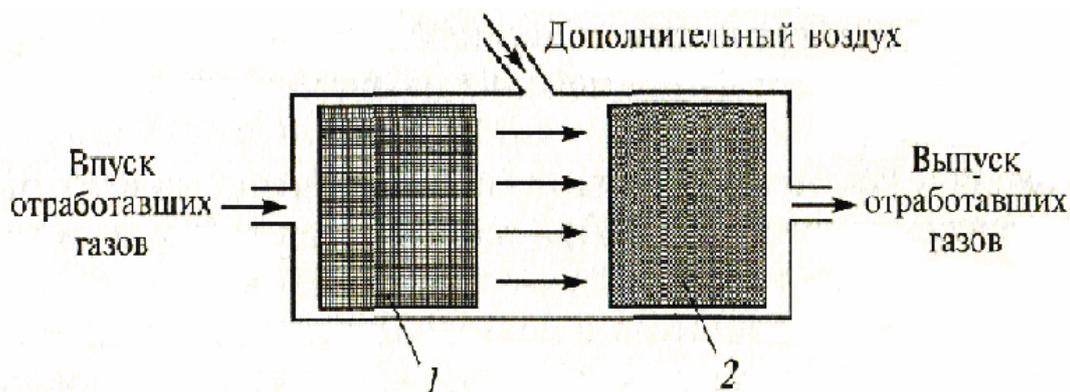


Рис. 1.1. Схема двухкамерного нейтрализатора:
1, 2 – камеры

4. Использование более совершенных и менее токсичных антидетонаторов бензина. Так, антидетонатор ЦТМ на марганцевой основе в 50 раз менее токсичен, чем тетраэтилсвинец. Добавка этого антидетонатора в количестве 2 % повышает октановое число бензина А-76 на 5–7 единиц.

5. Широкое применение газообразного топлива – сжатых и сжиженных газов. Сжатые – природные газы (метан и др.) – сохраняют газообразное состояние при нормальной температуре и высоком давлении (до 20 МПа). Сжиженные – нефтяные газы (бутан, пропан и др.) – переходят из газообразного состояния в жидкое при нормальной температуре и небольшом давлении (до 1,6 МПа). Газообразное топливо в 2,5–3 раза дешевле бензина, имеет более высокое октановое число, меньшее нагарообразование, не разжижает масло в картере двигателя и более экологично. По сравнению с бензиновыми выброс газовых двигателей содержит значительно меньше токсичных веществ: окиси углерода в 4–5 раз, окислов азота в 1,2–2 раза и углеводородов в 1,1–1,4 раза. Срок службы газового двигателя в 1,5–2 раза больше, чем бензинового, но мощность меньше на 7...12 %, он сложнее в эксплуатации и требует высокой техники безопасности.

6. Применение новых видов топлива – синтетических спиртов, аммиака и водорода. Синтетические спирты (менатол и этанол) представляют наибольший практический интерес.

Менатол (метилловый спирт) получают из каменного угля, сланцев и древесины. Он несколько тяжелее бензина, имеет в 2 раза меньшую энергоемкость и в производстве дороже в 1,5–2 раза. Объем бака для менатола должен быть в 2 раза больше бензинового. Однако при использовании менатола токсичность отработавших газов снижается в 2–3 раза. Кроме того, применение менатола позволяет повысить степень сжатия двигателя и довести ее до 14. На менатолу могут работать и дизели. Но для этого потребуется совершенствовать системы подачи, смесеобразования и камеры сгорания. Иначе не будет обеспечено надежное воспламенение горючей смеси, особенно при пуске холодного двигателя.

Этанол (этиловый спирт) при одинаковой плотности с метанолом имеет энергоемкость на 25...30 % выше и требует пропорционально менее вместительного бака. У двигателей, работающих на этаноле, содержание углеводов в отработавших газах меньше, чем при работе на метаноле.

Аммиак – токсичный газ с резким запахом. При его сгорании образуется только один токсичный компонент (окислы азота) и в значительно меньших количествах, чем при сгорании других видов углеводородного топлива.

Водород является высокоэнергетическим, практически не загрязняющим окружающую среду топливом при работе на нем двигателей. Его можно получать из воды термическим или электролитическим способом. Применение водорода требует уменьшения степени сжатия двигателя, изменения фаз газораспределения и углов опережения зажигания и др. Кроме того, при водородном топливе, возможно некоторое ухудшение тягово-скоростных свойств автомобиля. Однако при использовании этого топлива уменьшается износ двигателя и снижается расход масла. Водород значительно дороже бензина, чрезвычайно пожаро- и взрывоопасен. Бак с жидким водородом займет места в автомобиле в 3–4 раза больше, чем бензиновый. К тому же очень трудно обнаружить утечку водорода, так как он не имеет ни цвета, ни вкуса, ни запаха. Несмотря на указанные недостатки, водород является топливом будущего.

7. Использование водобензиновых смесей. Это позволяет значительно снизить токсичность двигателей. Так, при работе бензинового двигателя на эмульсии с содержанием 12 % воды выброс окиси углерода с отработавшими газами уменьшается в 2 раза. При этом отсутствует детонация топлива. Однако возникают сложности с хранением запасов воды (эмульсии) при эксплуатации автомобилей в условиях низких температур, а также с подготовкой и обеспечением стабильности водобензиновой эмульсии.

Снижение токсичности и дымности дизелей с учетом их особенностей могут также обеспечить следующие мероприятия.

1. Применение рециркуляции отработавших газов, часть которых (до 20 % от количества подаваемого воздуха) направляется во впускной трубопровод двигателя, уменьшает образование окислов азота и снижает их концентрацию в отработавших газах на 40...50 %.

2. Подача воды во впускной трубопровод или в цилиндры дизеля в количестве 6 % (по массе) снижает концентрацию окислов азота в 2 раза.

3. Использование дизельного топлива с повышенным цетановым числом уменьшает выбросы окислов азота и углеводов. Однако при больших нагрузках в некоторых случаях может увеличиваться дымность выхлопа.

4. Применение антидымных присадок на основе бария, марганца и др. Так, добавка к дизельному топливу антидымных присадок (до 1 %) снижает дымность выпуска при больших нагрузках в несколько раз.

5. Поддержание дизеля в технически исправном состоянии. Так, стабильность регулировок топливной аппаратуры и периодичность контроля токсичности и дымности отработавших газов снижают общий выброс токсичных веществ на 30...40 % и значительно уменьшают интенсивность дымления дизеля.

Токсичность выбросов бензиновых двигателей и дизелей может быть снижена за счет применения рациональных приемов вождения автомобилей, которые позволят также экономить топливо.

Для этого необходимо выполнять следующие рекомендации:

- умело и расчетливо управлять автомобилем, исходя из условий движения, дорожной ситуации, профиля дороги и др.;

- выбирать хорошо изученные маршруты (по возможности с безостановочным движением) и стараться поддерживать установившийся режим движения автомобиля;

- избегать лишних торможений и остановок, заранее предусматривать необходимость снижения скорости и числа остановок автомобиля, используя по возможности движение накатом;

- избегать лишних разгонов, а при разгоне своевременно переключать передачи и на каждой передаче плавно увеличивать подачу топлива по мере роста частоты вращения коленчатого вала двигателя;

- не допускать работы двигателя с перегрузкой, т.е. движения автомобиля с максимальной подачей топлива при низкой частоте вращения коленчатого вала. Такой режим является наихудшим по топливной экономичности, токсичности и дымности, а также отрицательно влияет на долговечность двигателя и его механизмов;

- избегать работы двигателя на холостом ходу на продолжительных остановках и стоянках и своевременно после пуска холодного двигателя открывать воздушную заслонку карбюратора;

- следить за температурным режимом работы двигателя, устанавливая воздухозаборник воздушного фильтра в положение, соответствующее температуре окружающего воздуха, утеплять при низких температурах радиатор системы охлаждения двигателя;

- не допускать заправки автомобиля топливом и маслом, которые не рекомендованы заводом-изготовителем;

- не делать самостоятельной перерегулировки приборов и систем питания и зажигания двигателя без применения соответствующих контрольно-диагностических приборов и соблюдения технических инструкций;

- систематически контролировать расход топлива, так как его перерасход в одних и тех же условиях эксплуатации свидетельствует о появлении неисправностей и разрегулировок, повышающих токсичность отработавших газов.

1.2. Применение горючих газов для двигателей внутреннего сгорания

Горючие газы все шире применяют в качестве топлива для карбюраторных двигателей и дизелей.

Работа карбюраторного двигателя на газообразном топливе не имеет принципиальных отличий от работы двигателя на бензине, однако вид применяемого топлива оказывает влияние на ряд технико-экономических и санитарно-гигиенических показателей двигателя [12].

Использование газов в качестве автомобильного топлива имеет ряд преимуществ. При работе двигателя на газе происходит более совершенное смесеобразование. Это объясняется тем, что газ и воздух поступают в смесительное устройство в одинаковом агрегатном (газообразном) состоянии. Полученная однородная горючая смесь, сгорая в цилиндрах двигателя, позволяет более полно использовать теплоту топлива и получать минимальное количество токсичных продуктов неполного сгорания.

Газообразные топлива, имеющие более широкие пределы воспламеняемости, дают возможность получать бедные смеси с коэффициентом избытка воздуха $a = 1,5...1,7$. При работе двигателя на полной нагрузке (рис. 1.2, кривые 1) определяющим фактором является максимальная мощность, для получения которой требуются богатые смеси с $a = 0,9...1$. При частичных нагрузках (кривые 2) для улучшения топливной экономичности двигателя и снижения токсичности отработавших газов требуются бедные смеси с $a = 1,2...1,3$.

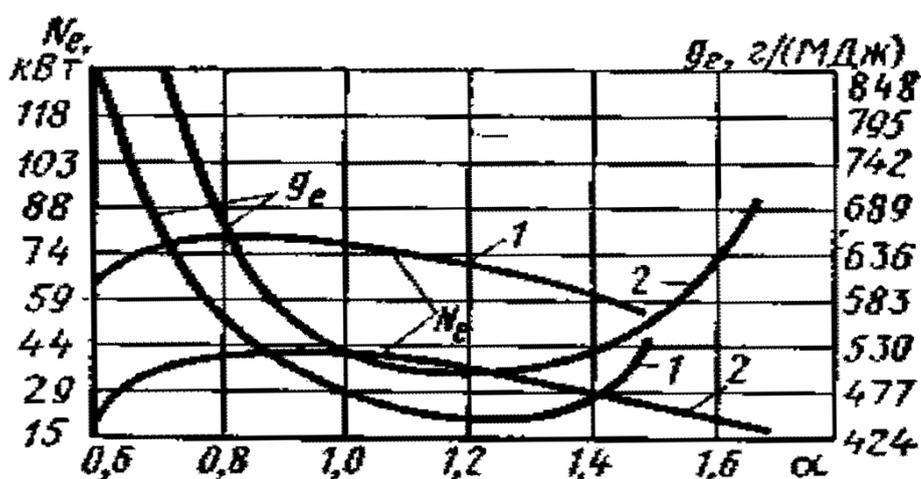


Рис. 1.2. График регулировочных характеристик двигателя при работе на газе в цилиндрах двигателя ($n = 2000$ об/мин):
1, 2 – при полной и частичной нагрузках двигателя

Применение газа исключает возможность конденсации паров топлива на стенках цилиндров и смывание масляной пленки, в результате чего увеличивается срок службы двигателя и возрастает пробег автомобиля до смены масла в двигателе.

К недостаткам применения газового топлива относятся снижение скорости горения и меньшая удельная теплота сгорания горючей смеси. В результате этого мощность двигателя уменьшается в зависимости от вида применяемого газа на 7–12 %.

Перевод карбюраторного двигателя на газообразное топливо. Перевод карбюраторных двигателей на питание сжиженным или сжатым газом осуществляют двумя способами.

Первый способ заключается в создании газовой модификации стандартного карбюраторного двигателя путем его оснащения газобаллонной установкой. В этом случае сохраняется возможность работы двигателя и на бензине, и на газе, причем на бензине двигатель развивает полную мощность, на газовом топливе его мощность уменьшается.

Второй способ заключается в создании из карбюраторного двигателя специального газового, развивающего полную мощность только на газообразном топливе. Такой двигатель имеет улучшенные мощностные и экономические показатели благодаря повышению степени сжатия и установке газового смесителя.

При использовании в качестве топлива газа систему питания двигателя независимо от его типа дооборудуют газобаллонной установкой.

Перевод дизеля на газообразное топливо также осуществляют двумя способами.

Первый способ заключается в переоборудовании дизеля в газовый двигатель с искровым зажиганием. Для этого снижают степень сжатия в цилиндрах двигателя до 8–9, устанавливают систему зажигания и газобаллонное оборудование. Двигатель в этом случае работает так же, как и карбюраторный, но его работа на дизельном топливе исключается. К преимуществам этого способа относятся повышение мощности двигателя и уменьшение выброса токсичных веществ с отработавшими газами, к недостаткам – серьезные конструктивные переделки двигателя.

Второй способ (газодизельный) предполагает одновременное использование дизельного и газообразного топлива при работе двигателя. Для подачи газообразного топлива в этом случае двигатель дооборудуют газобаллонной установкой.

Газ через смеситель подается во впускной трубопровод и в смеси с воздухом засасывается в цилиндры двигателя. В конце такта сжатия в цилиндры впрыскивается дизельное топливо, которое выполняет роль искры зажигания; его количество составляет до 20 % от расходуемого при обычном

дизельном процессе. При этом способе, не требующем коренного изменения конструкции двигателя, последний обладает высокими мощностью и экономичностью; одновременно резко снижается содержание сажи в отработавших газах. Для автомобильных двигателей наибольшее распространение получил газодизельный способ. Оба способа перевода на газообразное топливо применяют для дизелей стационарного типа.

В конструкции автомобиля, работающего на газовом и бензиновом топливе, имеются независимые друг от друга газовая и бензиновая системы питания.

Газобаллонная установка обеспечивает хранение сжиженного газа, его ступенчатое редуцирование и подачу газа в цилиндры двигателя в количестве, обеспечивающем заданные режимы работы двигателя. Газобаллонная установка (рис. 1.3) содержит следующие основные узлы:

- баллон;
- блок арматуры (мультиклапан);
- заправочное устройство;
- систему вентиляции;
- редуктор-испаритель;
- смеситель;
- дозатор;
- электромагнитные клапаны;
- переключатель рода топлива;
- электропроводку с электронным блоком;
- трубопроводы, шланги и пр.

В зависимости от вида газообразного топлива газобаллонные установки для двигателей внутреннего сгорания подразделяются на три типа: для сжатого природного газа, жидкого метана и сжиженного пропан-бутанового газа. Газобаллонная установка вне зависимости от вида применяемого газа состоит из баллонов для хранения и транспортировки газа, испаряющего или подогревающего устройства, газового редуктора, дозирующего устройства, смесителя, трубопровода и контрольных приборов.

Приборы и аппараты, применяемые для различных видов газа, не имеют существенных различий в принципе действия. Исключение составляют баллоны для хранения и транспортировки газа. Сжатый природный газ хранится при высоком давлении (до 20 МПа) и требует толстостенных сосудов; жидкий метан содержится при температуре кипения ($-161\text{ }^{\circ}\text{C}$) в изотермических сосудах, а сжиженный пропан-бутановый газ имеет максимальное рабочее давление 1,6 МПа и для его хранения и транспортировки на автомобилях используют баллоны с толщиной стенок 3–6 мм и вместимостью до 300 л. Наибольшее распространение получили газобаллонные установки, работающие на сжиженном пропан-бутановом и сжатом природном газе.

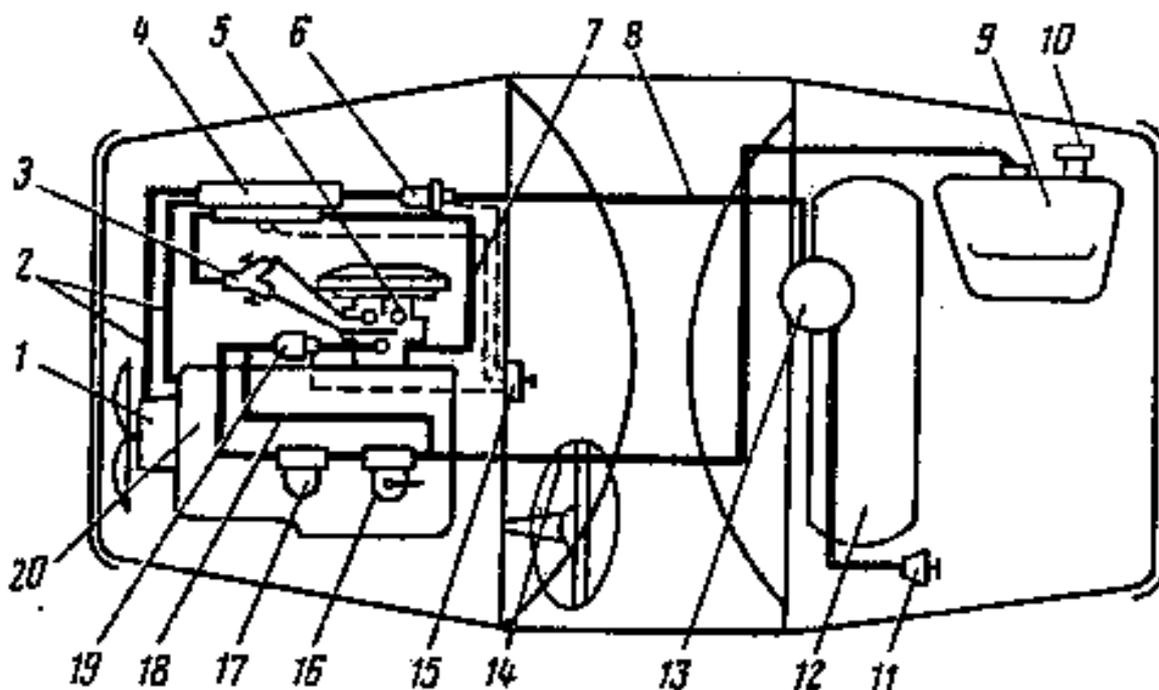


Рис. 1.3. Принципиальная схема бензиногазовой топливной системы легкового автомобиля:

- 1 – водяной насос; 2 – трубопровод подвода и отвода охлаждающей жидкости;
 3 – тройник-дозатор; 4 – редуктор-испаритель; 5 – карбюратор;
 6 – газовый электромагнитный клапан; 7 – трубопровод разреженна;
 8 – трубопровод подача газа; 9 – бензиновый бак; 10 – наливная горловина;
 11 – заправочный штуцер газа; 12 – баллон для газа; 13 – блок арматуры;
 14 – бензиновый трубопровод; 15 – переключатель рода топлива;
 16 – бензиновый насос; 17 – бензиновый фильтр; 18 – трубопровод возврата бензина;
 19 – бензиновый электромагнитный клапан; 20 – двигатель

Сжиженный пропан-бутановый газ из всех газообразных топлив наиболее близок к бензину по концентрации энергии в единице объема, способу хранения и другим эксплуатационным качествам. Его наиболее широко применяют в качестве топлива для автомобильных двигателей. На газобаллонных автомобилях ЗИЛ-138 и ГАЗ-53-07 установлены газовые двигатели, газобаллонные установки которых рассчитаны на избыточное давление 1,6 МПа и обеспечивают хранение сжиженного газа, его испарение, очистку, ступенчатое редуцирование и подачу в двигатель в строго заданных количествах в смеси с воздухом. Кроме того, на автомобилях имеется резервная система питания двигателей бензином.

Сжиженный газ в газобаллонных автомобилях (рис. 1.4) содержится в баллоне 20 в жидком и парообразном состояниях. Газовый баллон, кроме контрольно-предохранительной и наполнительной арматуры, снабжен двумя расходными вентилями, позволяющими осуществлять питание дви-

гателя газом, находящимся в паровой или жидкой фазе. Система питания обеспечивает нормальную работу двигателя при условии подачи к редуцирующему устройству газа, находящегося в парообразном состоянии. Испарение сжиженного газа в системе питания происходит за счет тепловыделения из системы охлаждения двигателя.

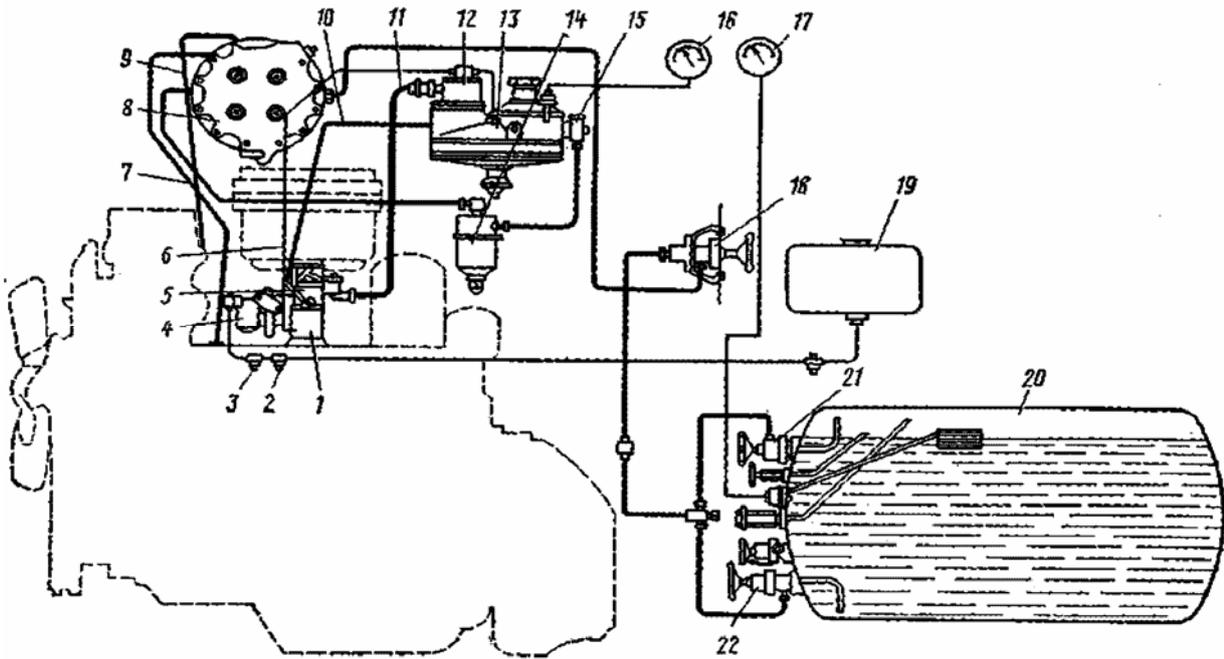


Рис. 1.4. Схема системы питания грузового автомобиля, работающего на сжиженном газе:

- 1 – проставка; 2 – фильтр-отстойник; 3 – топливный насос; 4 – карбюратор;
- 5 – смеситель; 6 – трубка, соединяющая редуктор с всасывающим трубопроводом;
- 7, 9 – шланги для подвода и отвода жидкости системы охлаждения в испаритель;
- 8 – испаритель; 10 – трубка для отвода газа в систему холостого хода;
- 11 – шланг основной подачи газа; 12 – дозирующе-экономизерное устройство;
- 13 – редуктор; 14, 15 – газовый и сетчатый фильтры;
- 16 – манометр; 17 – указатель уровня сжиженного газа в баллоне;
- 18 – магистральный вентиль; 19 – топливный бак; 20 – газовый баллон;
- 21, 22 – расходные вентили паровой и жидкой фазы газа

При пуске и прогреве двигателя незначительный перепад температур между теплоносителем (жидкостью системы охлаждения) и газом не обеспечивает испарения последнего. В этом случае питание двигателя осуществляется паровой фазой газа через вентиль 21. После прогрева двигателя его питание осуществляется жидкой фазой газа через вентиль 22. Это позволяет исключить кипение жидкости и падение давления в газовом баллоне, а также сохранить стабильность показателей газа, так как в жидкой фа-

зе все компоненты хорошо перемешаны и химический состав топлива практически не меняется по мере опорожнения баллона.

Из баллона газ подводится к управляемому из кабины водителя магистральному вентилю 18, служащему для быстрого прекращения подачи газа к двигателю, а из него попадает в испаритель 8, в котором по шлангам 7 и 9 циркулирует горячая жидкость системы охлаждения двигателя. Пройдя змеевик испарителя, сжиженный газ из жидкого состояния полностью переходит в парообразное и подвергается очистке с помощью фильтра 14 с войлочными кольцами и сетчатого фильтра 15.

Очищенный газ подается в редуктор 13, где происходит двухступенчатое снижение давления до близкого к атмосферному. Управление работой редуктора осуществляется разрежением, передаваемым в него по трубке 6 из всасывающего трубопровода. Из редуктора через дозирующе-экономайзерное устройство 12 и шланг основной подачи газ направляется в смеситель 5. Кроме того, по трубке 10 газ, минуя дозирующе-экономайзерное устройство, из редуктора подается в систему холостого хода смесителя. В смесителе газ смешивается с воздухом, образуя горючую смесь, которая засасывается в цилиндры двигателя.

Газобаллонная установка автомобиля снабжена двумя контрольными приборами: дистанционным электрическим манометром 16, показывающим давление газа в первой ступени редуктора, и указателем уровня сжиженного газа в баллоне 17.

Резервная система питания двигателя бензином состоит из топливного бака 19, фильтра-отстойника 2, топливного насоса 3 и однокамерного карбюратора 4, установленного на проставке 1, расположенной под газовым смесителем. Наличие на автомобиле резервной системы питания создает возможность работы двигателя на бензине при полном расходе газа или неисправности газовой аппаратуры. При переходе с газообразного топлива на бензин (или наоборот) не следует допускать, чтобы двигатель работал на смеси двух топлив, так как это приводит к обратным вспышкам, опасным в пожарном отношении. Перевод системы питания с одного вида топлива на другой обязательно осуществляют при остановленном двигателе. При этом перекрывают подачу и вырабатывают из системы один вид топлива, затем рычаг управления дроссельной заслонкой присоединяют к карбюратору (или, наоборот, к смесителю), открывают подачу другого вида топлива и пускают двигатель обычным способом.

Сжиженный нефтяной газ в качестве топлива применяют не только для грузовых, но и для легковых автомобилей и автомобилей. Конструкции систем питания газобаллонных автомобилей и грузовых газобаллонных автомобилей не имеют принципиальных различий. Легковой газобаллонный автомобиль (ГАЗ-24-07) имеет газовое оборудование, в котором

конструктивно объединены в одном узле газовый редуктор с испарителем, фильтр газа с магистральным электромагнитным вентилем, расходные вентили жидкой и паровой фаз газа, наполнительный вентиль с вентилями максимального заполнения баллона и предохранительным клапаном.

Сжиженный газ из баллона 5 (рис. 1.5), установленного в багажном отсеке автомобиля, через расходные вентили 7 и 9 по трубопроводу поступает в газовый фильтр 8, а из него – в двухступенчатый газовый редуктор-испаритель 2, где за счет теплоты системы охлаждения двигателя происходит испарение сжиженного газа и снижение его давления до близкого к атмосферному. Из редуктора-испарителя газ через регулировочный винт 3 направляется в смесительное устройство 6, расположенное в воздушном фильтре двигателя, а затем в карбюратор.

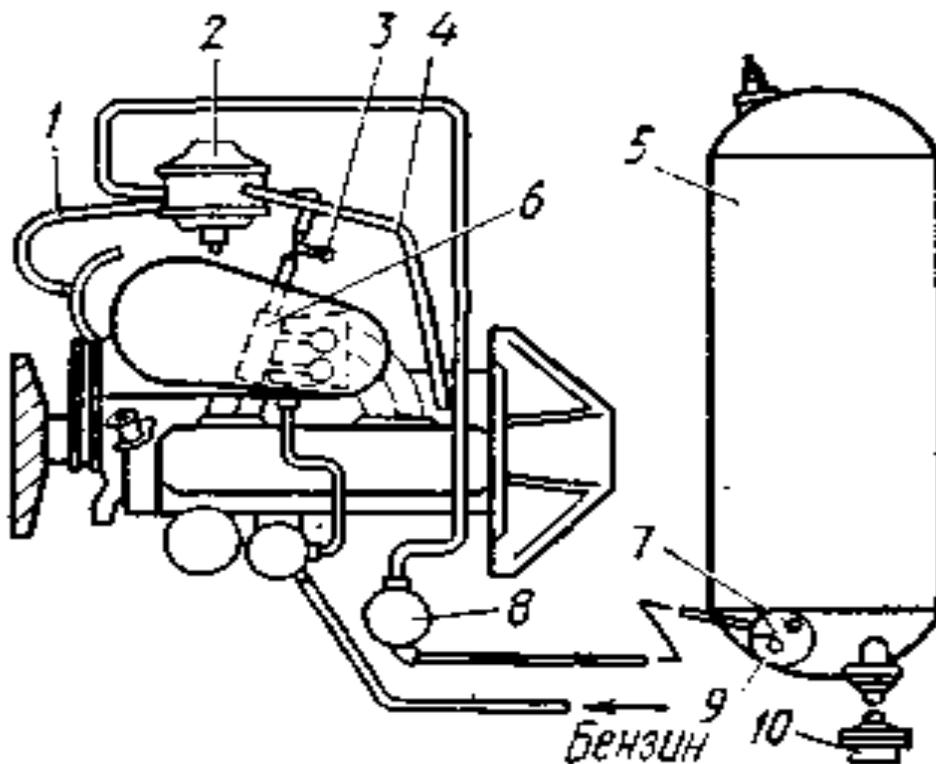


Рис. 1.5. Схема системы питания легкового автомобиля, работающего на сжиженном газе: 1 – шланг отвода воды из испарителя; 2 – двухступенчатый газовый редуктор-испаритель; 3 – регулировочный винт подачи газа; 4 – шланг подвода воды в испаритель; 5 – газовый баллон; 6 – смесительное устройство; 7; 9 – расходные вентили паровой и жидкой фаз газа; 8 – газовый фильтр с электромагнитным клапаном; 10 – заправочное устройство с контрольным и предохранительным клапанами

Бензиновая система питания автомобиля ГАЗ-24-07 не имеет отличий от системы питания базовой модели, что позволяет данному двигателю полноценно работать как на сжиженном нефтяном газе, так и на бензине.

Сжатый природный газ в настоящее время в нашей стране получает все более широкое применение на автомобильном транспорте. С 1981 г. автозаводы (ЗИЛ и ГАЗ) приступили к серийному выпуску газобаллонных автомобилей ЗИЛ-138А; ГАЗ-53-27 и ГАЗ 52-27, являющихся газовой модификацией автомобилей ЗИЛ-130; ГАЗ-53А и ГАЗ-52-04. Конструкции систем питания этих автомобилей выполнены по универсальной схеме и обеспечивают полноценную работу двигателя как на газе, так и на бензине.

В газобаллонной установке автомобиля ЗИЛ-138А (рис. 1.6) природный газ хранится в сжатом до 20 МПа состоянии в баллонах 1. Запас природного газа в одном баллоне при давлении 20 МПа составляет около 10 м³, что эквивалентно примерно 10 л бензина. Для обеспечения запаса хода в 200 км на автомобиле ЗИЛ-138А установлены восемь баллонов, последовательно соединенных трубопроводами в две равноценные секции. Секции баллонов, в каждой из которых предусмотрен запорный вентиль, подключены к крестовине с запорным и магистральным вентилями (указанные вентили позволяют осуществлять наполнение и расход газа из всех баллонов одновременно или по секциям.) От крестовины газ высокого давления через подогреватель 3, в котором теплоносителями являются отработавшие газы, поступает в одноступенчатый газовый редуктор высокого давления 4, где давление газа снижается до 1–1,6 МПа. Затем газ подается к фильтру 9 с войлочным элементом и электромагнитным клапаном, а из него – в двухступенчатый газовый редуктор 8, где происходит снижение его давления практически до атмосферного. После редуктора газ поступает в газосмесительное устройство 7, которое конструктивно выполнено в одном узле с карбюратором.

Следует отметить, что двухступенчатый газовый редуктор, соединительные детали и трубопроводы унифицированы с аналогичными узлами, устанавливаемыми на автомобилях, работающих на сжиженном нефтяном газе. Кроме того, для возможности работы на бензине у этих автомобилей сохранена система питания двигателей базовых бензиновых автомобилей.

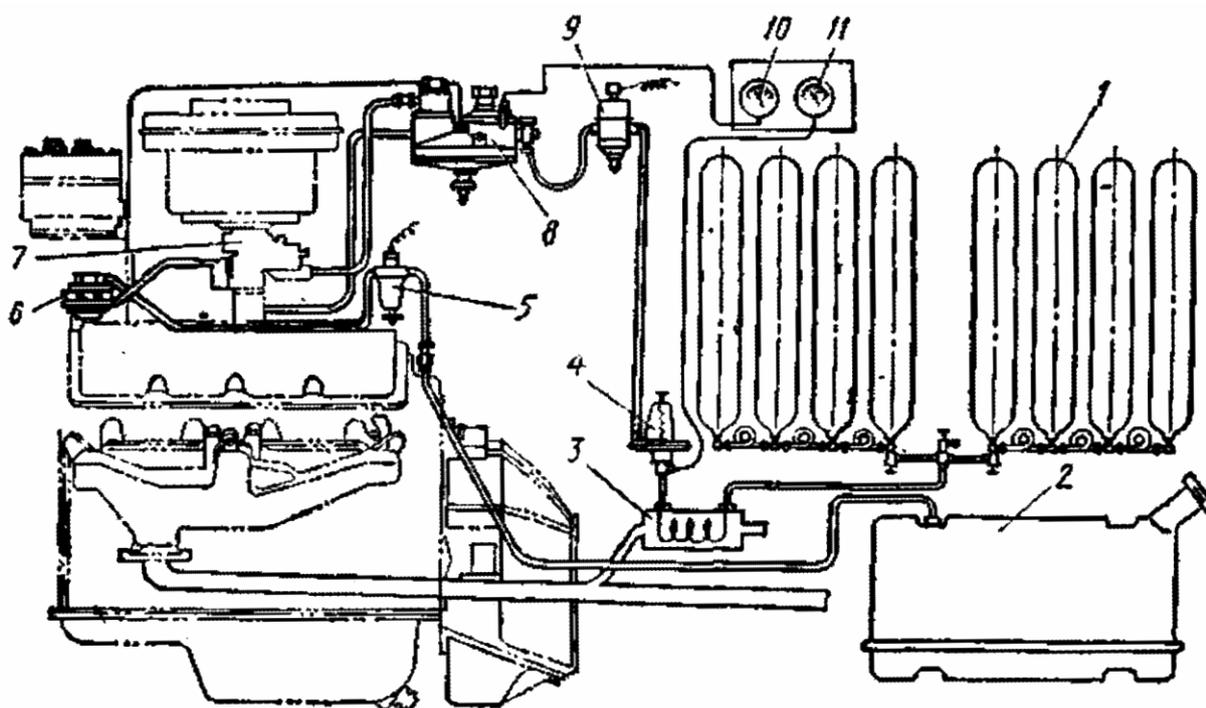


Рис. 1.6. Схема системы питания грузового автомобиля, работающего на сжатом газе:

- 1 – газовый баллон; 2 – бензиновый бак; 3 – подогреватель газа;
 4, 8 – редукторы высокого и низкого давления; 5, 9 – бензиновый и газовый фильтры с электромагнитными клапанами; 6 – бензиновый насос

1.3. Схемы переоборудования инжекторных топливных систем на газовое топливо

Любой автомобиль, имеющий ДВС, может быть переоборудован для работы на СНГ. В большинстве случаев двигатели с искровым зажиганием переоборудуются для работы в двухтопливном режиме (возможно переключение системы питания на работу или на бензине, или на СНГ). Автомобили-такси и автобусы обычно переоборудуются для работы только на одном виде топлива, например на СНГ. Применение такой однотопливной системы регламентируется на промышленных автомобилях, используемых внутри помещений. При переоборудовании двигателей с впрыском топлива для работы на СНГ следует помнить, что в этом случае они будут работать как двигатели без наддува.

Так как СНГ достаточно хорошо смешивается с воздухом, то выбросы СО и других неконтролируемых компонентов отработавших газов (например полициклических ароматических углеводородов) оказываются значительно ниже, чем подобные выбросы от бензиновых двигателей, даже когда последние оборудованы трехкомпонентным каталитическим нейтрали-

затвором с замкнутым контуром. СНГ не содержит молекулярных соединений со свинцом или серой. Это топливо характеризуется очень хорошими параметрами сгорания за счет отличного смесеобразования и распределения по цилиндрам двигателя. Подобные преимущества становятся все более заметными по мере понижения температуры окружающего воздуха.

Преимущества:

- чрезвычайно высокая топливная экономичность при поездках на большие расстояния;
- выбросы токсичных компонентов (включая и CO₂) при использовании СНГ значительно ниже, чем в случае работы двигателя на бензине или дизельном топливе.

Недостатки:

- меньший эксплуатационный диапазон и повышенный объемный расход топлива по сравнению с бензиновым двигателем;
- необходимы особые меры предосторожности, так как СНГ находится под давлением;
- баллоны с СНГ требуют достаточного пространства для размещения.

В Германии установка оборудования для работы двигателя на СНГ производится в специализированных мастерских. После выполнения таких работ необходимо получить разрешение на эксплуатацию этого оборудования в инспекционный орган Германии.

Системы питания с использованием СНГ содержат (рис. 1.7; 1.8):

- ресивер с СНГ;
- наполнительный клапан;
- клапан перекрытия подачи газа;
- регулятор давления в испарителе с устройством охлаждения;
- смеситель/форсунки;
- электронный блок управления (ECU);
- серводвигатель для регулирования расхода газа;
- переключатель типа используемого топлива (СНГ/бензин).

После ресивера СНГ поступает к регулятору давления, где происходит его испарение и понижение давления.

В ECU осуществляется обработка поступивших от лямбда-зонда и датчика разряжения сигналов, которые являются исходными для управления работой серводвигателя, регулирующего расход газа, поступающего в смеситель.

Клапан перекрытия газа срабатывает сразу же после отключения зажигания. Переключатель (СНГ/бензин), установленный на панели приборов автомобиля, позволяет выбирать вид топлива.

Ресиверы должны соответствовать техническим нормам «TRG 380». На заводе-изготовителе каждый ресивер получает официальный сертификат – разрешение на эксплуатацию.

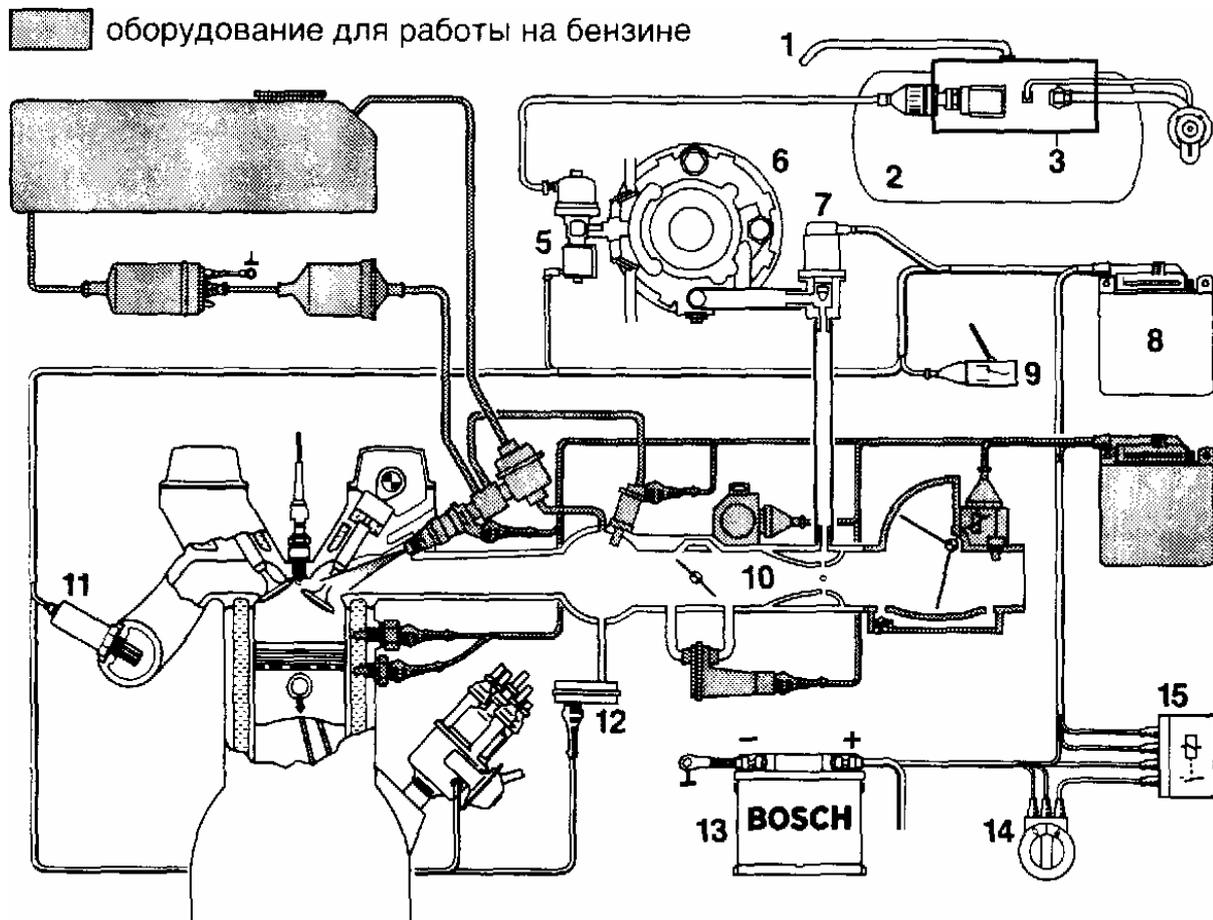


Рис. 1.7. Схема системы питания двигателя, работающего на СНГ (принцип карбюрации):

- 1 – вентиляционная трубка для газового ресивера;
- 2 – ресивер с СНГ; 3 – корпус с принадлежностями газового ресивера;
- 4 – наружный дополнительный клапан с 80 %-й отсечкой топлива;
- 5 – клапан перекрытия газа; 6 – регулятор давления в испарителе;
- 7 – серводвигатель для управления расходом газа; 8 – ECU; 9 – переключатель вида используемого топлива (СНГ или бензин); 10 – смеситель, работающий по принципу трубки Вентури; 11 – датчик кислорода (лямбда-зонд);
- 12 – датчик разрежения; 13 – аккумуляторная батарея;
- 14 – выключатель зажигания; 15 – реле

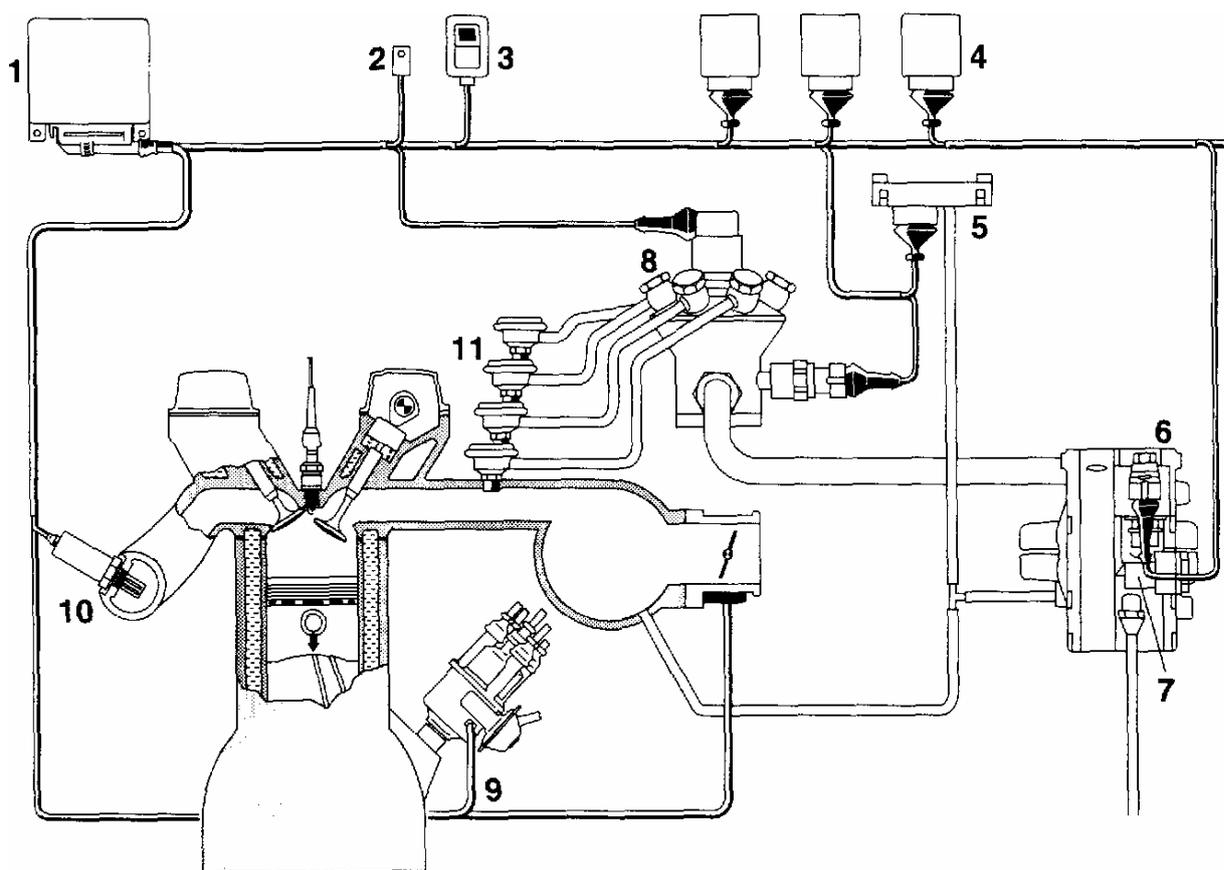


Рис. 1.8. Схема системы питания двигателя, работающего на СНГ (принцип впрыска):

- 1 – ECU; 2 – диагностический разъем; 3 – переключатель для выбора типа используемого топлива; 4 – реле; 5 – датчик давления воздуха; 6 – регулятор давления в испарителе; 7 – клапан перекрытия подачи газа; 8 – распределитель с шаговым электродвигателем; 9 – устройство для выработки сигнала, соответствующего частоте вращения коленчатого вала; 10 – лямбда-зонд; 11 – форсунки для впрыскивания газа

Ресиверы оборудуются наружным наполнительным (впускным) клапаном (с приспособлением, отсекающим подачу газа при заполнении ресивера на 80 % его объема) и соленоидным выпускным клапаном. Емкости ресиверов для легковых автомобилей составляют от 40 до 128 л.

В начале 90-х гг. ДВС потребляли ежегодно около 8,2 млн т СНГ (из которых 2,5 млн т приходилось на страны Европы). Ожидается, что приведенные цифры будут увеличиваться экспоненциально.

Запасы природного газа огромны. Этот факт делает природный газ весьма перспективной альтернативой обычному автомобильному топливу. Конструкции системы питания и выбросы отработавших газов при использовании природного и сжиженного нефтяных газов аналогичны. Природный газ может храниться в автомобиле при высоком давлении (160–200 бар) или в сжиженной форме (при 160 °С) в изолированном баке.

Единственным важным различием между концепциями, базирующимися на природном газе и СНГ, является способ подачи газа в автомобиле; действительные различия в принципах работы минимальны.

В России одним из ведущих заводов, который выпускает большими партиями автомобильные газодизели и устанавливает их на автомобили различных модификаций, является КамАЗ.

Разработкой газодизелей для работы на КПП занимается фирма «Тойота» (Япония). Переоборудованию на КПП были подвергнуты четырехцилиндровый дизель с вихревой камерой «Рикардо Комет» МК-5 и серийный дизель объемом 1470 см³ с турбокомпрессором, устанавливаемый на экспериментальный автомобиль «Викинг-4» фирмы «Фольксваген» (Германия).

Исследователи отмечали, что при переходе на газодизельный процесс мощность двигателя остается на прежнем уровне, но при этом снижается дымность ОГ.

Автомобильной промышленностью России разработаны и освоены в производстве газодизели КамАЗ моделей 744 и 749 для автомобилей-тягачей КамАЗ моделей 53208; 53218; ГАЗ-3309. В них предусмотрена установка на входном воздушном патрубке смесителя-дозатора, который подает газовое топливо в воздух и управляет количеством поступающей в дизель рабочей смеси, т.е. осуществляет количественное регулирование мощности.

Порция запального дизельного топлива на всех режимах газодизеля остается неизменной.

Холостой ход осуществляется на дизельном топливе.

Расход дизельного топлива при движении с контрольной скоростью (60 км/ч) составляет 20 % общего расхода топлива.

Основным недостатком этих газодизелей является примерное постоянство расхода запального дизельного топлива при изменении нагрузки. В результате на режимах малых нагрузок доля запального топлива в общем расходе топлива быстро возрастает и, как правило, на режиме холостого хода расходуется только дизельное топливо.

Поскольку автомобильные двигатели в течение подавляющей части времени работают на режиме частичных нагрузок, в эксплуатации нельзя ожидать более 40 % замены дизельного топлива газовым, что недостаточно эффективно решает задачу экономии дизельного топлива.

Газовая топливная система питания газодизеля КамАЗ (рис. 1.9) состоит из восьми или десяти газовых баллонов высокого давления, соединённых между собой толстостенными стальными бесшовными трубками.

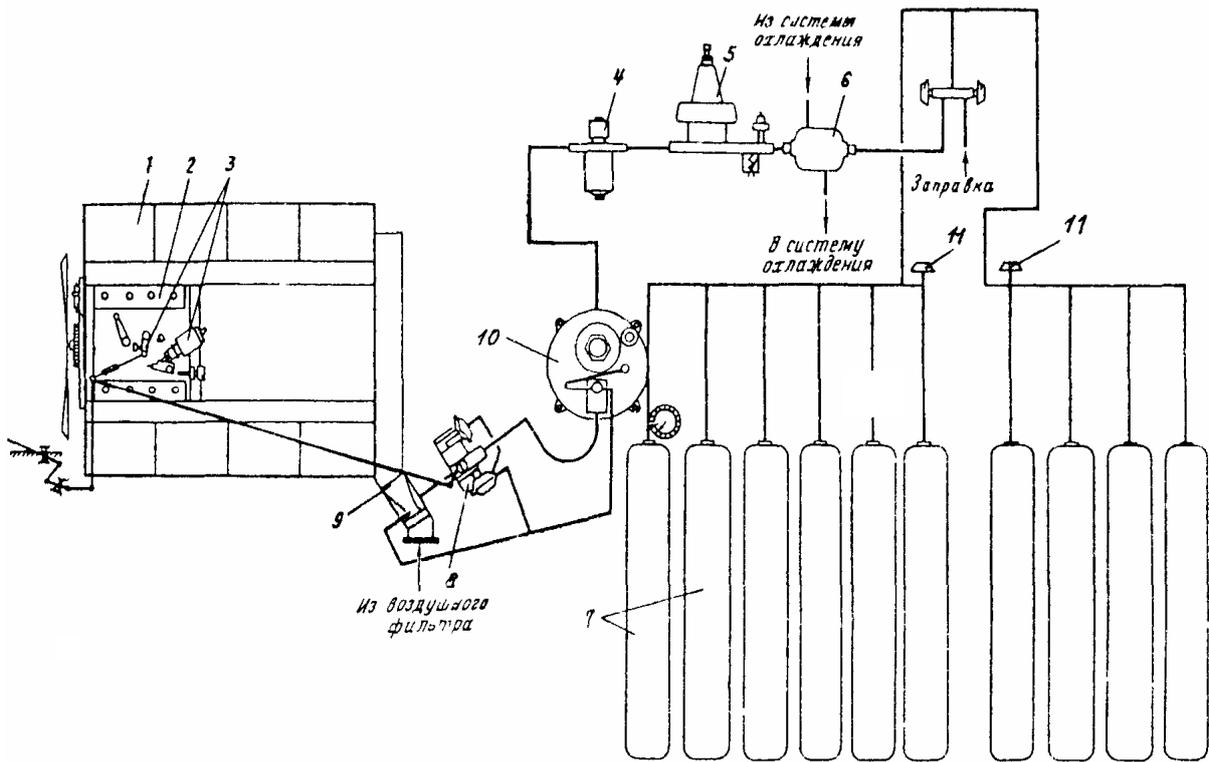


Рис. 1.9. Схема газовой топливной системы дизеля КамАЗ:

- 1 – дизель; 2 – ТНВД; 3 – элементы системы регулирования;
 4 – фильтр с электромагнитным клапаном; 5 – редуктор высокого давления;
 6 – подогреватель; 7 – газовые баллоны; 8 – дозатор; 9 – смеситель;
 10 – редуктор низкого давления; 11 – магистральный вентиль

Для повышения безопасности баллоны разделены на две секции. Каждая секция имеет свой расходный вентиль. Заполнение баллонов газом производится через наполнительный вентиль, рабочее давление в баллонах – 20 МПа, объем баллона – 50 л, объем заправленного газа, приведенного к нормальным условиям, в среднем составляет 10 м^3 для каждого баллона. Сжатый газ из баллонов 7 через магистральный вентиль 11 поступает в подогреватель 6, где нагревается за счет теплоты охлаждающей жидкости двигателя.

Из подогревателя газ поступает в редуктор высокого давления 5, в котором его давление снижается до 0,95–1,1 МПа.

Далее газ через фильтр с электромагнитным клапаном 4 поступает в двухступенчатый редуктор низкого давления 10 и затем через дозатор газа 8 – в смеситель 9.

В смесителе газ смешивается с воздухом, поступающим из воздушного фильтра. Образовавшаяся газоздушная смесь направляется в цилиндры двигателя.

В системе питания газодизельного двигателя предусмотрены элементы системы регулирования 3, исключающие одновременную подачу газа и неограниченной (полной) дозы дизельного топлива.

Принципиальная конструктивная схема системы подачи ГСН дизеля ЯМЗ-238 приведена на рис. 1.10.

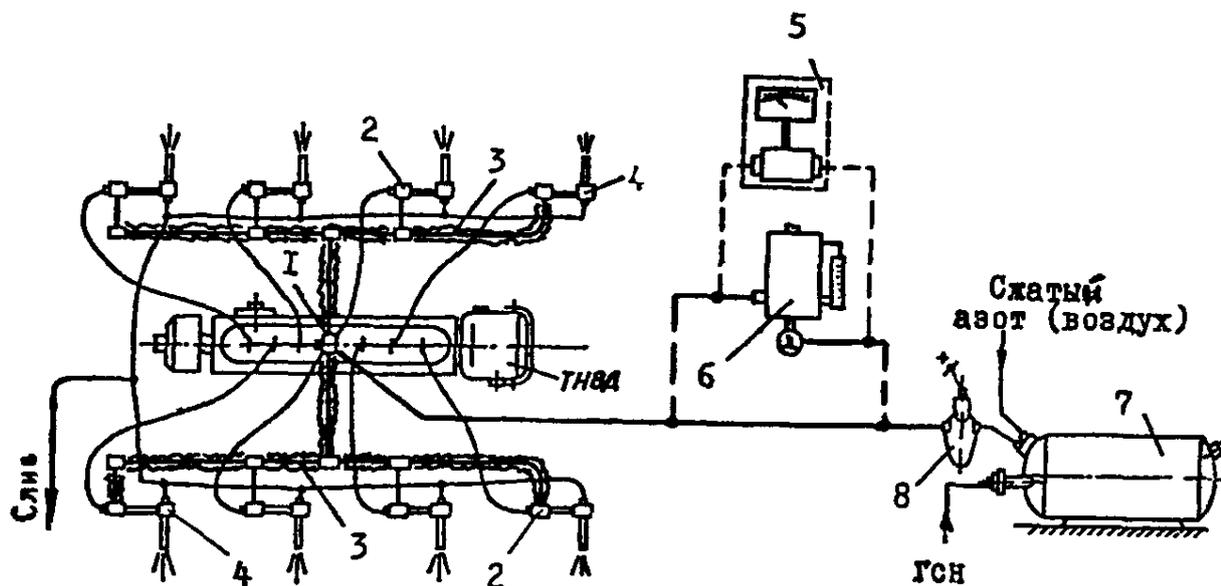


Рис. 1.10. Принципиальная схема системы подачи сжиженного газа к форсункам дизеля ЯМЗ-238

Из баллона 7 ГСН подается в ЛВД через запорный вентиль, фильтр 8 с электромагнитным клапаном, трубопроводы 3 и обратные клапаны 2 (клапаны РНД), установленные на стандартных форсунках 4.

При необходимости, система может быть дополнительно оборудована расходомером газа 5 или 6 с датчиками давления и температуры (на схеме не показаны), которые при испытании газодизеля на стенде позволяют определить расход ГСН.

Электромагнитный клапан 1 служит для отключения топливной аппаратуры дизеля от линии подачи газа, а также является средством аварийной защиты.

Чтобы исключить возможность образования паровой фазы ГСН в трубопроводах, повысить стабильность и надежность работы системы, трубки подвода ГСН снабжены теплоизоляцией 3, а в баллоне 7 следует поддерживать давление, превышающее давление насыщенных паров ГСН при температуре подкапотного пространства.

Требуемое давление в баллоне поддерживалось за счет подачи в него инертного газа. Вместо инертного газа возможно использование специального насоса для подачи жидкой фазы газа требуемого давления.

Расход ГСН (при использовании данной системы) зависит от конструктивных параметров топливной аппаратуры, а именно: длины и объема нагнетательного трубопровода, конструкции и разгружающей способности нагнетательного клапана ТНВД, массы длины хода обратного клапана (клапана РНД), жесткости его возвратной пружины и т.д.

Какие-либо специальные средства регулирования расхода ГСН в данной системе отсутствуют, хотя это регулирование принципиально возможно за счет изменения давления ГСН, регулируемого при дросселировании газа на входе в ЛВД и т.д.

Регулирование дизеля с данной топливной системой и всеми другими вариантами выполнения осуществляется обычным порядком с помощью стандартного автоматического регулятора частоты.

При работе газодизеля происходит снижение дымности в 1,5–2,0 раза на частотах вращения ниже 1900 мин^{-1} , при полных нагрузках. Одновременно происходит уменьшение концентрации оксидов азота в ОГ на 10–15 % и более. Это достигается за счет повышения качества распыливания топлива, приводящего к снижению неравномерности температур в цилиндре. В результате из-за нелинейности связи выброса NO_x с температурой выброс оксидов азота уменьшается. Положительное влияние в этом отношении может оказать и высокая теплота парообразования ГСН.

На частичных нагрузках концентрация ГСН в топливе возрастает до 30–40 %, на холостом ходу – до 20–30 %, что еще не приводит к нарушениям протекания рабочего процесса. На нагрузочных режимах ниже 40 % дымность ОГ уменьшается практически до нуля. Выброс на этих режимах легких составляющих углеводородов по сравнению с характеристиками выбросов дизеля возрастает на 50–100 ppm. Однако он остается в несколько раз или даже на порядок меньше выброса СН газодизеля с внешним смесеобразованием по газу.

Дополнительным эффектом работы предложенной системы является возможность снижения минимально устойчивой частоты вращения на $130\text{--}150 \text{ мин}^{-1}$, что связано со стабилизацией и повышением уровня начального давления топлива в ЛВД за счет ее «зарядки» порциями ГСН, вводимыми через обратный клапан.

Пересчет дымности из параметров в ед. Бош в объемные концентрации, а затем в удельные выбросы по тринадцатиступенчатому циклу показал, что последние уменьшаются от $0,32 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$ при работе на дизельном топливе до $0,1 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$ при работе на смеси дизельного топлива с ГСН.

Более существенно влияет газодизельный процесс с внутренним смесеобразованием на показатели изношенного двигателя, особенно на показатели дымности.

Исследования показывают, что впрыск смесового топлива повышает показатели качества рабочего процесса двигателя тем выше, чем ниже они были в исходном состоянии и чем больше был изношен и разрегулирован двигатель. Иначе говоря, перевод дизеля на газодизельный процесс с внутренним смесеобразованием как бы продлевает моторесурс двигателя.

Баллон служит для хранения сжиженного газа при рабочем давлении 1,58 МПа (15,8 кгс/см²). Газовые баллоны, применяемые на легковых автомобилях, одинаковы по конструкции, но различны по вместимости и массе. Для легковых автомобилей изготавливают отечественные газовые баллоны двух типов: АГ-50 общей вместимостью 50 л – для автомобилей ВАЗ, «Москвич» и АГ-76 общей вместимостью 76 л – для автомобилей «Волга». Однако запорный объем составляет соответственно 40 и 64 л для того, чтобы в баллоне над жидкой фракцией газа имелась газовоздушная подушка.

Баллоны изготавливают из углеродистой, листовой стали сварной конструкции. Средняя часть – цилиндрическая, а днища – сферические. Баллон рассчитывают на избыточное давление 4,8 МПа (48 кгс/см²), он пригоден для хранения сжиженных газов при температурах до плюс 45 °С. Баллоны при изготовлении подвергаются гидравлическому (при давлении 2,4 МПа) и пневматическому (при давлении 1,6 МПа) испытаниям и последующему клеймению. При клеймении указываются марка предприятия-изготовителя, порядковый номер, масса и объем баллона, рабочее давление, давление испытания, дата изготовления.

Баллон располагается в передней части багажного отсека автомобиля, что мало влияет на объем багажника и не мешает укладке багажа. Баллоны являются наиболее ответственными и дорогостоящими узлами газового оборудования автомобиля. От их надежности и герметичности зависит безопасность эксплуатации автомобиля, а объем и масса влияют на запас его хода на одной заправке, грузоподъемность, и вместимость. Увеличение запаса сжатого природного газа в единице объема достигается путем его сжатия до 20 МПа. Несмотря на это, объемно-массовые показатели систем хранения бензина и сжиженного газа позволяют создать на борту автомобиля запас этих топлив в 2 раза больший, чем сжатого природного газа (табл. 1.2).

Автомобильные баллоны для сжиженного газа рассчитаны на рабочее давление 1,6 МПа, что позволяет использовать их для различных смесей пропан бутанового газа при температурах от –40 до +45 °С. Для заполнения и расходования сжиженного газа баллоны снабжены расходно-наполнительной и контрольно-предохранительной арматурой.

Таблица 1.2

Объемно-массовые характеристики систем хранения
топлива автомобилей

Показатель	Бензин (ЗИЛ-130)	Сжиженный газ (ЗИЛ-138)	Сжатый газ (ЗИЛ-138А)	
			баллон из углеродистой стали	баллон из легированной стали
Масса топливного бака (баллонов), кг	21,5	102,5	720	500
Масса топлива, кг	122,5	116,5	57	
Объем топливного бака (баллонов), дм ³	170	250	400	
Объем топлива, дм ³		225		
Запас топлива, МДж	5384	5342	2340	

Муфты расходных вентилей предохранительного клапана и вентиля максимального заполнения имеют трубки внутри баллона. Трубки расходно-парового вентиля и предохранительного клапана выведены вверх для соединения с паровой фазой газа. Расходно-жидкостный вентиль, позволяющий полностью вырабатывать жидкий газ, соединен трубкой с самой нижней точкой баллона.

В связи с тем, что баллон является герметизированным сосудом, тепловое расширение сжиженного газа в нем должно компенсироваться дополнительным объемом парового пространства. Для этого при наполнении баллона количество сжиженного газа ограничивается 85–90 % объема. Чтобы выдержать это условие, в конструкции баллона имеется вентиль максимального заполнения, трубка от которого внутри баллона выведена на уровень, соответствующий предельному наполнению.

Свернутую из листовой стали обечайку и штампованное днище сваривают. Все сварные швы подвергают контролю. Для определения механической прочности баллона проводят гидравлические испытания водой под давлением 2,4 МПа. После испытаний на автомобильный газовый баллон ставят клеймо и прикладывают к нему паспорт, содержащий сведения о материале баллона, способе сварки и результатах проверки и испытаний. В клейме указываются марка завода-изготовителя, порядковый номер баллона, его масса, число, месяц и год последующих испытаний,

рабочее (Р) и пробное (П) давления, вместимость баллона, знак ОТК завода-изготовителя.

Арматура баллона в зависимости от конструкции автомобиля может быть размещена на днище (рис. 1.11, а) или на цилиндрической части (рис. 1.11, б). Герметичность соединений арматуры с баллоном, обеспечиваемую конической резьбой и прокладками при фланцевом соединении, проверяют воздухом на рабочее давление 1,6 МПа.

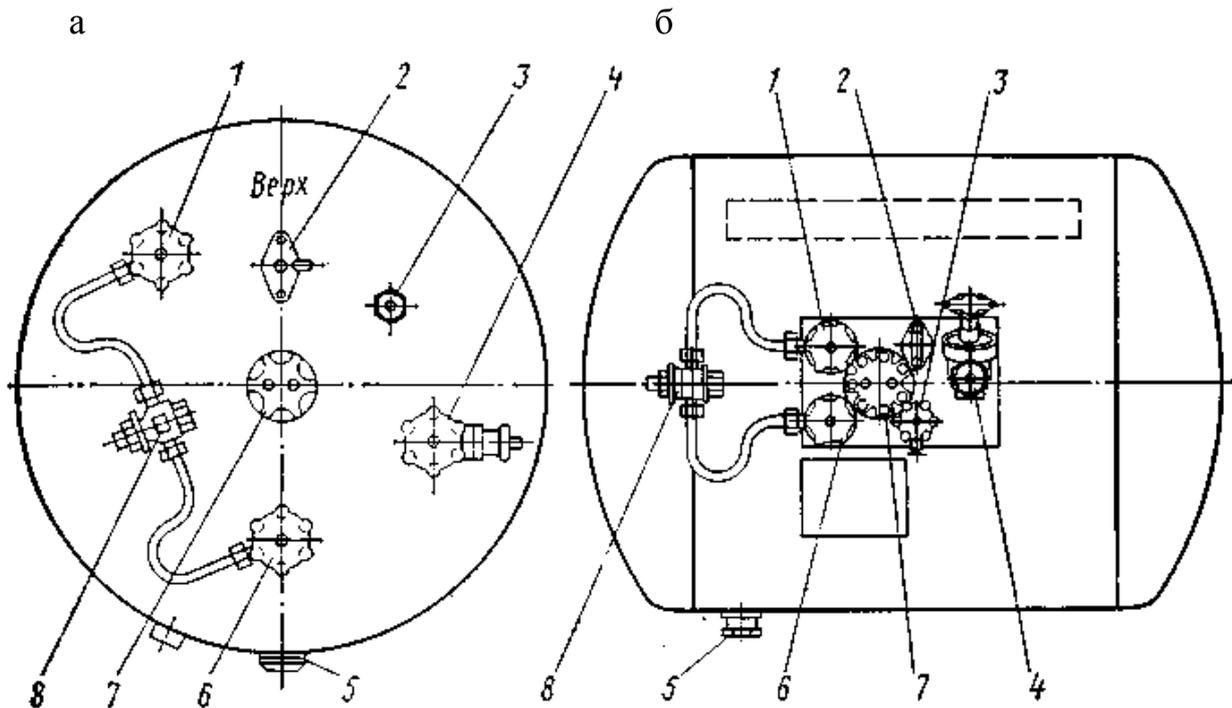


Рис. 1.11. Схемы расположения арматуры на днище газового баллона (а) и на его цилиндрической части (б):

- 1, 6 – расходные вентили паровой и жидкой фаз газа;
- 2 – предохранительный клапан; 3 – вентиль максимального заполнения;
- 4 – наполнительное устройство; 5 – пробка спускного устройства;
- 7 – датчик уровня сжиженного газа; 8 – крестовина

Технические характеристики газовых баллонов для автомобилей и автомобилей приведены в табл. 1.3.

Автомобильные баллоны для сжатого газа (рис. 1.12) рассчитаны на рабочее давление 20 МПа. Их изготавливают из цельнотянутых труб методом закатки днищ и горловин. Для снятия внутренних напряжений баллон после изготовления подвергают термической обработке.

Таблица 1.3

Техническая характеристика газовых баллонов

Показатель	Модель автомобиля (автомобиля)								
	ЗИЛ-138	ЗИЛ-138В1	ЗИЛ-ММЗ-45023	ГАЗ-53-07	ГАЗ-52-07	ЛиАЗ-677Г		ЛАЗ-695П	ГАЗ-24-07
						Тип I	Тип II		
Рабочее давление газа (максимальное), МПа	1,6								
Длина баллона, мм:									
– без арматуры	1120	804	1130	900	1300	700	1200	–	
– с арматурой	1200	915	1232	1140				1036	
Наружный диаметр баллона, мм	575		490				440	360	
Емкость баллона, л:									
– полная	250	130,5	190	150	220	111	160	93,2	
– полезная (90 %)	225	117,4	170	142	198	100	144	83,9	
Масса баллона, кг:									
– без газа	102,5	58,5	75	60,6	81,5	52,6	60,6	45	
– с газом	219,0	119,5	164	135	184,5	105,2	135,5	90,3	

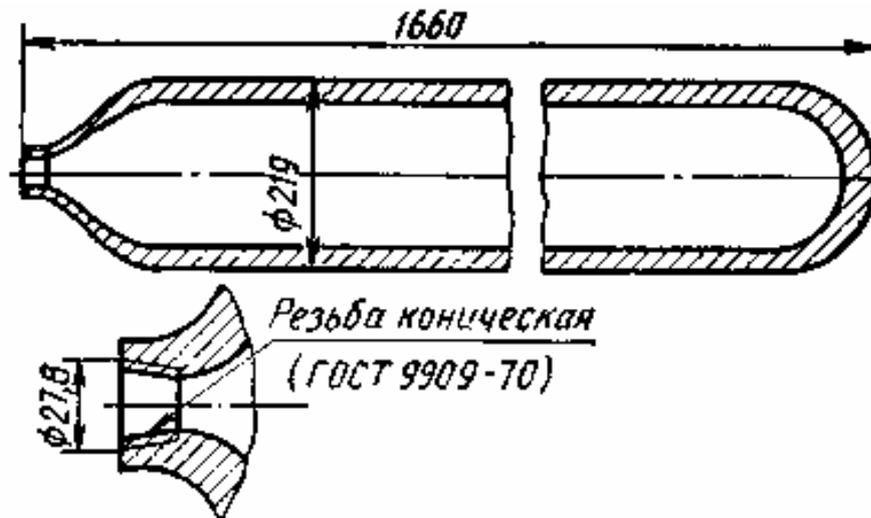


Рис. 1.12. Автомобильный баллон для сжатого природного газа

Готовые баллоны проходят испытания на прочность (гидравлическим давлением 30 МПа) и герметичность соединений с арматурой пневматическим давлением 20 МПа). Годные баллоны окрашивают в

красный цвет и в верхней части наносят клеймением следующие паспортные данные: товарный знак завода-изготовителя; номер баллона; массу баллона, кг (с точностью до 0,2 кг); дату изготовления и год следующего освидетельствования; рабочее давление, кгс/см²; пробное давление, емкость, л (с точностью до 0,3 л); клеймо ОТК завода-изготовителя. Место с нанесенными паспортными данными покрывается бесцветным лаком и обводится краской в виде рамки.

Горловина баллона имеет отверстие с конической резьбой (конусность 3°25', число ниток 14 на 1"), в которое вворачивается переходник для подсоединения трубопроводов, вентиля или манометров высокого давления. Необходимым условием правильной установки переходника в горловине баллона является остаток на нем 3–5 запасных ниток резьбы.

В настоящее время для автомобилей применяют стандартный промышленный баллон, изготовленный из углеродистой стали, и специальный – из легированной стали облегченного типа; их характеристики приведены ниже.

Характеристики автомобильных баллонов для сжатого газа

Из углеродистой стали *Из легированной стали*

Рабочее давление, МПа	20	20
Масса, кг	93	62,5
Длина, мм	1755	1660
Наружный диаметр, мм	219	219
Толщина стенки, мм	8,9	6
Емкость, дм ³	50+ ⁵	50+ ⁵
Объем газа, м ³	10	10

Блок арматуры (мультиклапан) предназначен для подключения заправочного трубопровода к заправочному устройству, расходного трубопровода к газовому электромагнитному клапану и редуктору, автоматического прекращения заправки баллона при достижении установленного предельного уровня и для отсечки газа при обрыве расходного трубопровода.

Блок арматуры (рис. 1.13) выполнен в едином корпусе и имеет штуцер 1 и вентиль 2 для заправки баллона газом, а также расходные штуцер 8 и вентиль 7. В линии заправки установлен обратный клапан 3, который после заправки предотвращает выброс газа через заправочный штуцер при открытом заправочном вентиле. Поскольку обратный клапан может не обеспечить полной герметичности, то после окончания заправки следует закрыть заправочный вентиль.

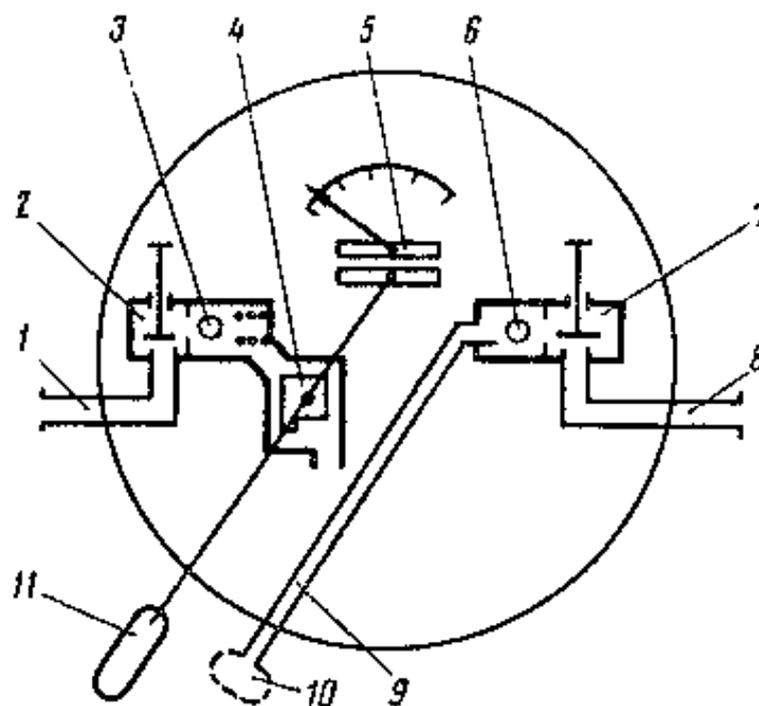


Рис. 1.13. Принципиальная схема блока арматуры баллона:

- 1 – штуцер заправки баллона; 2 – вентиль заправки; 3 – обратный клапан; 4 – ограничительный механизм уровня заправки; 5 – указатель уровня топлива в баллоне; 6 – скоростной клапан; 7 – расходный вентиль; 8 – расходный штуцер; 9 – топливозаборная трубка; 10 – фильтр; 11 – поплавок с поводком

Когда уровень заправляемого газа в баллоне достигает примерно 80 % объема, его поступление в баллон перекрывается специальным ограничительным механизмом 4, который срабатывает от магнитного привода поплавка 11 при уровне полной заправки. Уровень заправляемого в баллон топлива можно отрегулировать в специализированной мастерской газовой аппаратуры.

В линии расхода в блоке арматуры установлен скоростной клапан 6, который перекрывает расходную магистраль в случае обрыва трубопровода, т.е. предотвращает выброс газа из баллона с большой скоростью.

Таким образом, блок арматуры (мультиклапан) имеет три автоматически срабатываемых предохранительных устройства.

На блоке арматуры установлен стрелочный указатель уровня топлива в баллоне, имеющий магнитный привод от поплавка 11. Некоторые зарубежные модели блока арматуры имеют электрический датчик уровня жидкой фракции газа, работающий с указателем по принципу указателя уровня топлива. Указатель установлен в кабине водителя.

Заправочное устройство (рис. 1.14) предназначено для подключения заправочного штуцера (раздаточный пистолет) газонаполнительной станции при заправке баллона автомобиля сжиженным газом. Оно имеет встро-

енный обратный клапан 3 для предотвращения утечки после окончания заправки и отключения шланга раздаточного пистолета. Штуцер заправочного устройства стандартный, поэтому можно заправляться на любой заправочной станции России и ближнего зарубежья. Однако для заправки газобаллонного комплекта зарубежного производства на автомобиле необходимо иметь переходный штуцер.

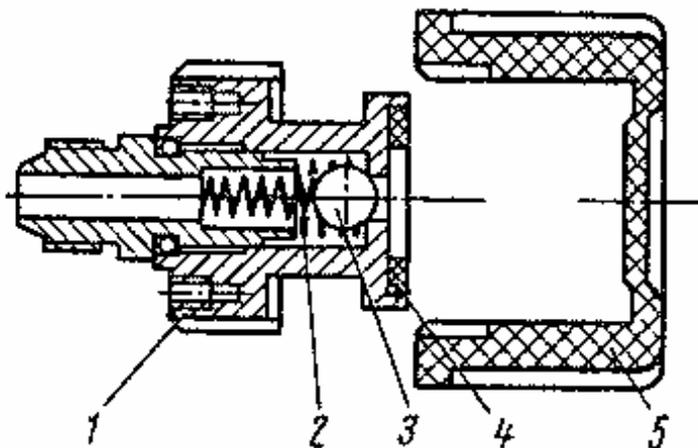


Рис. 1.14. Заправочное устройство:

- 1 – корпус; 2 – пружина обратного клапана; 3 – обратный клапан;
4 – уплотнительное резиновое кольцо; 5 – колпачок

После окончания заправки и отсоединения раздаточного пистолета заправочное устройство следует закрыть колпачком 5.

Система вентиляции состоит из вентиляционной камеры, в которой размещен блок арматуры, и двух гофрошлангов, выводящих возможные утечки газа из блока арматуры за пределы кузова автомобиля. Вентиляционная камера представляет собой герметизированный цилиндрический короб, установленный на баллоне, с прозрачной, легко открываемой крышкой. Гофрированные шланги, через которые вводятся трубопроводы от заправочного устройства и трубопровод в систему питания, служат для притока и оттока воздуха, для чего концы гофрошлангов выводятся за борт кузова автомобиля.

Арматура газобаллонной установки автомобиля выполняет запорно-предохранительные функции и обеспечивает подачу газа отбаллона к двигателю. К автомобильной газовой арматуре предъявляют повышенные требования по герметичности узлов и соединений. Из-за утечки газа в результате негерметичности вентилях и газовых коммуникаций, кроме потери исходного топлива, возникают пожаро- и взрывоопасные ситуации.

Степень герметизации арматуры обеспечивается уровнем конструктивного исполнения. Герметичность автомобильных вентилях должна соответствовать нормам I класса (ГОСТ 9544–75). При испытании воздухом на

рабочее давление утечка из вентилях, применяемых в установках для сжиженного газа, не должна превышать $0,2 \text{ см}^3/\text{мин}$, а для сжатого – $2 \text{ см}^3/\text{мин}$. В конструкции трубопроводов подвижность соединяемых узлов обеспечивается компенсационными витками и гибкими шлангами, а герметичность стыков – беспрокладочным ниппельным соединением. Классифицируют арматуру по значению рабочего давления и виду газа.

Арматура баллона для сжиженного газа. В комплект арматуры, устанавливаемой на автомобильном баллоне для сжиженного газа, входят два расходных вентиля, наполнительное устройство, вентиль максимального заполнения баллона, датчик указателя уровня газа и предохранительный клапан. Кроме того, в комплект газобаллонной установки входят магистральный вентиль и скоростные клапаны. Наполнительное устройство (рис. 1.15) состоит из наполнительного вентиля и обратного клапана. Выходное отверстие для газа перекрывается клапаном 3 при вращении штока вентиля 5 по часовой стрелке. Внешняя герметичность вентиля обеспечивается разделительной диафрагмой 4. В аварийных случаях (отрыв заправочного шланга, неисправность вентиля и т.п.) выход газа из баллона прекращается с помощью обратного клапана 7, который выполнен совместно с вентиляем в корпусе 1. Герметичное закрытие клапана достигается под действием давления газа в баллоне и усилия пружины 6.

Заправочное отверстие в корпусе вентиля закрывается пробкой 8, которая служит для предотвращения попадания в баллон влаги и грязи и выпуска газа из внутренней полости вентиля после заправки баллона. При ввертывании пробки обратный клапан отжимается штоком 10 и газ через дренажное отверстие 9 выпускается в атмосферу.

Расходный вентиль (рис. 1.16) служит для отбора газа из баллона. Конструктивно он не отличается от наполнительного и по основным деталям (клапан, седло, диафрагма, шток и др.) унифицирован с ним.

Расходный и наполнительный вентили (см. рис. 1.15, 1.16) газобаллонной установки имеют одинаковое конструктивное исполнение. Они состоят из корпуса 10, клапана 8, шпинделя 4, мембраны 5, пружины 7, зажимной 2 и упорной 6 гаек и маховика 3. Для присоединения трубопроводов с ниппельным уплотнением на вентили устанавливают переходный штуцер. На штуцер наполнительного вентиля устанавливают заглушку, предохраняющую от попадания грязи и влаги и обеспечивающую дополнительную герметичность запорного устройства во время эксплуатации автомобиля. Вентили обеспечивают герметичность клапана и резьбового соединения переходника.

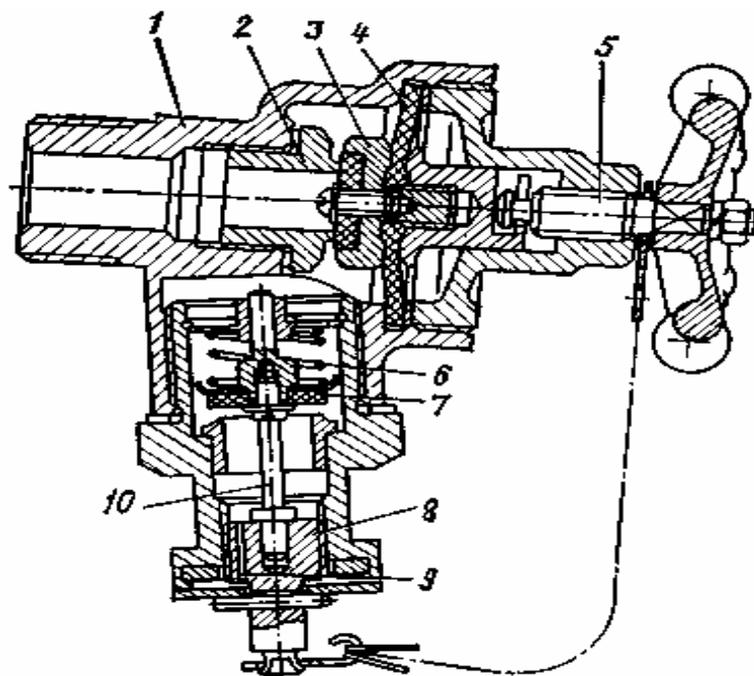


Рис. 1.15. Наполнительное устройство:

- 1 – корпус; 2 – седло; 3 – клапан; 4 – разделительная диафрагма;
 5 – шток вентиля; 6 – пружина обратного клапана; 7 – обратный клапан;
 8 – пробка; 9 – дренажное отверстие; 10 – отжимный шток

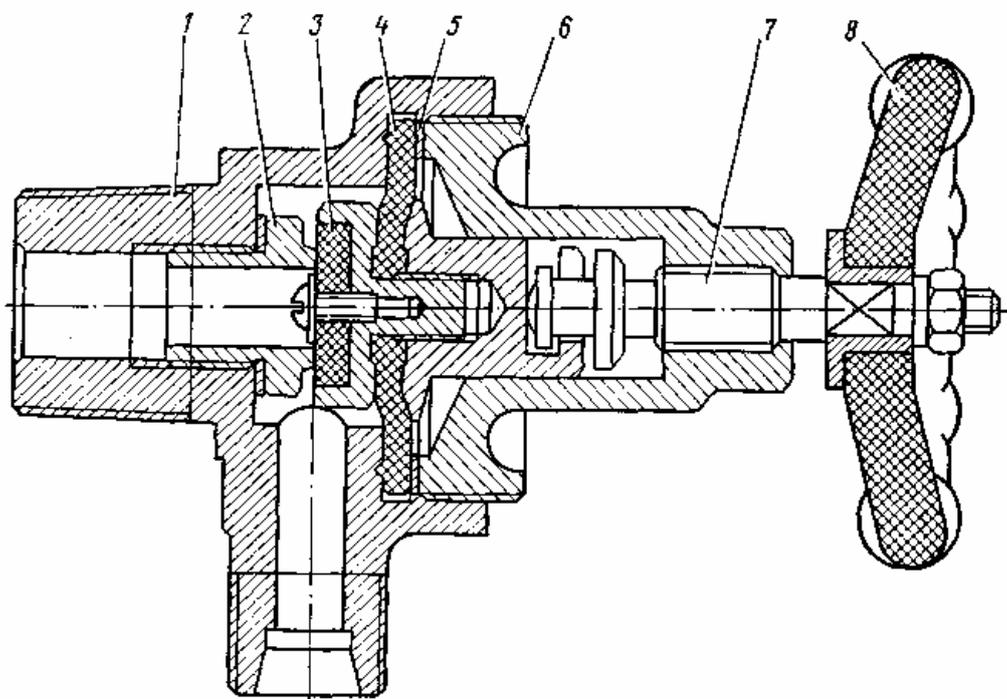


Рис. 1.16. Расходный вентиль:

- 1 – корпус; 2 – седло; 3 – клапан; 4 – разделительная диафрагма;
 5 – шайба; 6 – крышка; 7 – шток; 8 – маховик

Вентиль максимального заполнения баллона (рис. 1.17) служит для определения момента окончания заправки. Отверстие для выхода газа перекрывается клапаном 3 при вращении штока 2 по часовой стрелке. Герметичность штока вентиля обеспечивается сальником 1.

Предохранительный клапан (рис. 1.18) предназначен для предотвращения повышения давления газа в баллоне выше допустимого. Открытие клапана происходит при давлении 1,68 МПа. Под давлением газа, находящегося в баллоне, клапан 5 отходит от седла, преодолевая усилие пружины 4, и через дренажные отверстия обеспечивает выход паровой фазы газа в атмосферу. Усилие пружины регулируют регулировочными шайбами 2. На отрегулированный предохранительный клапан устанавливают пломбу 1. Конструкция клапана позволяет принудительно проверять его работоспособность вытягиванием штока 3.

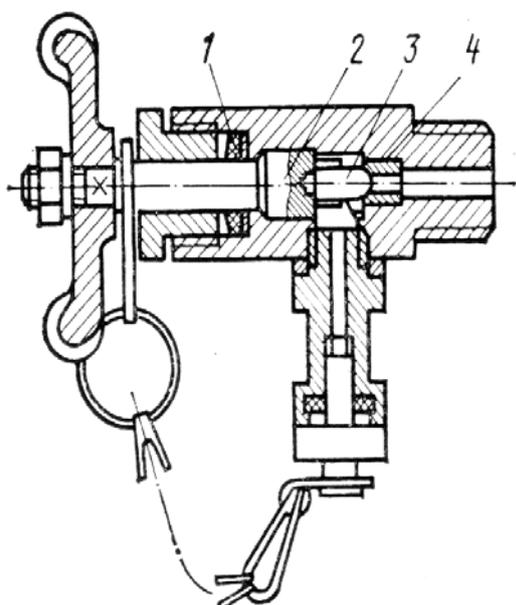


Рис. 1.17. Вентиль максимального заполнения баллона: 1 – сальник; 2 – шток вентиля; 3 – клапан; 4 – седло

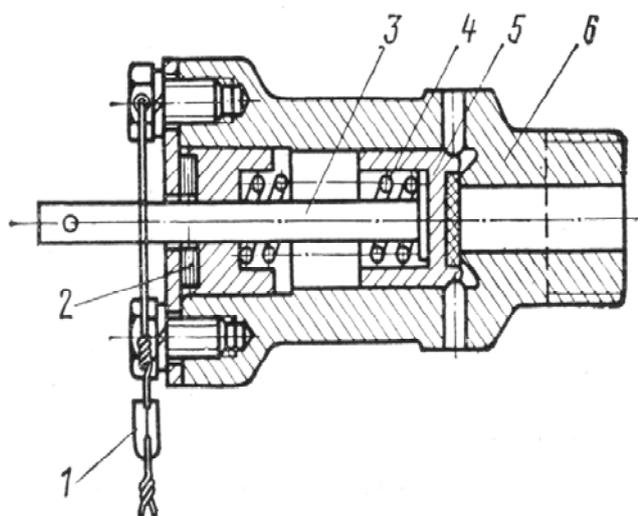


Рис. 1.18. Предохранительный клапан: 1 – пломба; 2 – регулировочные шайбы; 3 – шток; 4 – пружина; 5 – клапан; 6 – корпус

Указатель уровня газа (дистанционного типа) состоит из датчика и собственно указателя. Датчик (рис. 1.19), устанавливаемый на баллоне, представляет собой устройство, которое работает на принципе изменения тока в цепи указателя вследствие изменения сопротивления реостата при перемещении поплавка 2. Электрическая часть датчика унифицирована с электрической частью датчика уровня бензина, что позволяет использовать бензиновый указатель, установленный в кабине автомобиля.

Магистральный вентиль (рис. 1.20) предназначен для прекращения подачи газа из баллона к двигателю. Маховик 5 управления вентиляем рас-

положен в кабине водителя. При вращении маховика шток 4 перемещается вдоль оси и закрывает или открывает клапан 2. Герметичность штока обеспечивается двумя резиновыми кольцевыми уплотнениями 3.

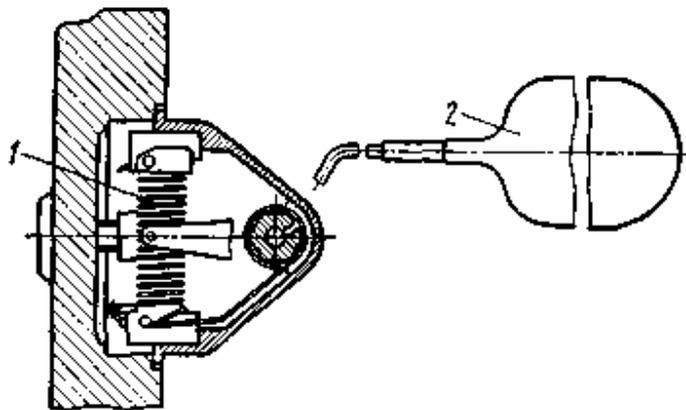


Рис.1.19. Датчик: 1 – реостат; 2 – поплавок

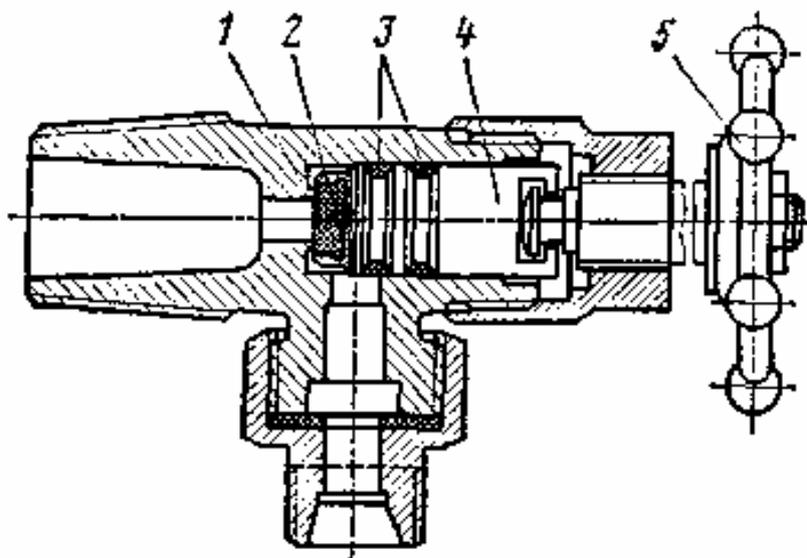


Рис. 1.20. Магистральный вентиль:

1 – седло; 2 – клапан; 3 – кольцевые уплотнения; 4 – шток; 5 – маховик

Скоростные клапаны (рис. 1.21), устанавливаемые на выходных штуцерах паровых и жидкостных вентилей газового баллона, служат для перекрытия газовой магистрали в аварийных случаях (обрыв шланга, негерметичность газового редуктора и т.п.). При расходе газа, соответствующем нормальной работе двигателя, клапан 3 под действием пружины 4 находится в открытом положении и прижат к стопорному кольцу 2. При увеличении расхода газа скоростной поток преодолевает усилие пружины и клапан закрывает газовую магистраль.

Арматура баллона для сжатого газа. К арматуре, устанавливаемой на баллонах для сжатого газа, относятся переходники, которые ввертываются в горловину баллона, два баллонных (расходных) вентиля, служащих для подключения секций баллонов к общей магистрали, наполнительный и магистральный вентили и соединительные трубопроводы.

Переходники (рис. 1.22) позволяют соединять газовые баллоны в секции, присоединять манометр и одновременно устанавливать вентиль, тем самым сокращая число резьбовых соединений. Переходники баллонов выполнены из стали и имеют внутреннюю и наружную коническую резьбу, такую же, как в горловине баллона и на вентилях.

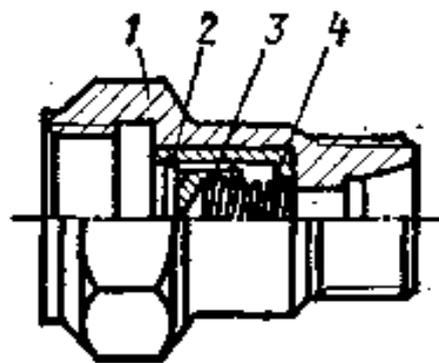


Рис. 1.21. Скоростной клапан:
1 – корпус; 2 – стопорное кольцо; 3 – клапан;
4 – пружина

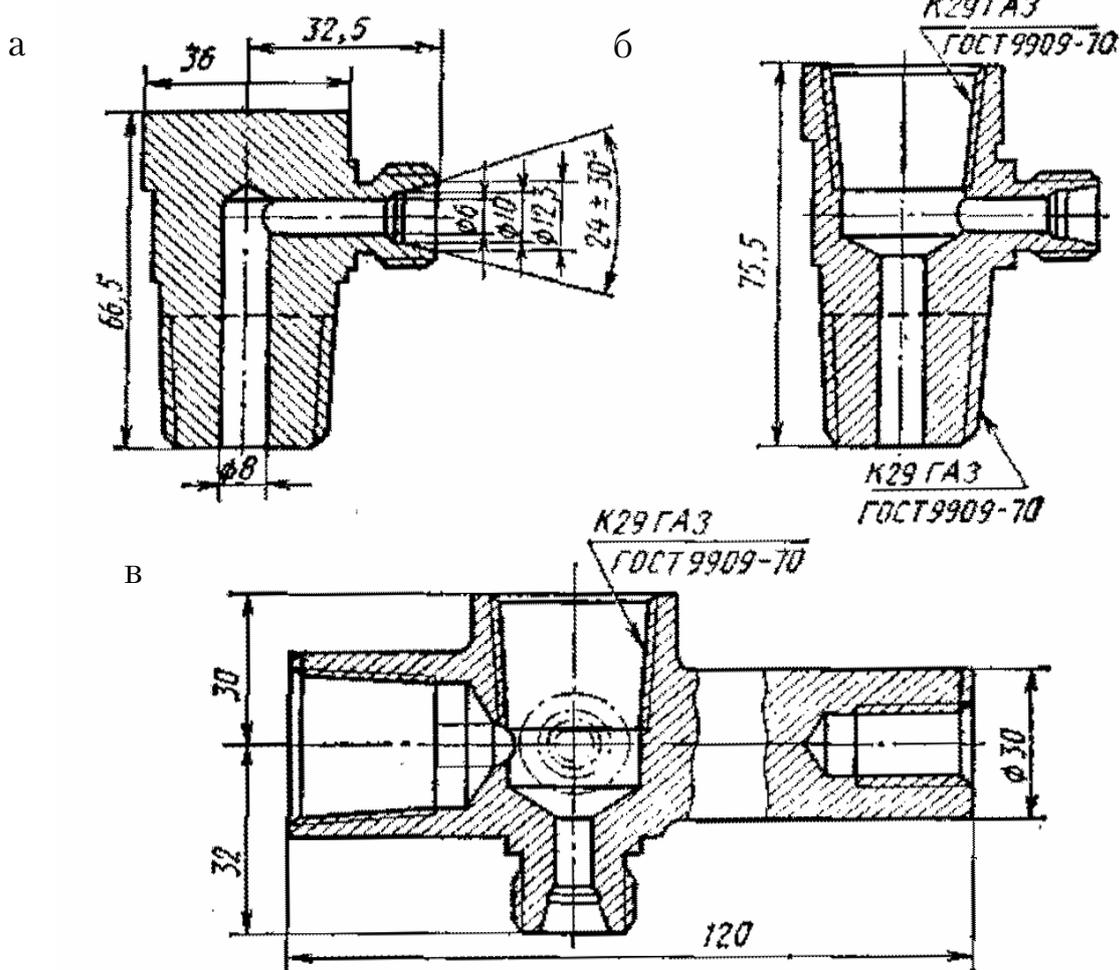


Рис. 1.22. Переходники: а – угольник баллона;
б – вентильный тройник баллона; в – крестовина наполнительного вентиля

Устанавливают переходник и вентили (рис. 1.23), применяя свинцовый глет, разведенный на натуральной олифе, или свинцовый сурик, разведенный на олифе оксоль.

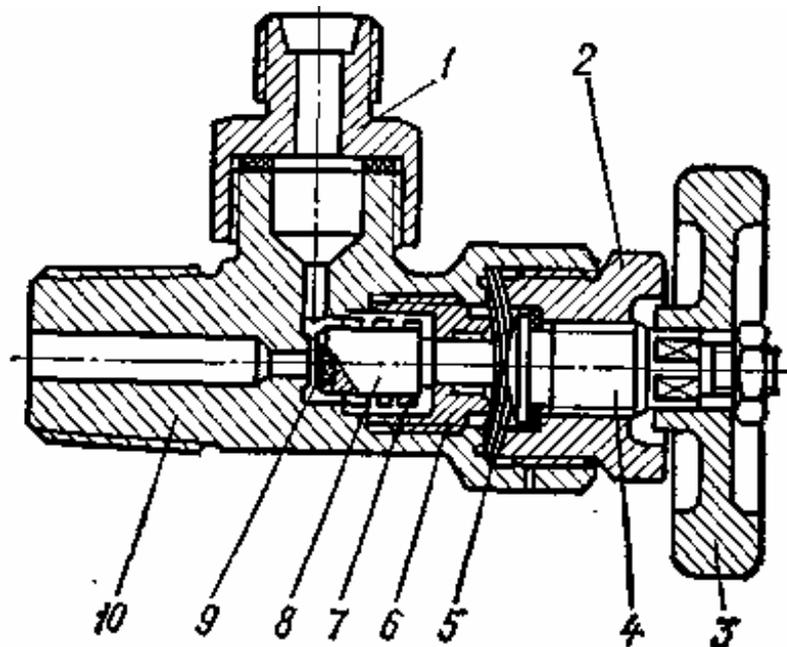


Рис. 1.23. Вентиль для сжатого газа:

- 1 – переходный штуцер; 2, 6 – зажимная и упорная гайки;
 3 – маховик; 4 – шпindelь; 5 – мембрана; 7 – пружина; 8 – клапан;
 9 – вставка клапана; 10 – корпус

Соединительные трубопроводы в соответствии с рабочим давлением могут быть разделены на три группы.

К *первой группе* относятся трубопроводы, работающие под давлением до 20 МПа. Их изготавливают из стальных бесшовных трубок с наружным диаметром 10 мм и толщиной стенок 2 мм; подвижность соединений узлов обеспечивается в этом случае компенсационным кольцом трубки.

Ко *второй группе* относятся трубопроводы, работающие под давлением до 1,6 МПа. Материалом для их изготовления служат стальные трубки диаметром 10 мм и толщиной стенок 1 мм. В тех местах, где трубопроводы подвергаются постоянной вибрации, вместо стальных трубок применяют гибкие шланги высокого давления со специальной заделкой наконечников (рис. 1.24).

Герметичность соединений в трубопроводах высокого давления первой и второй групп обеспечивается ниппельным соединением (рис. 1.25). При затягивании гайки 2 ниппель 3 деформируется и, врезаюсь в тело трубки 4 и упиравшись в коническую поверхность штуцера 1, герметизирует соединение.

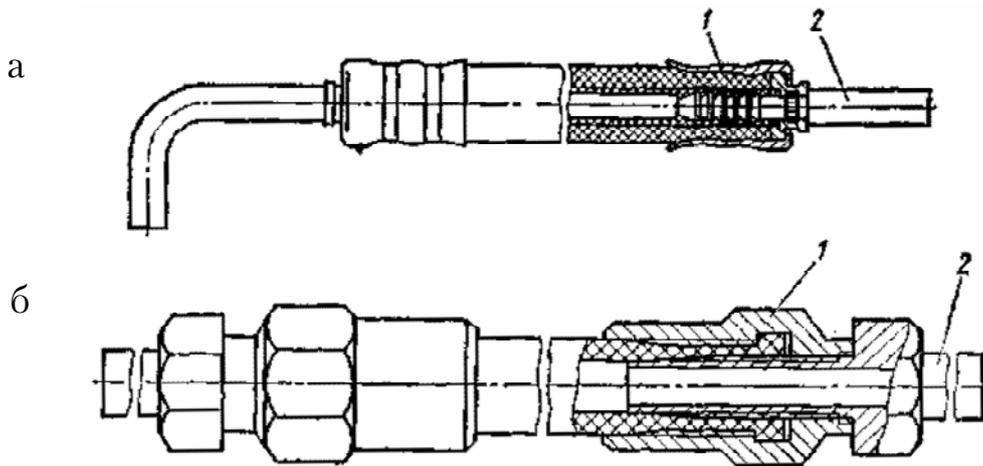


Рис. 1.24. Шланги высокого давления:
а – с обшивной муфтой; б – с резьбовым ниппелем; 1 – муфта; 2 – ниппель

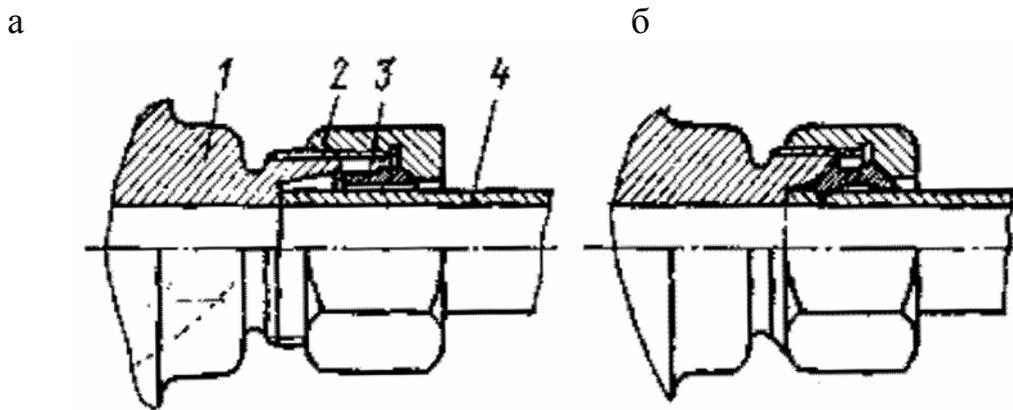


Рис. 1.25. Ниппельное соединение:
а – до затяжки; б – после затяжки; 1 – гайка; 2 – ниппель; 3 – штуцер; 4 – трубка

К *третьей группе* относятся трубопроводы, работающие под низким давлением (до 0,01 МПа). Их выполняют из дюритовых шлангов и тонкостенных стальных трубок. Места соединений уплотняют проволочными или ленточными хомутами. Трубопроводы, изготовленные из стали, для предохранения от коррозии окрашивают краской; стальные детали соединений защищают металлическим покрытием.

Для двигателя с внешним смесеобразованием давление сжиженного газа на входе в газосмесительное устройство должно быть снижено до атмосферного. Поскольку снижение давления газа может происходить только при парообразном состоянии последнего, перед редуктором устанавливают *испаритель* газа. Для испарения может быть использована теплота жидкости системы охлаждения двигателя или отработавших газов, а также электрический подогрев.

Испарительная способность устройства в первую очередь зависит от температуры и состава газа, коэффициента удельной теплопроводности и

величины поверхности испарения. Количество теплоты, которую необходимо подвести в испарительное устройство, включает теплоту, идущую на превращение газа из жидкости в насыщенный пар, и теплоту, идущую на перегрев паров газа и необходимую для компенсации тепловых потерь в процессе снижения давления (редуцирования) газа (табл. 1.4).

Т а б л и ц а 1 . 4

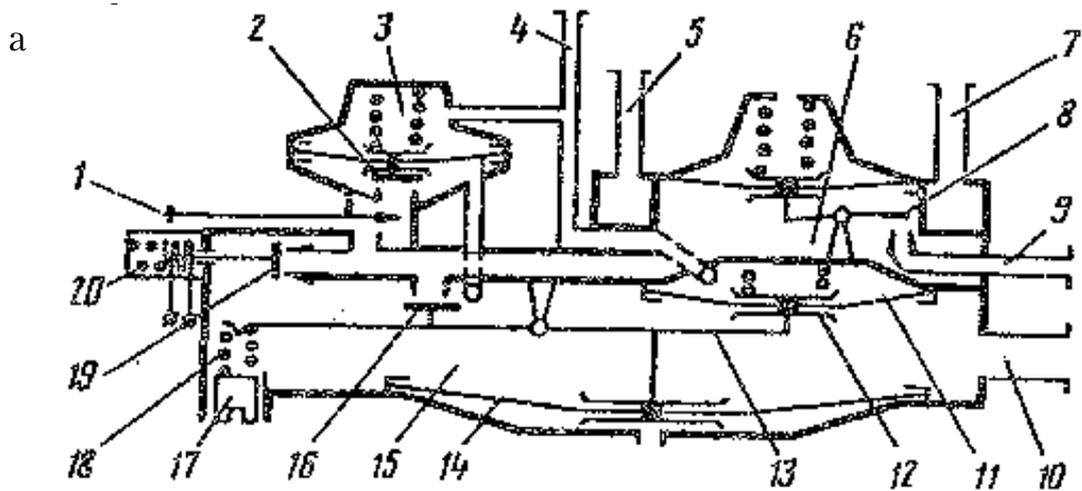
Теплота, необходимая для парообразования r
и перегрева паров ΔJ этана и пропана

Температура сжиженного газа в баллоне, °С	C ₂ H ₄		C ₃ H ₈	
	r , кДж/кг	ΔJ при $t = 30$ °С, кДж/кг	r , кДж/кг	ΔJ при $t = 30$ °С, кДж/кг
–40	407,19	145,58	423,52	107,52
–30	386,38	138,76	412,13	95,80
–20	362,72	133,69	400,70	85,12
–10	335,63	129,67	388,34	74,65
0	304,44	128,29	375,03	64,19
+10	265,62	131,09	360,88	54,60
+20	213,58	140,39	345,59	45,76
+30	121,34	168,11	328,55	39,06
+40	–	–	308,83	35,09
+50	–	–	264,91	28,39

Из табл. 1.4 следует, что при повышении температуры газа в баллоне требуется меньше теплоты для его полного испарения в аппаратуре и перегрева паров до заданной температуры. Однако при снижении первоначальной температуры газа и при постоянной температуре теплоносителя (охлаждающая жидкость двигателя) увеличивается перепад температур в испарительном устройстве и возрастает общий подвод теплоты к газу, что улучшает теплопередачу и испарение газа.

Редуктор-испаритель – наиболее важный агрегат в процессе образования необходимого состава газозвушной смеси, заданного режимом работы двигателя (рис. 1.26).

Разработаны и производятся несколько вариантов отечественных редукторов-испарителей. Кроме того, на автомобилях установлено и эксплуатируется множество типов зарубежных редукторов-испарителей различных фирм. Принципиальная схема редуктора-испарителя (рис. 1.26,а) разработана в 1988 г. НАМИ и Новогрудским заводом газовой аппаратуры.



б

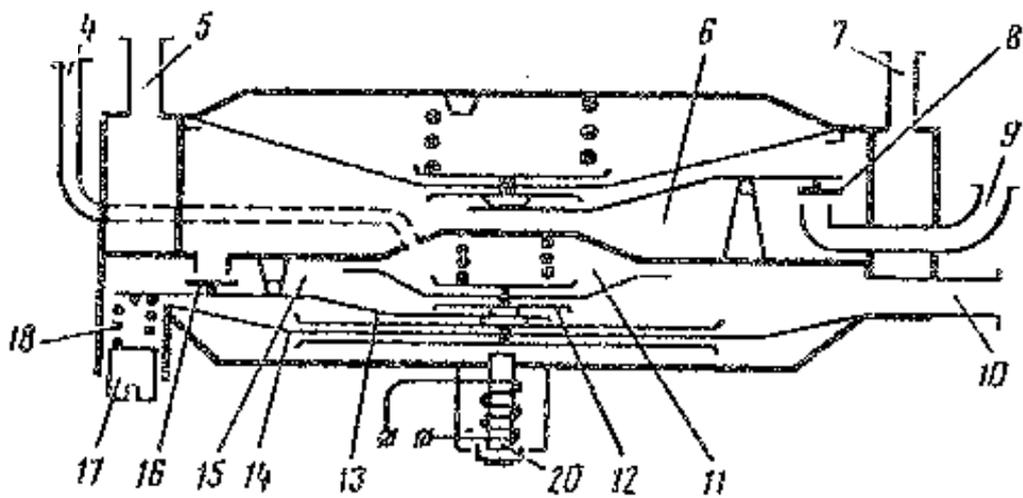


Рис. 1.26. Принципиальные схемы редуктора-испарителя отечественного (а) и фирмы Бедини (Италия) (б):

- 1 – винт регулировки холостого хода; 2 – клапан системы холостого хода; 3 – вакуумная полость; 4 – штуцер подвода разрежения; 5, 7 – штуцеры для подвода и отвода охлаждающей жидкости; 6 – полость; 8 – клапан 1-й ступени; 9, 10 – входной и выходной штуцеры газа; 11 – полость разгрузочного устройства; 12 – мембрана разгрузочного устройства; 13 – рычаг клапана 2-й ступени; 14 – мембрана 2-й ступени; 15 – полость 2-й ступени; 16 – клапан 2-й ступени; 17 – регулировочный винт давления во 2-й ступени; 18 – пружина клапана 2-й ступени; 19 – пусковой клапан; 20 – пусковое устройство

Редуктор-испаритель представляет собой двухступенчатый автоматический регулятор давления диафрагменного типа. В единый корпус регулятора

встроен испаритель жидкой фракции газа, это полость 6 1-й ступени регулятора, омываемая горячей водой охлаждающей жидкости через штуцеры 5 и 7. Редуктор-испаритель содержит:

- 1-ю ступень редукции 6 (испаритель);
- 2-ю ступень (полость 15), понижающую давление до значения, близкого к атмосферному и, поддерживающую его в пределах от минус 10 до плюс 5 мм водяного столба;
- разгрузочное устройство (полость 11), принудительно закрывающее клапан 2-й ступени 16 при остановке двигателя и предотвращающее этим утечку при неработающем двигателе.

Разгрузочное устройство срабатывает от разрежения, создаваемого во в всасывающем коллекторе.

Редуктор-испаритель также содержит систему холостого хода, регулирующую подачу газа в двигатель на холостом ходу в зависимости от создаваемого разрежения во впускном коллекторе, и пусковое устройство, работающее с помощью электромагнитного устройства по «команде» водителя.

В более поздних моделях редуктора – испарителя система холостого хода отсутствует.

Редуктор-испаритель имеет регулировочный винт 17, влияющий на количество газа, поступающего в двигатель в режиме малой частоты вращения коленчатого вала. В моделях редуктора с системой холостого хода есть регулировочный винт 1, влияющий на подачу газа в режиме холостого хода.

Работа редуктора-испарителя

Газ в жидкой фазе поступает ко входному штуцеру 9. При открытом клапане 8 давление в 1-й ступени повышается до 0,07–0,09 МПа, при котором мембрана, преодолевая усилие пружины, прогибается и закрывает клапан 8.

Перед пуском двигателя для заполнения газом системы низкого давления от редуктора до смесителя водитель 2–3 секунды нажимает на ручку – кнопку переключателя рода топлива 15. Пусковой клапан 19 (см. рис. 1.26) под действием электромагнита пускового устройства 20 открывается и газ в газообразной фазе поступает в полость 15 2-й ступени и через выходной штуцер 10 направляется в газовый смеситель, что дает возможность произвести запуск двигателя.

После запуска двигателя разрежение, создаваемое во впускном коллекторе, распространяется через штуцер 4 в полость 3. Мембрана прогибается, преодолевая усилие пружины, и открывает клапан 2 системы холостого хода. Газ поступает в полость 15 2-й ступени, что обеспечивает работу двигателя на холостом ходу (это относится только к редукторам с системой холостого хода).

Одновременно в полость разгрузочного устройства 11 также передается разрежение через штуцер 4, вследствие чего через клапан 16 начинает слабо поступать газ в полость 15 2-й ступени редуктора, где устанавливается избыточное давление.

С увеличением частоты вращения коленчатого вала двигателя увеличиваются расход воздуха через впускной коллектор, а соответственно и разрежение, которое передается на мембрану 14. Диафрагма прогибается, и открывает клапан 16, увеличивая расход газа.

Таким образом, мембрана 14 автоматически регулирует подачу газа в соответствии с разрежением в диффузоре смесителя. Из редуктора-испарителя через штуцер 10 газ попадает в газовый смеситель, установленный в карбюраторе.

На автомобилях ГАЗ-53-07 и ЗИЛ-138 установлен испаритель (рис. 1.27) разборной конструкции, состоящий из двух литых алюминиевых частей, в месте разъема которых проходят газовые каналы. Разборная конструкция позволяет очищать газовые каналы от отложений. Источником теплоты в этом испарителе служит жидкость из системы охлаждения двигателя.

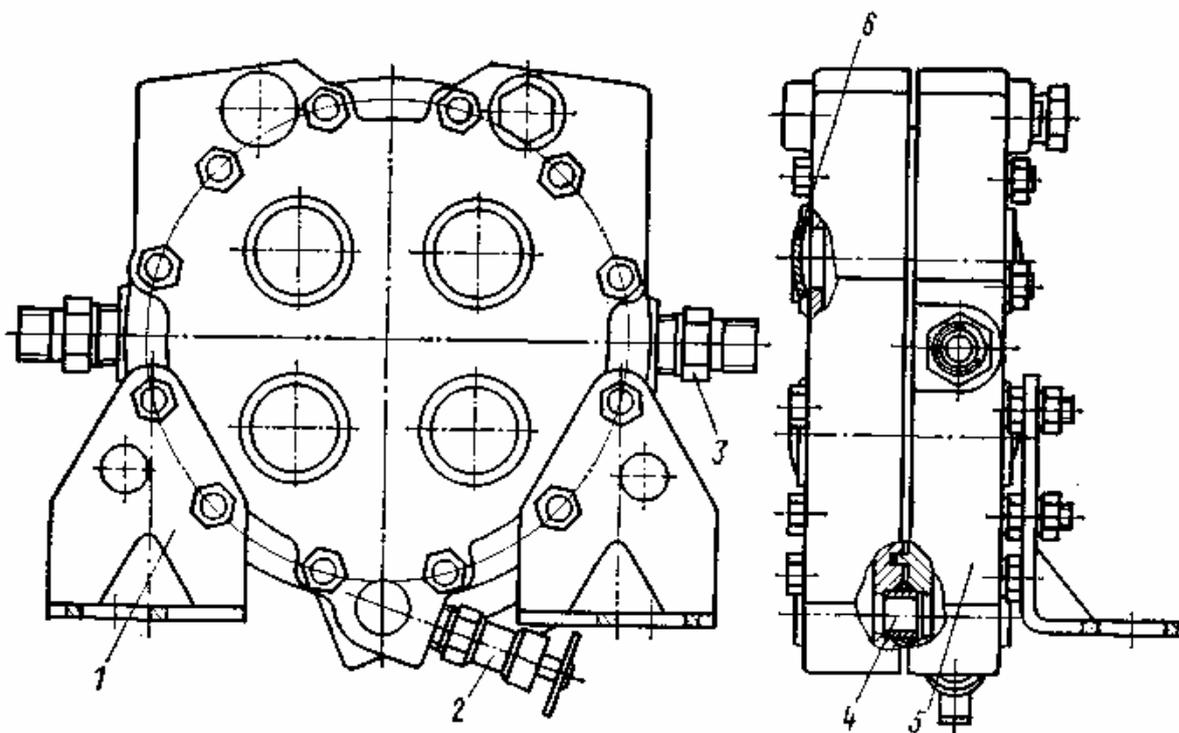


Рис. 1.27. Испаритель газа:

- 1 – кронштейн; 2 – спускной кран для воды;
- 3 – штуцер входа (выхода) газа; 4 – канал водяной полости; 5 – корпус;
- 6 – заглушка водяной полости

Испаритель обеспечивает перевод газа из жидкого состояния в парообразное при температуре охлаждающей жидкости 80 °С и выше в любое

время года и на всех режимах работы двигателя. В газобаллонной установке автомобиля, работающего на сжатом газе, происходит снижение давления газа от 20 МПа до атмосферного, что сопровождается его охлаждением. Это, в свою очередь, вызывает образование пробок из содержащихся в газе влаги и углекислоты. Для предотвращения этого явления перед редуцированием применяют подогрев газа, осуществляемый за счет теплоты отработавших газов или жидкости из системы охлаждения двигателя.

Подогреватель, применяемый на автомобилях ЗИЛ-138А (рис. 1.28), состоит из корпуса 2 и трубки-змеевика 5 для подогрева газа с входным 3 и выходным 4 патрубками. Подогрев газа осуществляется отработавшими газами двигателя. Входной патрубок 1 подогревателя соединен с приемной трубой глушителя. Отработавшие газы выбрасываются в атмосферу через выходной патрубок 6. От механических примесей газ может очищаться как в жидкой, так и в паровой фазе, но улавливание смолистых веществ и сернистых соединений возможно только в паровой фазе. Для этих целей в газобаллонной установке автомобиля применяют *фильтры* (с войлочными кольцами и сетчатым), которые устанавливают в магистрали после испарителя.

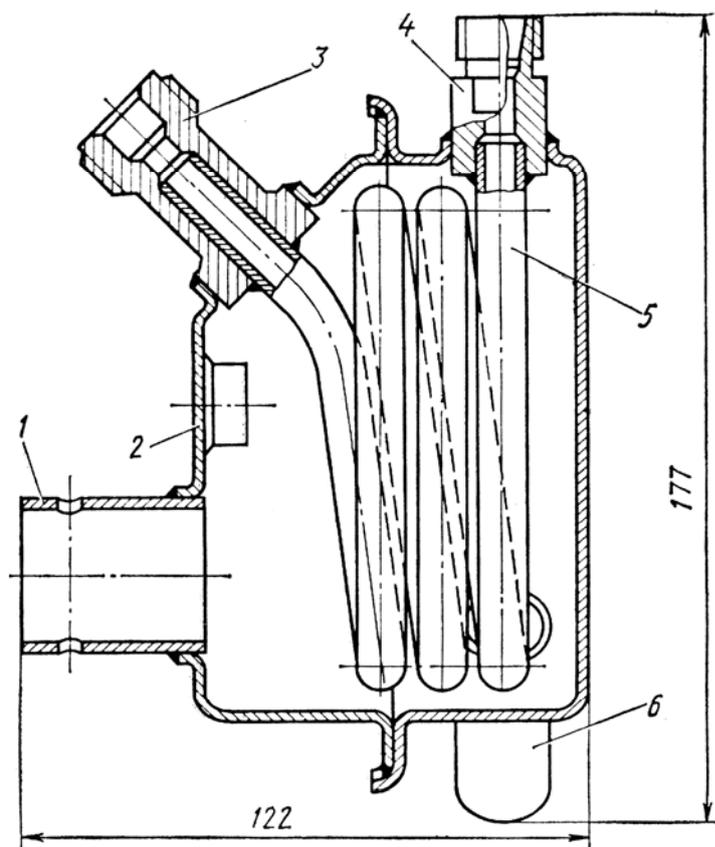


Рис. 1.28. Подогреватель газа:

- 1, 6 – входной и выходной патрубки отработавших газов; 2 – корпус;
3, 4 – входной и выходной патрубки газа; 5 – змеевик

Фильтр газа с войлочными кольцами (рис. 1.29) имеет разборную конструкцию.

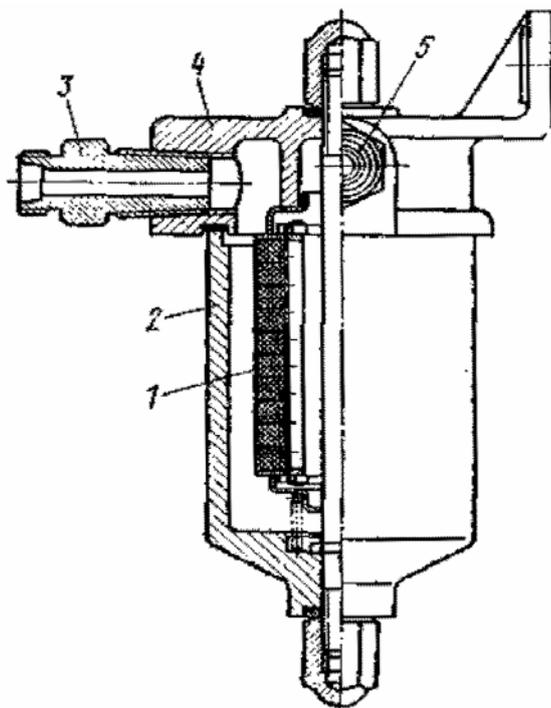


Рис. 1.29. Фильтр газа с войлочными кольцами:
1 – фильтрующий элемент; 2 – отстойник;
3, 5 – штуцера входа и выхода газа; 4 – корпус

Фильтрующий элемент 1 состоит из сетки и пакета войлочных колец. Сетчатый фильтр газа (рис. 1.30) устанавливают в газовом редукторе.

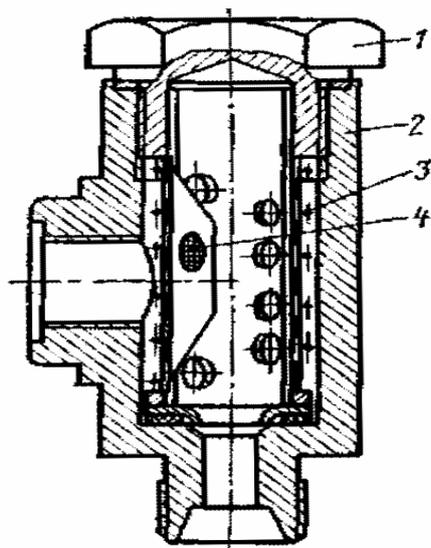


Рис. 1.30. Сетчатый фильтр газа:
1 – фильтрующий патрон; 2 – корпус; 3 – каркас патрона; 4 – сетка

На автомобиле ГАЗ-24-07 фильтр газа (рис. 1.31) объединен в одном корпусе с электромагнитным вентилем и устанавливается на трубопроводе жидкой фазы газа. Фильтрующим элементом служат чередующиеся сетчатые и войлочные шайбы.

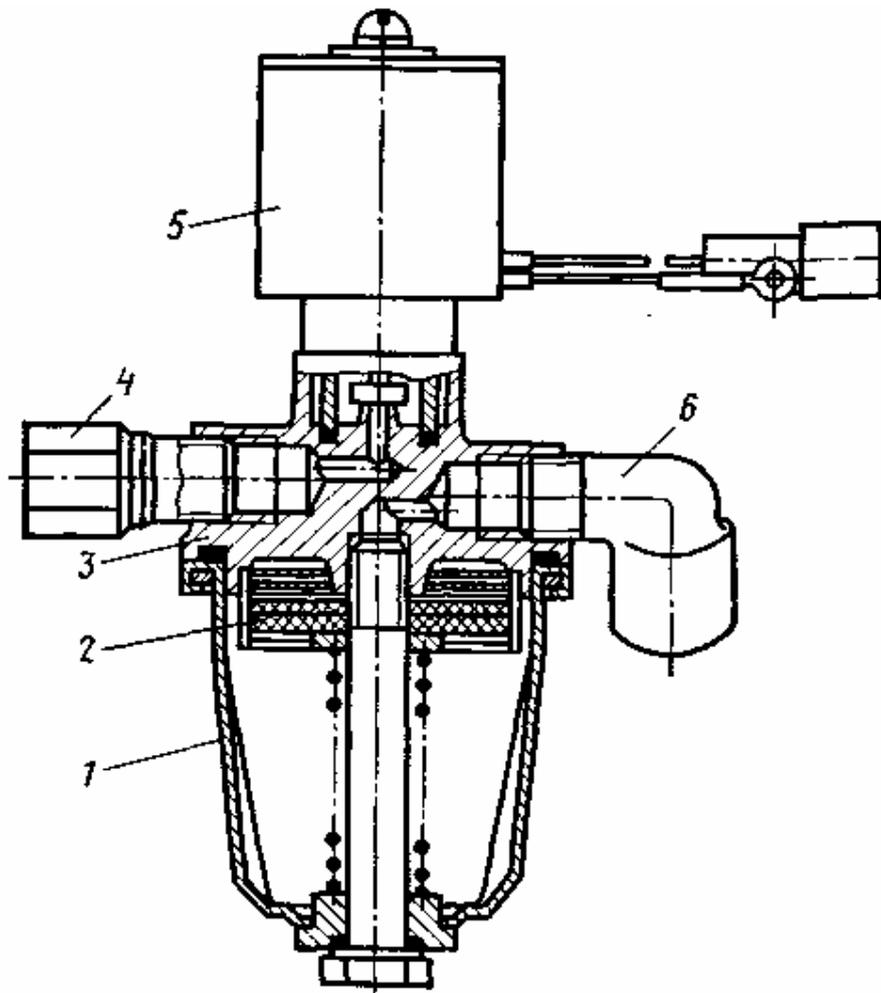


Рис. 1.31. Фильтр газа с электромагнитным вентилем автомобиля ГАЗ-24-07:
 1 – отстойник; 2 – фильтрующий элемент; 3 – корпус;
 4, 6 – штуцера входа и выхода газа; 5 – электромагнитный вентиль

В газовой системе питания автомобиля, работающего на сжатом газе, устанавливают два фильтра: один, предназначенный для улавливания механических частиц размером более 50 мкм, – на входе в редуктор высокого давления (см. рис. 1.31); другой (рис. 1.32) – на линии низкого давления (1–1,2 МПа) перед двухступенчатым редуктором. Последний фильтр состоит из латунного корпуса 5, алюминиевого колпака 2, войлочного фильтрующего элемента 4 и стяжного болта 1. Конструктивно фильтр объединен в одном корпусе с электромагнитным клапаном 8.

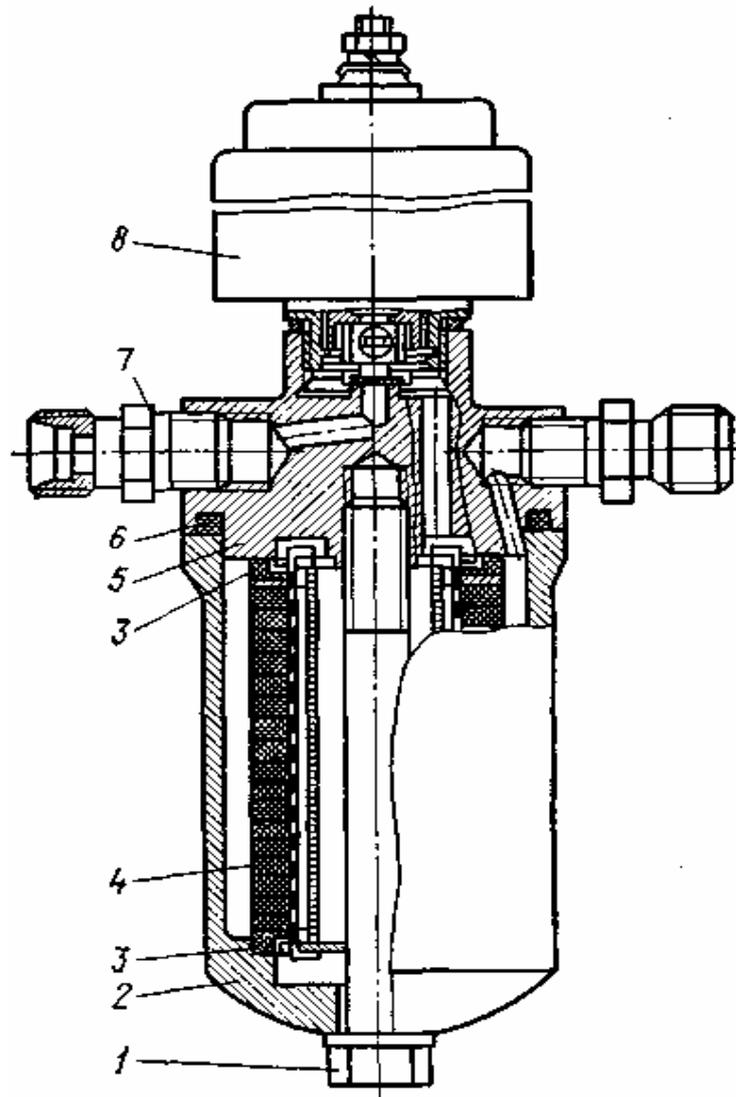


Рис. 1.32. Фильтр с электромагнитным клапаном:
 1 – болт; 2 – колпак; 3 – прокладки фильтрующего элемента;
 4 – фильтрующий элемент; 5 – корпус; 6 – уплотнительное кольцо; 7 – штуцер;
 8 – электромагнитный клапан

Периодичность очистки и промывки фильтров зависит от качества и расхода газа. Необходимость очистки фильтров определяют по значению давления в первой ступени редуктора. Падение давления при переходе от холостого хода к нагрузочным режимам работы двигателя указывает на засоренность фильтров.

Для снижения давления газа в газовой установке до близкого к атмосферному применяют редуктор мембранно-рычажного типа (рис. 1.33). Газовые редукторы могут иметь одну, две и три ступени снижения давления. Увеличение количества ступеней улучшает стабильность регулируемого давления, но одновременно усложняет конструкцию. Для газобаллонных автомобилей наиболее широко применяют двухступенчатые газовые ре-

дукторы. Они снабжены дополнительными устройствами, которые обеспечивают автоматическое перекрытие поступления газа к двигателю при его остановке, надежную герметичность при неработающем двигателе, возможность регулирования второй ступени редуктора на избыточное давление и дозирования подачи газа в соответствии с нагрузочным режимом работы двигателя.

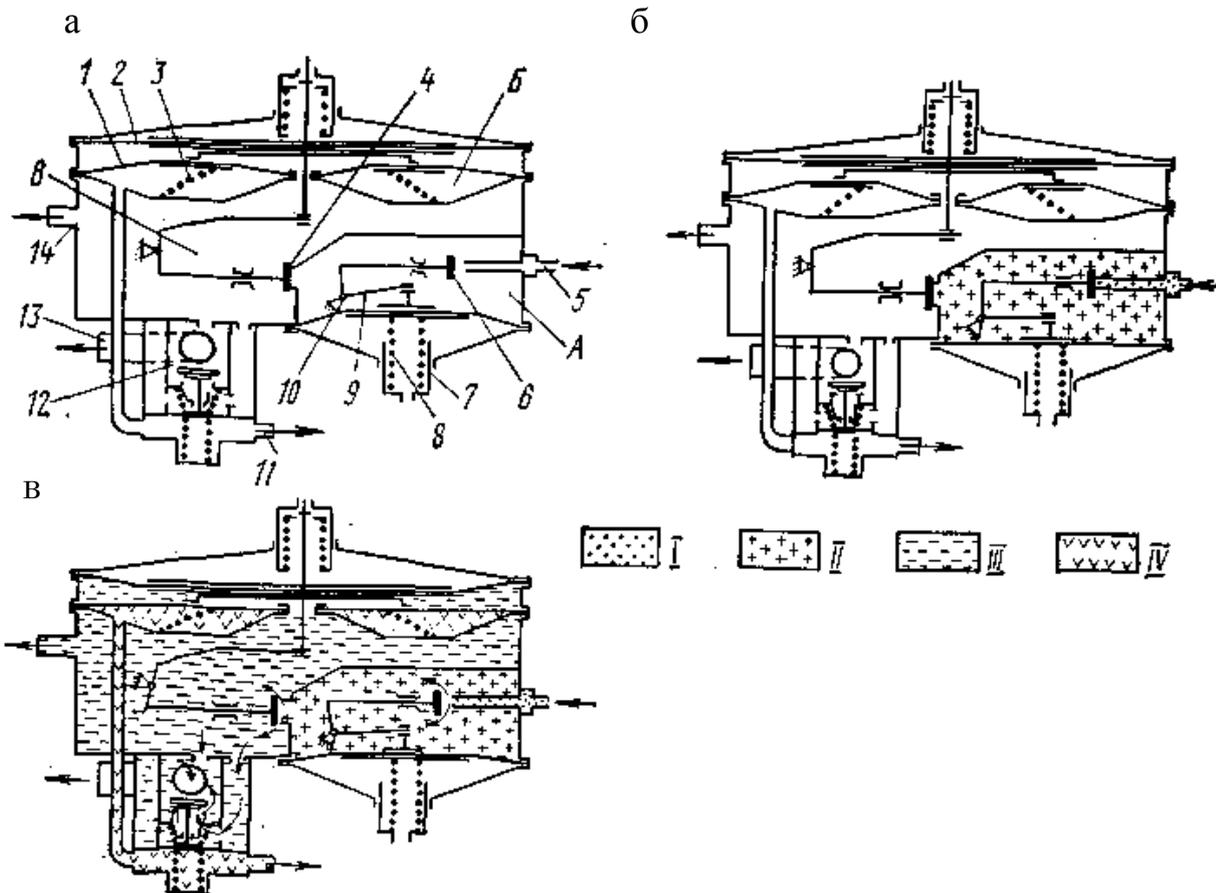


Рис. 1.33. Схема газового редуктора с дозирующе-экономайзерным устройством:

а – при закрытой газовой магистрали; б – при открытой газовой магистрали; в – при работе двигателя; 1, 2, 10 – мембраны разгрузочного устройства второй и первой ступеней; 3, 8 – пружины разгрузочного устройства и первой ступени; 4, 6 – клапаны второй и первой ступеней; 5, 13 – штуцера входа и выхода газа; 7 – регулировочная гайка пружины первой ступени; 9 – рычаг клапана первой ступени; 11 – штуцер выхода газа к впускному газопроводу; 12 – дозирующе-экономайзерное устройство; 14 – штуцер системы холостого хода;

А – полость первой ступени; Б – полость разгрузочного устройства; В – полость второй ступени; I – давление 100–1600 кПа; II – давление 150–200 кПа; III – давление 100–200 Па или разрежение от 0 до 200 Па; IV – разрежение; передаваемое от впускного трубопровода двигателя

Редуктор может работать только при условии поступления в него газа, находящегося в парообразном состоянии. Принципы действия первой и второй ступеней редуктора одинаковы. Каждая ступень имеет клапан, мембрану и рычаг, который шарнирно связывает клапан с мембраной, а пружину – с регулировочной гайкой.

При неработающем двигателе и закрытой газовой магистрали давление в полости А первой ступени газового двухступенчатого редуктора (см. рис. 1.33,а) равно атмосферному и клапан 6 первой ступени под действием пружины 8 находится в открытом состоянии. При поступлении газа в полость А первой ступени редуктора (см. рис. 1.33,б) сила давления газа воздействует на мембрану 10, которая, преодолевая усилие пружины 8, прогибается и по достижении заданного давления через рычаг 9 закрывает клапан 6. Давление газа в полости регулируют, изменяя усилие пружины 8 на мембрану 10 с помощью регулировочной гайки 7.

Особенностью конструкции второй ступени является наличие разгрузочного устройства. Пружина 3 этого устройства при неработающем двигателе создает дополнительное усилие на мембрану 2 второй ступени, которая через систему рычагов закрывает клапан 4 2-й ступени. При пуске двигателя (см. рис. 1.33,в) во впускном трубопроводе создается разрежение, которое передается в полость Б разгрузочного устройства. Мембрана 1 (см. рис. 1.33,а) прогибается и сжимает пружину 3 разгрузочного устройства, тем самым разгружая мембрану 2 второй ступени редуктора. Клапан 4 при этом открывается, и газ сначала заполняет полость В второй ступени редуктора, а затем через штуцер системы холостого хода 14 и дозирующе-экономайзерное устройство 12 поступает к двигателю (этот режим редуктора соответствует холостому ходу и работе двигателя под нагрузкой). По мере открытия дроссельных заслонок и повышения разрежения в диффузорах смесителя подача газа в цилиндры двигателя увеличивается.

Дозирующее устройство газа (рис. 1.34) предназначено для ограничения количества газа, подаваемого в двигатель во всех режимах работы двигателя, кроме холостого хода, обеспечивая возможность использовать оптимально насыщенные газоздушные смеси в соответствии с режимом работы двигателя.

Приведенная схема дозирующего устройства газа применяется на некоторых моделях отечественных газобаллонных установок.

Дозатор газа позволяет регулировать количество газа (качество смеси) при отборе мощности двигателя, т.е. при движении автомобиля.

Дозирование газа осуществляется в дозирующе-экономайзерном устройстве (рис. 1.35), которое позволяет регулировать качество газоздушной смеси в соответствии с физико-химическими свойствами газообразного топлива и режимами работы двигателя.

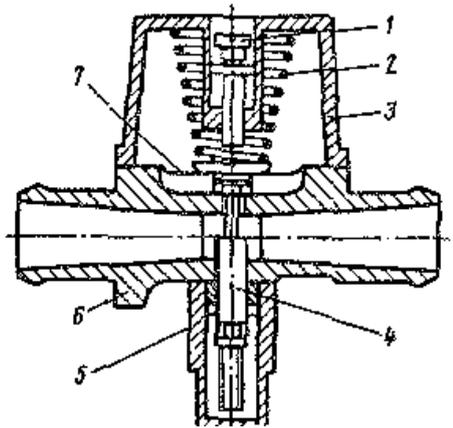


Рис. 1.34. Дозирующее устройство:
 1 – регулировочный винт; 2 – нагрузочная пружина; 3 – крышка;
 4 – дозирующий шток; 5 – колпачок; 6 – корпус; 7 – мембрана

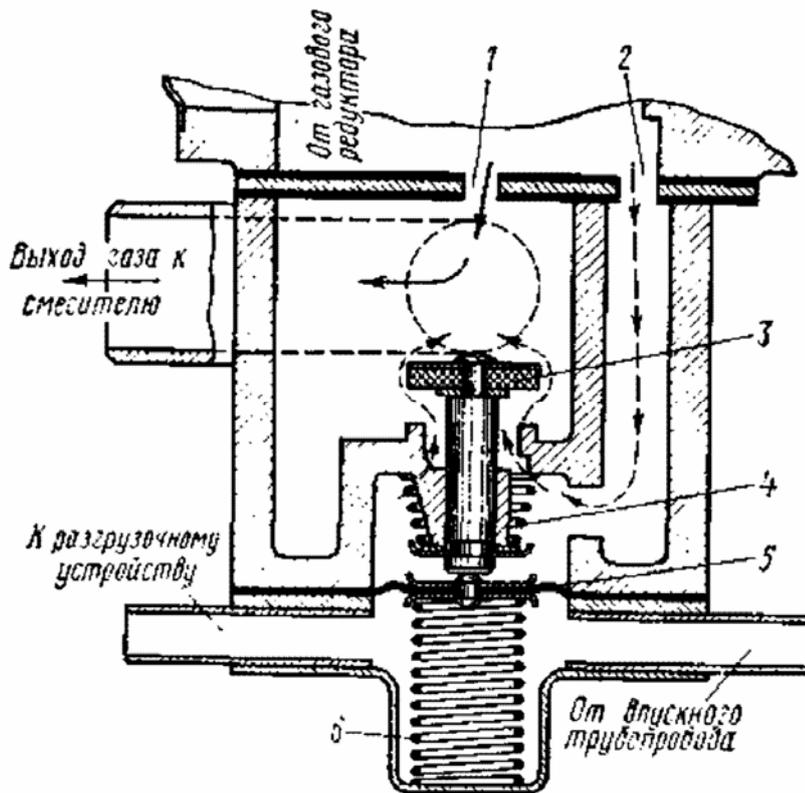


Рис. 1.35. Дозирующе-экономайзерное устройство пневматического типа:
 1, 2 – жиклеры экономичной и мощной регулировок; 3 – клапан экономайзера;
 4, 6 – пружины клапана и экономайзера; 5 – мембрана; сплошная стрелка
 указывает постоянную подачу газа, штриховая – дополнительную

Подачу газа регулируют таким образом, чтобы на частичных нагрузках двигатель работал на обедненных смесях, позволяющих получить наилучшую экономичность и минимальную токсичность отработавших газов. При полном открытии дроссельных заслонок для получения максимальной

мощности двигателя горючая смесь с помощью экономайзерного устройства обогащается.

В дозирующе-экономайзерное устройство пневматического типа (см. рис. 1.35) входят жиклеры экономичной и мощностной регулировок, клапан, мембрана и пружина экономайзера. Управление экономайзером осуществляется разрежением, создаваемым во впускном трубопроводе. При высоких значениях разрежения (16,5–66,5 кПа) во впускном трубопроводе, что соответствует работе двигателя на холостом ходу, и частичных нагрузках мембрана 5, преодолевая усилие пружины 6 экономайзера, прогибается, и клапан 3 экономайзера под действием пружины 4 находится в закрытом положении. В этом случае газ в двигатель поступает только через жиклер 1 экономичной регулировки.

При более низких значениях разрежения во впускном трубопроводе (полные нагрузки двигателя) пружина 6 экономайзера открывает клапан 3 и дополнительная порция газа через жиклер 2 мощностной регулировки поступает в двигатель. На момент включения пневматического экономайзера влияет разрежение перед клапаном, которое, в свою очередь, зависит от расхода газа.

По характеристике экономайзера (рис. 1.36) видно, что с уменьшением расхода газа V_r с 5 м³/ч при частоте вращения коленчатого вала двигателя $n = 2000$ об/мин (точка А на кривой 1) до 2,5 м³/ч; при $n = 1000$ об/мин (точка В на кривой 2) для открытия клапана экономайзера требуется меньшее (на 650 Па) разрежение. Включение пневматического экономайзера при более низких разрежениях на малых частотах вращения коленчатого вала вызывает обогащение горючей смеси и сокращает время разгона автомобиля.

На отечественных автомобилях устанавливают унифицированный газовый редуктор МКЗ-НАМИ (рис. 1.37), техническая характеристика которого дана ниже.

Техническая характеристика газового редуктора МКЗ-НАМИ

	<i>Первая ступень</i>	<i>Вторая ступень</i>
Тип клапанов	плоские	
Диаметр отверстия седла клапана, мм	8,5	
Материал уплотнения клапана	маслобензостойкая резина	
Материал диафрагмы	прорезиненная	
маслобензостойкая ткань		
Толщина диафрагмы, мм	2	0,35
Рабочий диаметр диафрагмы, мм	75	150
Передаточное число рычажной передачи	1	3,47
Габаритные размеры, мм:		
диаметр	185	
высота	225	
Масса, кг	5,15	

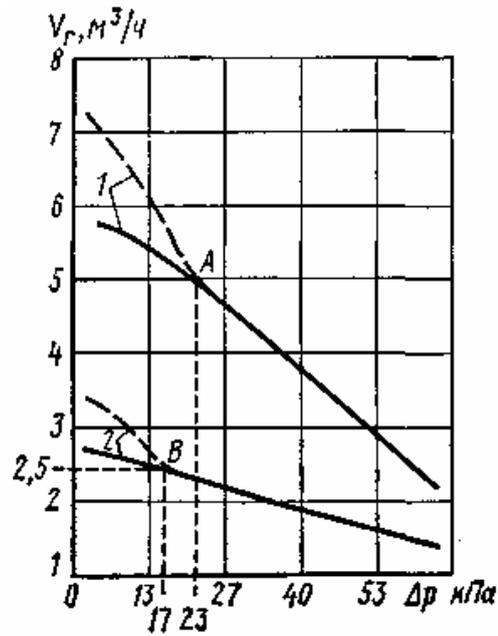


Рис. 1.36. График характеристик экономайзера при частоте вращения коленчатого вала двигателя $n = 2000$ об/мин (1) и 1000 об/мин (2); сплошные линии – при выключенном экономайзере, штриховые – при включенном

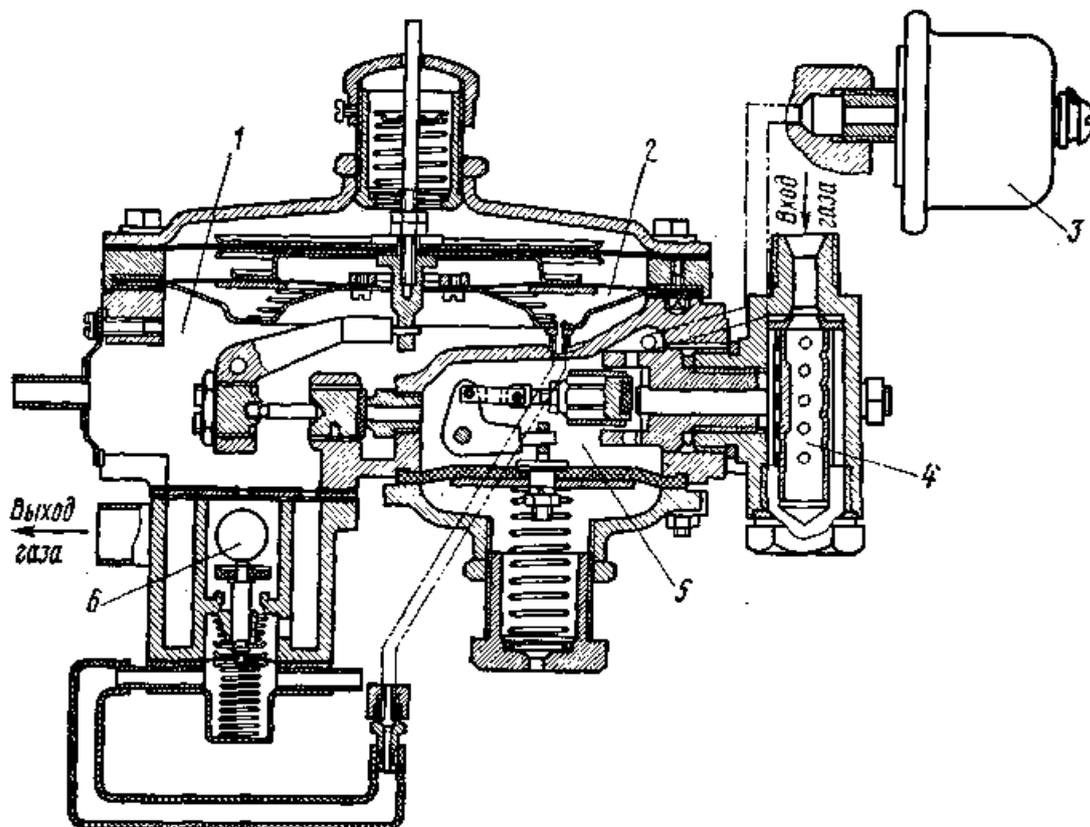


Рис. 1.37. Газовый редуктор МКЗ-НАМИ:
1, 5 – вторая и первая ступени; 2 – разгрузочное устройство; 3 – датчик манометра; 4 – сетчатый фильтр; 6 – дозирующе-экономайзерное устройство

Редуктор объединяет в одной сборочной единице (узле) первую и вторую ступени редуцирования, разгрузочное устройство, сетчатый газовый фильтр, дозирующе-экономайзерное устройство и датчик манометра давления газа. Сетчатый газовый фильтр 4 устанавливается на входе газа в первую ступень редуктора 5, где давление газа снижается до 0,15–0,20 МПа. Давление газа в первой ступени контролируют дистанционным электрическим манометром, который состоит из датчика 3 и указателя в кабине водителя.

Во второй ступени редуктора давление газа снижается до близкого к атмосферному (от +100 до –250 Па). Внутри полости второй ступени размещено разгрузочное устройство 2 пневматического типа, соединенное с впускным трубопроводом двигателя. Усилие конической пружины устройства, действующее на мембрану второй ступени редуктора, нейтрализуется при создании в нем разрежения 0,8–1 кПа. Из второй ступени редуктора газ поступает в дозирующе-экономайзерное устройство 6, откуда через дозирующие шайбы и выходной патрубок направляется в смеситель. Дозирующие шайбы подобраны для каждого типа двигателя исходя из получения максимальной мощности при полном открытии дроссельных заслонок (мощностная регулировка) и наилучшей топливной экономичности при работе двигателя на частичных нагрузках (экономичная регулировка). Проходные сечения дозирующих шайб зависят также от вида применяемого топлива. Основным требованием, предъявляемым к работе автомобильного газового редуктора, являются малые колебания выходного давления газа при работе двигателя в различных режимах. Значение выходного давления или разрежения в первую очередь зависит от изменения давления газа в баллоне.

При уменьшении давления газа резко возрастает разрежение во второй ступени редуктора и падает мощность двигателя (рис. 1.38).

Полную мощность двигателя во всех режимах можно получить лишь при давлении газа в баллоне 0,08 МПа и выше.

Одноступенчатый газовый редуктор (рис. 1.39) устанавливают на автомобилях, работающих на сжатом газе. Редуктор имеет предохранительный клапан 10, сигнализатор падения давления 7 и датчик манометра высокого давления 1. Понижение давления происходит путем одноступенчатого расширения газа. Сжатый газ из баллонов подводится к клапану 13, который представляет собой втулку с пазами для прохода газа.

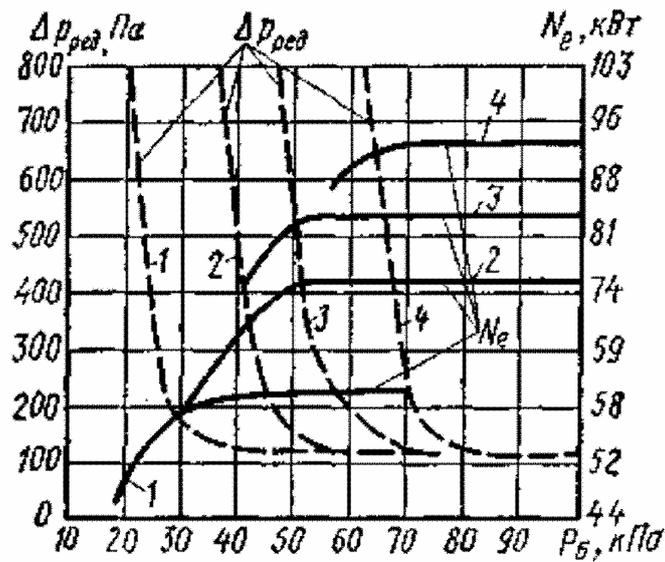


Рис. 1.38. График зависимости разрежения $P_{ред}$ в редукторе (штриховые линии) от давления $P_б$, газа в баллоне и получаемой при этом действующей мощности двигателя N_e (сплошные линии) при частоте вращения коленчатого вала двигателя n , об/мин: 1 – 2000; 2 – 2500; 3 – 2800; 4 – 3200

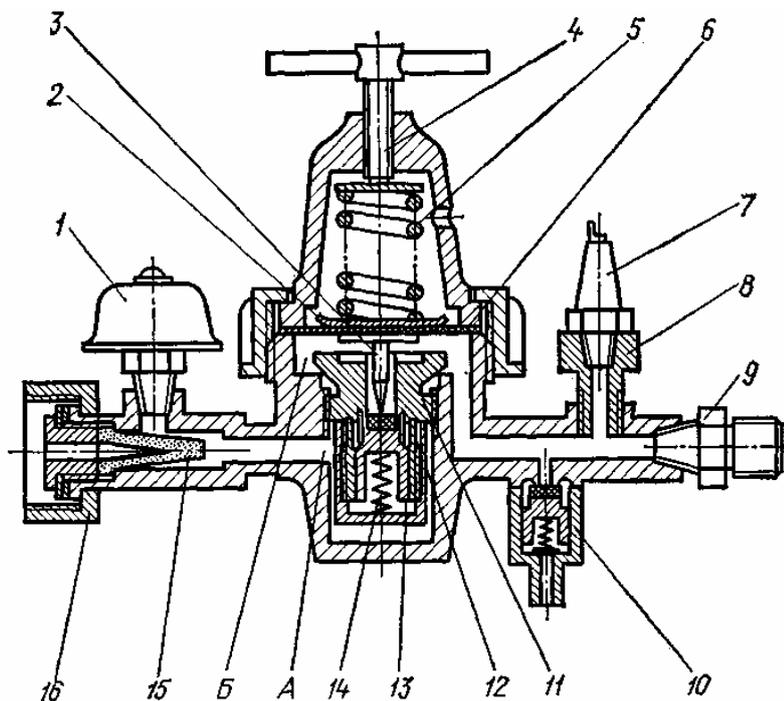


Рис. 1.39. Одноступенчатый газовый редуктор: 1 – датчик манометра высокого давления; 2 – нажимной диск; 3 – толкатель; 4 – регулировочный винт; 5, 14 – пружины; 6 – мембрана; 7 – сигнализатор падения давления газа; 8 – переходник; 9 – выходной штуцер; 10, 13 – предохранительный и редуцирующий клапаны; 11 – седло; 12, 15 – фильтры; 16 – гайка; А, Б – камеры высокого и низкого давления

Герметичность пары клапан – седло обеспечивается дифлоновым уплотнителем клапана. Клапан находится под давлением двух пружин – 14, действующей непосредственно на клапан, и 5, усилие которой передается на клапан через диск 2 мембраны 6 и толкатель 3. Благодаря тому, что усилие пружины 5 больше усилия пружины 14, клапан 13 открыт, и газ через седло 11 попадает в камеру Б низкого давления. Когда давление в этой камере достигнет значения 1,2 МПа, действие пружины 5 на толкатель 3 прекратится и клапан 13 под действием пружины 14 закроется. При расходе газа из камеры низкого давления процесс редуцирования возобновится. Техническая характеристика одноступенчатого газового редуктора высокого давления приведена ниже.

**Техническая характеристика одноступенчатого газового редуктора
высокого давления**

Пропускная способность при давлении 20 МПа, м ³ /ч	55
Давление на входе, МПа:	
максимальное	20
минимальное	1,2
Рабочее давление на выходе, МПа	1,2
Неравномерность рабочего давления, МПа	0,13
Количество фильтров	2
Материал уплотнителя клапана	дифлон
Марка	3 или 5

Газовые смесители служат для приготовления горючей смеси и регулирования ее подачи, обеспечивая тем самым получение заданной частоты вращения коленчатого вала двигателя. К смесителям предъявляют те же требования, что и к карбюраторам: они должны обеспечивать надежный пуск двигателя, устойчивую работу его на холостом ходу, плавный переход с малой частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу к нагрузочным режимам, приемистость двигателя при резком изменении нагрузки. Для повышения коэффициента наполнения и мощности двигателя смесители должны обладать минимальным сопротивлением потоку газозоудшной смеси.

Газовый смеситель предназначен для подачи газа в воздушный поток, всасываемый в двигатель.

Газовый смеситель имеет несколько вариантов исполнения (одно-, двухкамерный) и устанавливается различными методами (под карбюратором вместо теплоизоляционной проставки или над карбюратором, после воздушного фильтра). Наличие газового смесителя никак не влияет на работу карбюратора при работе двигателя на бензине.

Газовый смеситель представляет собой корпус с кольцевым внутренним каналом, из которого газ по радиальным каналам (перфорация) поступает в воздушный поток, всасываемый в двигатель.

В некоторых случаях газ подводят в карбюратор и без использования смесителя. В корпусе карбюратора над блоком дроссельных заслонок в каналах первичной и вторичной камер сверлят отверстия и через штуцеры, монтируемые в этих отверстиях, подается газ.

Редуктор-испаритель соединяется со смесителем через тройник-дозатор с регулировочными винтами, которыми регулируется расход газа (качество рабочей смеси) на рабочих режимах работы двигателя посредством воздействия на величину разрежения в полости 2-й ступени редуктора. Как правило, смеситель в этом случае имеет двухштуцерный ввод и установлен между воздушным фильтром и карбюратором, т.е. перед разделением воздушного потока на первичный и вторичный. В некоторых случаях применяется ввод газа в одноштуцерный смеситель, при этом регулировочный винт тоже один и газ должен подводиться перед карбюратором до разделения потока в первичную и вторичную камеры (например в воздушный фильтр).

Существенным отличием работы газового смесителя от карбюратора является то, что топливо в нем не испаряется, так как подается в него уже в парообразном состоянии. Подача газа в смеситель в одинаковом с воздухом агрегатном состоянии позволяет вынести дозирующие элементы в отдельный блок или объединить их с газовым редуктором, упростив конструкцию смесителя.

Кроме того, смесители газа не требуют ускорительных устройств, так как при резком открытии дроссельных заслонок для увеличения отбора мощности двигателя расход газа растет пропорционально расходу воздуха. Подвод газа в смеситель может производиться через газовые форсунки или периферийно (через отверстия в узком сечении диффузора). Газовые форсунки могут быть расположены либо в узкой части диффузора, либо между диффузором и дроссельной заслонкой. Подвод газа через форсунки увеличивает гидравлические потери по сравнению с периферийным вводом, но позволяет получить удовлетворительные динамические качества двигателя. Периферийный ввод газа обеспечивает высокую экономичность двигателя и уменьшение токсичности отработавших газов.

Для газобаллонных автомобилей, работающих на сжиженном газе, применяют двухкамерный, вертикальный, с падающим потоком горючей смеси и параллельным открытием дроссельных заслонок газовый смеситель СГ-250, имеющий различные модификации (табл. 1.5). Модификации различаются приводом дроссельных заслонок и диаметром диффузоров. Основные топливодозировочные элементы смесителей одинаковы и конструктивно объединены с газовым редуктором.

В корпусе 11 газового смесителя (рис. 1.40) расположены две дроссельные заслонки 10, два съемных диффузора 6 и две горизонтальные газовые форсунки 5. Для обогащения смеси при пуске двигателя в смесителе имеются воздушные заслонки 4 с автоматическими клапанами, которые исключают возможность переобогащения горючей смеси.

Т а б л и ц а 1 . 5
Основные данные модификаций газового смесителя СГ-250

Модель - автомобиля (автомобиля)	Диаметр смесительных камер, мм	Размер - овала - воздушной горловины, мм	Диаметр диффузоров, мм	Частота вращения коленчатого вала двигателя по ограничителю, об/мин
ЗИЛ-138	36	65×58	31	3100 ⁺¹⁰⁰
ГАЗ-53-07			29	3200–3400
ЛАЗ-695Н			31	3100 ⁺¹⁵⁰
ЛиАЗ-667Г			33	

П р и м е ч а н и е . Включение дроссельных заслонок для всех модификаций – параллельное.

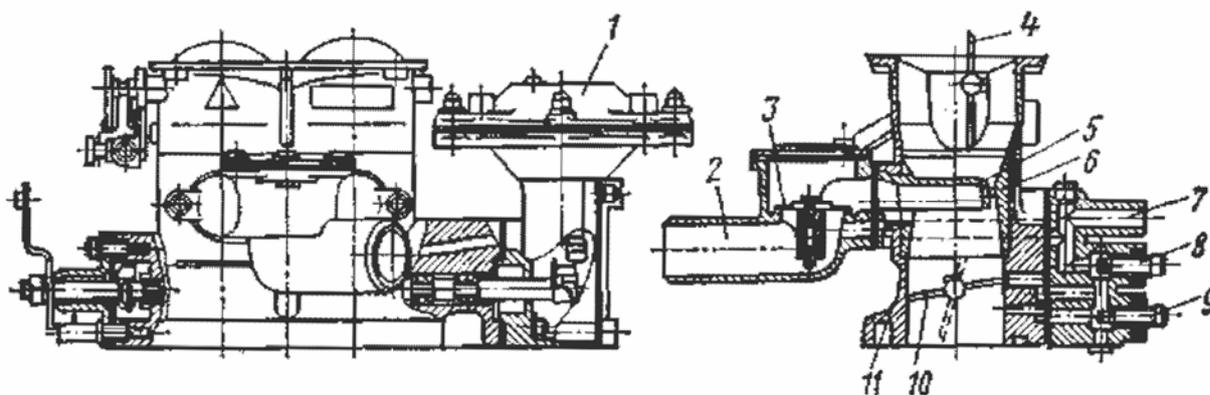


Рис. 1.40. Газовый смеситель СГ-250:

- 1 – ограничитель; 2 – входной патрубок; 3 – обратный клапан;
 4 – воздушная заслонка; 5 – газовая форсунка; 6 – диффузор;
 7 – штуцер входа газа в систему холостого хода; 8 – регулировочный винт общей подачи газа в систему холостого хода; 9 – регулировочный винт подачи газа в систему холостого хода на минимальных оборотах двигателя;
 10 – дроссельная заслонка; 11 – корпус

Во входном патрубке 2 расположен обратный клапан 3, который перекрывает подачу газа в основную систему при работе двигателя на холостом ходу и предохраняет редуцирующее устройство от противодействия при обратных вспышках в двигателе. Подачу газа в систему холостого хода регулируют винтами 8 и 9, которые расположены в крышке каналов системы холостого хода.

Кроме того, на смесителе расположен исполнительный механизм ограничителя 1 частоты вращения коленчатого вала двигателя.

Газовый смеситель СГ-250 предназначен для совместной работы с редуктором МКЗ-НАМИ (рис. 1.41). Основная подача газа осуществляется дозирующе-экономайзерным устройством 8 через газопровод 7, обратный клапан 2 и газовые форсунки 1, которые расположены в узком сечении диффузоров 14. Для устойчивой работы двигателя на холостом ходу и плавного перехода на нагрузочный режим в смесителе имеется специальная система с двумя выходами газа в каждую смесительную камеру.

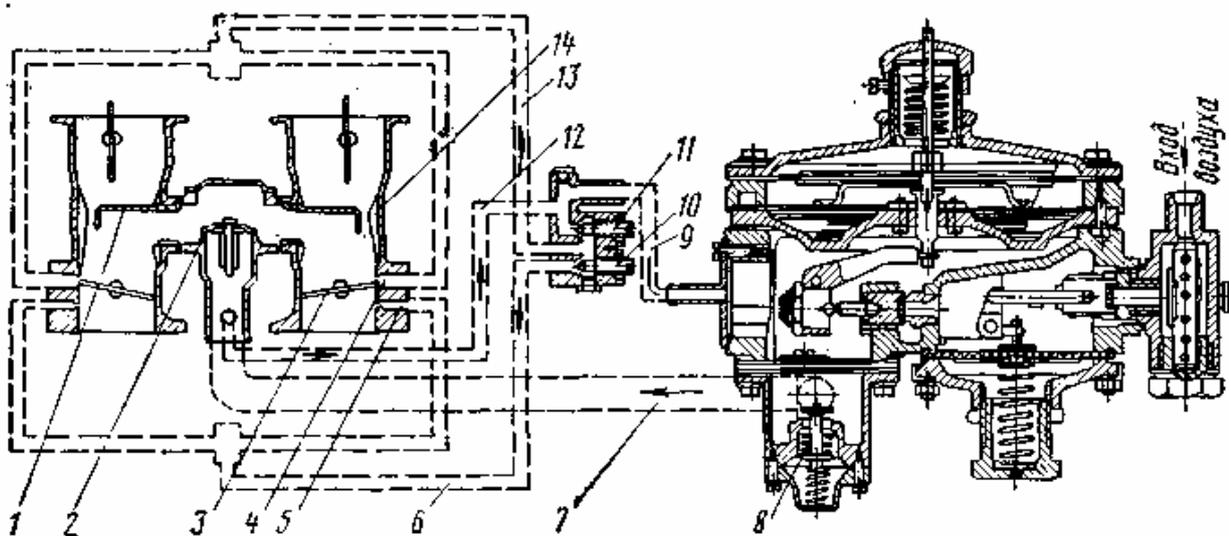


Рис. 1.41. Схема соединения газовых каналов смесителя и редуктора:
 1 – газовая форсунка; 2 – обратный клапан; 3 – дроссельная заслонка;
 4 – отверстия прямоугольного сечения; 5 – круглые отверстия;
 6, 9, 12, 13 – газовые каналы системы холостого хода; 7 – газопровод;
 8 – дозирующе-экономайзерное устройство; 10, 11 – регулировочные винты
 подачи газа в систему холостого хода; 14 – диффузор

При работе двигателя на холостом ходу с минимальной частотой вращения коленчатого вала обратный клапан закрыт, отверстия прямоугольного сечения 4 находятся в зоне низкого разрежения и газ вводится только в задроссельную полость смесительных камер через круглые отверстия 5. Количество газа регулируют винтом 10. Воздух в этом случае поступает через щели между дроссельными заслонками и стенками смесительных камер. При открытии дроссельных заслонок прямоугольные отверстия 4 переходят в зону высокого разрежения, через них начинает поступать газ и частота вращения коленчатого вала двигателя увеличивается. Общую подачу газа в систему холостого хода регулируют винтом 11.

С увеличением частоты вращения коленчатого вала разрежение в диффузорах увеличивается и открывается обратный клапан 2, обеспечивая ос-

новную подачу газа. Наиболее плавный переход от холостого хода к нагрузочным режимам может быть достигнут при отборе газа в систему холостого хода из полости редуктора, расположенной до дозирующего устройства, т.е. непосредственно из второй ступени редуктора. Однако такое питание приводит к переобогащению горючей смеси при работе двигателя в режиме холостого хода. Если осуществлять отбор газа из полости за дозирующим устройством, то ухудшается качество работы двигателя на переходных режимах. В связи с этим газ в систему холостого хода смесителя подается по каналу 9 из полости, расположенной до дозирующего устройства, и по каналам 7 и 12 – из полости, расположенной после него.

Для улучшения пусковых качеств газобаллонных автомобилей при отрицательных температурах предназначена пусковая топливная система с электромагнитным клапаном (рис. 1.42). Особенность ее работы заключается в обогащении газозвушной смеси при пуске двигателя за счет подачи газа в смеситель под давлением 0,1–0,15 МПа. Подача газа осуществляется из первой ступени газового редуктора 1 по трубопроводам 2 и 4 в клапанную коробку 5 смесителя. Управление подачей газа производится с помощью электромагнитного клапана 3. Клапан включают при прокручивании двигателя и выключают через 10–15 с после начала его работы. Система обеспечивает надежный пуск двигателя на паровой фазе газа при температурах до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

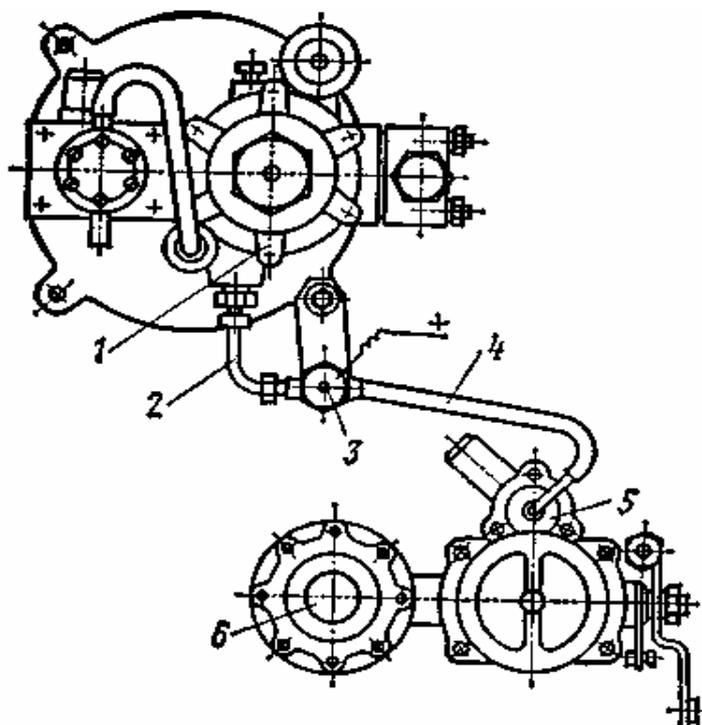


Рис. 1.42. Пусковая топливная система с электромагнитным клапаном:
 1 – первая ступень газового редуктора; 2, 4 – трубопроводы;
 3 – электромагнитный клапан; 5 – клапанная коробка; 6 – газовый смеситель

Конструктивно газовые смесители могут быть объединены с карбюратором в карбюратор-смеситель (рис. 1.43), что дает возможность быстро переводить унифицированный двигатель, работающий на газе и бензине, с одного вида топлива на другой.

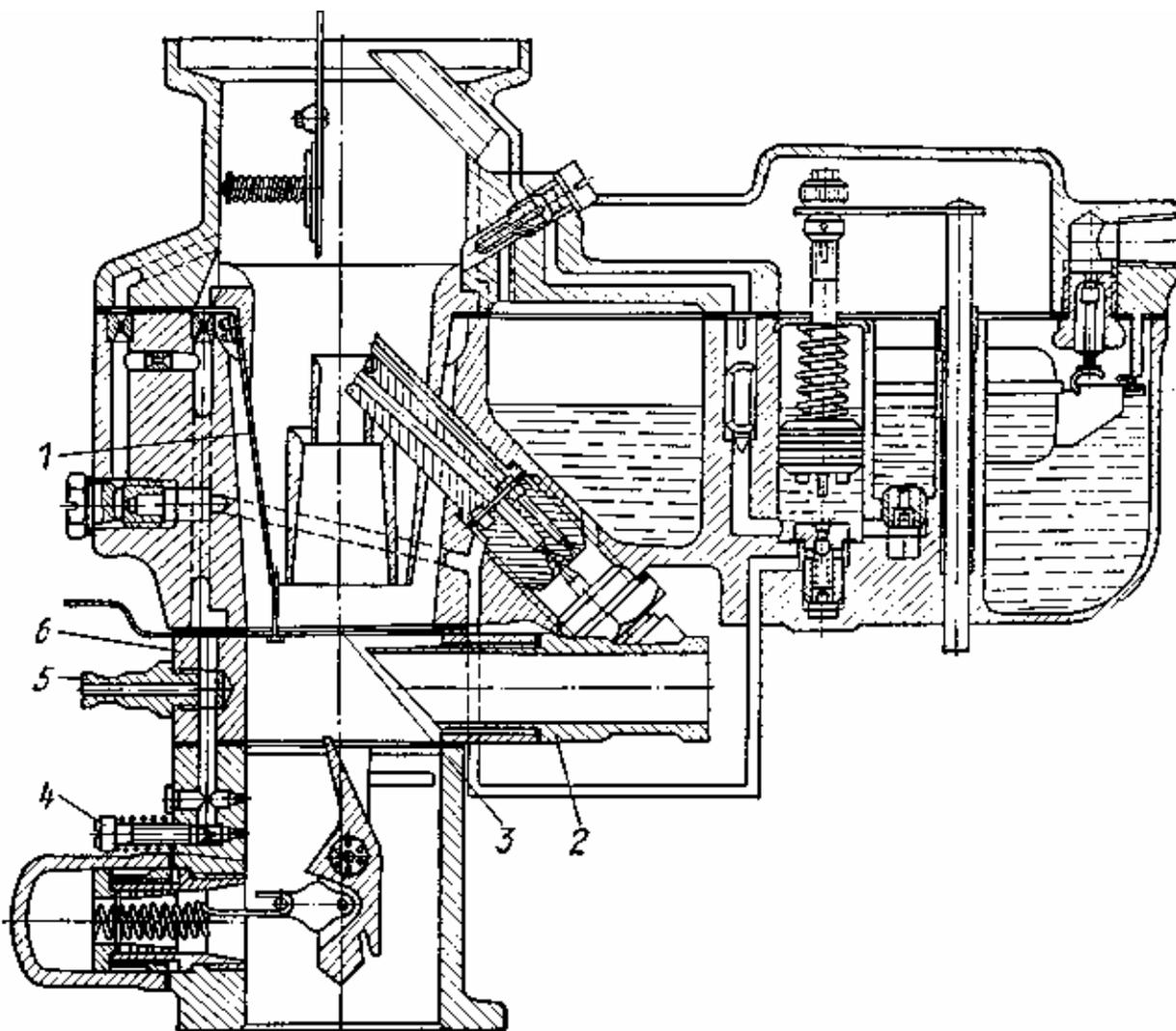


Рис. 1.43. Карбюратор-смеситель К-22К:

- 1 – пластина диффузора; 2 – патрубок для ввода газа с форсункой;
- 3 – приспособление для выключения пластин диффузора;
- 4 – регулировочный винт; 5 – штуцер для подачи газа в систему холостого хода;
- 6 – газовая проставка

Следует отметить, что у карбюраторов-смесителей диффузоры подобраны для работы двигателя на бензине. Это снижает коэффициент наполнения и мощность двигателя при работе на газе по сравнению с их значениями при использовании газового смесителя.

Карбюратор-смеситель К-22К (см. рис. 1.43), устанавливаемый на газобаллонных автомобилях семейства ГАЗ-52, выполнен на базе карбюратора

К-22 и состоит из поплавковой камеры, газовой проставки и смесительной камеры. Газовая проставка 6 имеет патрубок 2 с форсункой для ввода газа, штуцер для подачи газа в систему холостого хода 5 и приспособление 3 для раздвижения (выключения) упругих пластин диффузора 1 при работе двигателя на газе.

При раздвижении упругих пластин диффузора исключается возможность переобогащения газозоудшной смеси на нагрузочных режимах работы двигателя. Подачу газа в систему холостого хода регулируют винтом 4. Карбюратор-смеситель обеспечивает получение высоких мощностных и экономических показателей двигателя при работе на газе или бензине.

Карбюратор-смеситель К-91 (рис. 1.44), устанавливаемый на автомобиле ЗИЛ-138А, работающем на сжатом газе, – двухкамерный, с падающим потоком смеси, выполнен на базе карбюратора К-88. Он состоит из газосмесительной проставки, поплавковой камеры карбюратора и смесительной камеры, которая имеет бензиновую и газовую системы холостого хода. Газосмесительная проставка крепится к верхнему фланцу поплавковой камеры; газ в нее поступает через корпус обратного клапана 3. Истечение газа в проставке происходит через кольцевую щель.

В систему холостого хода газ попадает из корпуса обратного клапана через трубку холостого хода 2 и клапан смесительной камеры. Регулирование системы холостого хода при работе двигателя на газе производится винтом общей подачи газа 6 (регулируется количество газа, при котором двигатель развивает частоту вращения 1300–1400 об/мин) и винтом подачи газа 7 при минимальной частоте вращения коленчатого вала. Регулирование минимальной устойчивой частоты вращения коленчатого вала рекомендуется совмещать с замером токсичности отработавших газов.

Карбюратор-смеситель К-126Д устанавливают на автомобиле ГАЗ-52-57, работающем на сжатом газе. От карбюратора-смесителя К-91 он отличается тем, что в целях рациональной компоновки его газосмесительная проставка расположена между поплавковой и смесительной камерами.

На газобаллонных автомобилях с газовыми двигателями допускается кратковременная работа двигателя на бензине. Для этой цели имеется резервная система питания (рис. 1.45). Бензин содержится в топливном баке 5, который по конструкции может быть стандартным или специально изготовленным для газовой модификации автомобиля. В конструкцию системы питания входят обычные для автомобиля узлы и детали: кран топливного бака 6, фильтр-отстойник 4, топливный насос 1, трубопроводы, а также специальные узлы – проставка 3 и карбюратор 2 мод. 11.1107.

Проставка, устанавливаемая между газовым смесителем и впускным трубопроводом, является переходным элементом для присоединения карбюратора к двигателю.

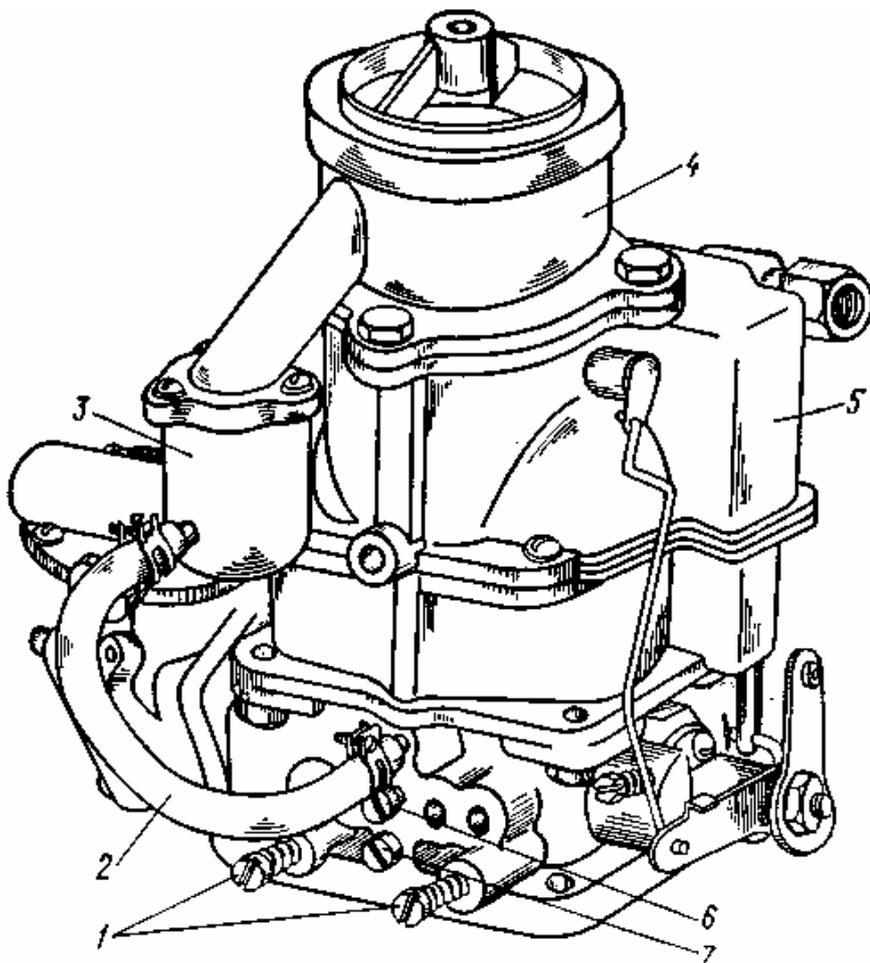


Рис. 1.44. Карбюратор-смеситель К-91:

- 1 – винты качественной регулировки системы холостого хода на бензине;
- 2 – трубка холостого хода; 3 – корпус обратного клапана; 4 – переходник-смеситель; 5 – карбюратор; 6 – винт общей подачи газав систему холостого хода;
- 7 – регулировочный винт подачи газа в систему холостого хода на минимальных оборотах двигателя

Карбюратор мод. 11.1107 (рис. 1.46) представляет собой однокамерную конструкцию диафрагменного типа с горизонтальным расположением диффузора. В цельнолитом корпусе 15 карбюратора имеются горловина, диффузор 3 и смесительная камера. В горловине расположена воздушная заслонка 1 с автоматическим клапаном 2, а в смесительной камере – дроссельная заслонка 4. В карбюраторе также имеются основное топливно-дозировующее устройство и система холостого хода.

При работе карбюратора бензин, подаваемый насосом, подводится через входной штуцер 12, сетчатый фильтр 5 и впускной клапан 11 в полость над диафрагмой 9. Под действием разрежения в диффузоре 3 обратный клапан 10, расположенный над диафрагмой, открывается и топливо через главный жиклер 6 поступает в смесительную камеру.

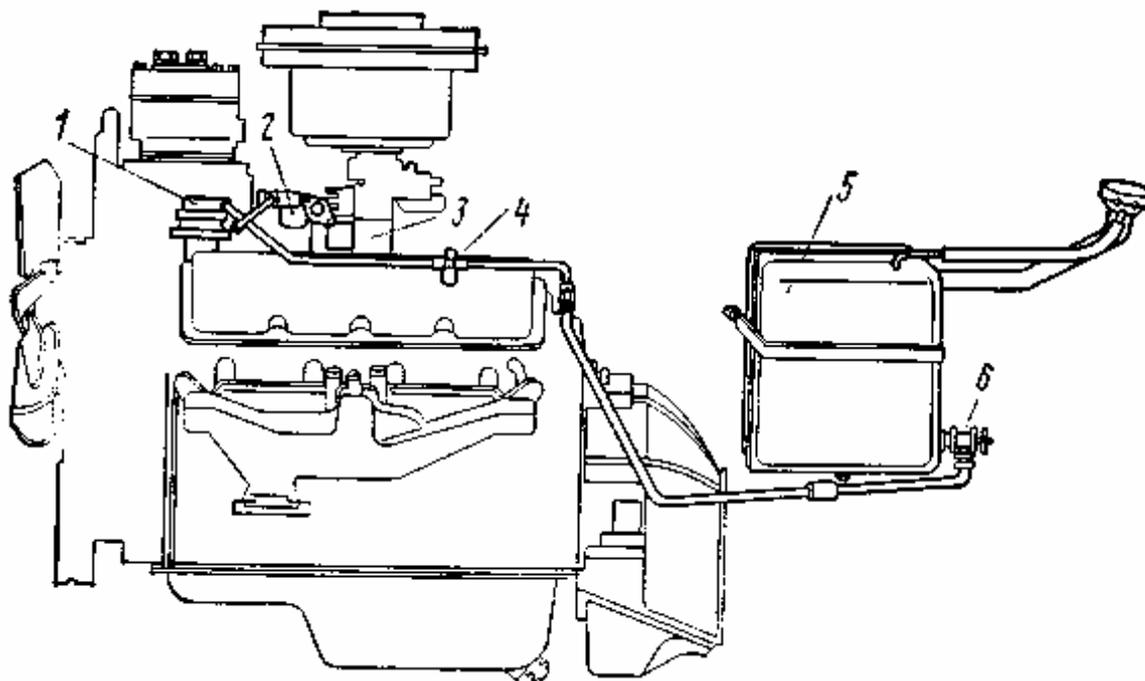


Рис. 1.45. Резервная система питания двигателя бензином:
 1 – топливный насос; 2 – карбюратор мод. 11.1107; 3 – проставка;
 4 – фильтр-отстойник; 5 – топливный бак; 6 – кран топливного бака

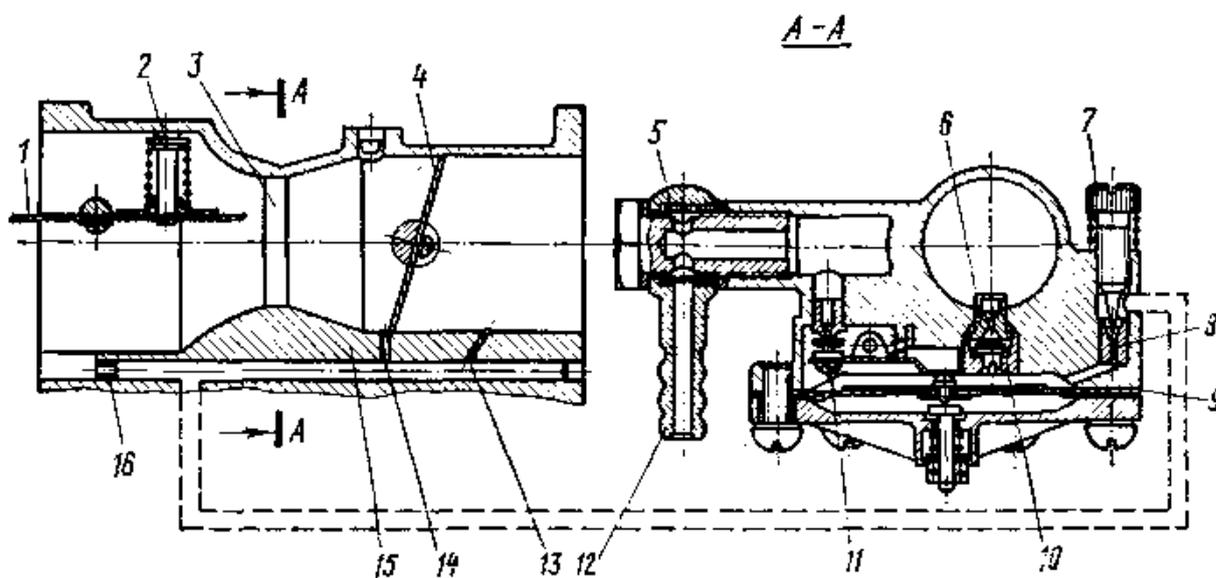


Рис. 1.46. Карбюратор мод. 11.1107:
 1, 4 – воздушная и дроссельная заслонки; 2, 10, 11 – автоматический, обратный
 и впускной клапаны; 3 – диффузор; 5 – фильтр; 6, 8, 16 – главный, топливный
 и воздушный жиклеры; 7 – регулировочный винт; 9 – диафрагма; 12 – штуцер;
 13 – эмульсионное отверстие; 14 – топливный канал; 15 – корпус

Система холостого хода включает в себя топливный жиклер 8, регулируемый винтом 7, воздушный жиклер 16 и канал 14 для обеспечения плавных переходов от холостого хода к нагрузочным режимам.

В зоне высокого давления имеется эмульсионное отверстие 13.

Двигатели грузовых автомобилей ЗИЛ-138 и ГАЗ-53-07 при работе на резервной бензиновой системе питания развивают не более 40–50 % номинальной мощности.

Бензиновая система автомобиля, оборудованного газобаллонной системой, отличается от обычной наличием электромагнитного бензинового клапана 19 (рис. 1.47), который предотвращает поступление бензина в поплавковую камеру карбюратора при работе двигателя на газовом топливе. Электромагнитный клапан управляется с рабочего места водителя переключателем рода топлива 15.

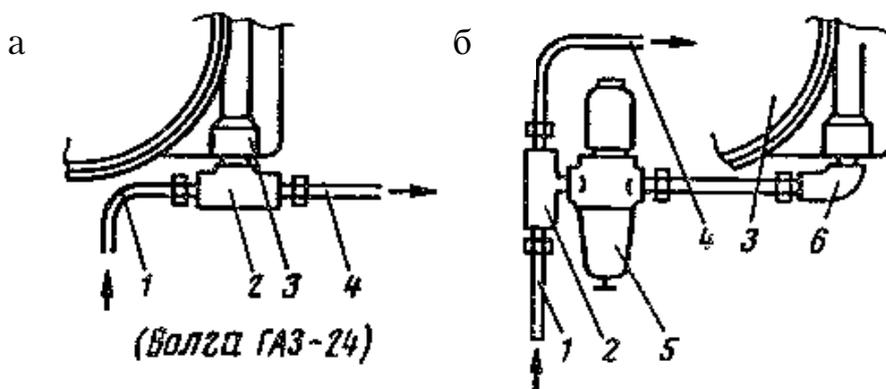


Рис. 1.47. Принципиальные схемы традиционного монтажа бензопровода на автомобиле ГАЗ-24 «Волга» (а) и монтажа бензопровода на двигателе, работающем на бензиновом и газовом топливе (б):

- 1 – бензопровод от насоса к бензопроводу; 2 – штуцер-тройникс жиклером;
- 3 – карбюратор; 4 – трубопровод слива; 5 – электромагнитный клапан с фильтром; 6 – штуцер-угольник

При закрытом электромагнитном клапане рабочий узел бензонасоса находится под большой нагрузкой. Для предотвращения преждевременного изнашивания деталей насоса и разрыва мембраны рекомендуется применение трубопровода 18 частичного возврата бензина из линии давления (после бензонасоса) в линию всасывания.

Линия возврата должна быть, по возможности, длиннее для охлаждения бензина, проходящего через насос. В линии возврата необходимо установить жиклер диаметром 0,6–0,8 мм. Подобная линия возврата бензина традиционно выполнена на автомобиле ГАЗ-24.

Однако, в случае установки электромагнитного клапана, линия возврата топлива соединяется с линией давления до электромагнитного клапана. Давление, создаваемое бензонасосом при закрытом электромагнитном клапане, будет частично снижаться благодаря наличию жиклера.

В случае невозможности монтажа линии возврата бензина рекомендуется для разгрузки элементов бензонасоса выключить его при постоянной работе двигателя на газовом топливе, фиксируя рычаг ручного привода насоса в нажатом положении.

Электромагнитные клапаны предназначены для предотвращения одновременной работы двигателя на газе и бензине.

Электромагнитный клапан газа (рис. 1.48,а) открывает подачу газа при положении ручки переключателя рода топлива «Газ». В нижнем стакане электромагнита клапана располагается фильтр из технической замши или гофрированного фильтровального картона и постоянный магнит для очистки газа от механических и металлических примесей.

Электромагнитный клапан бензина (рис. 1.48,б) открывает подачу бензина в положении ручки переключателя рода топлива «Бензин». Клапан снабжен приспособлением для ручного открытия в случае обесточивания электросхемы автомобиля (пуск двигателя на буксире при разряженном аккумуляторе).

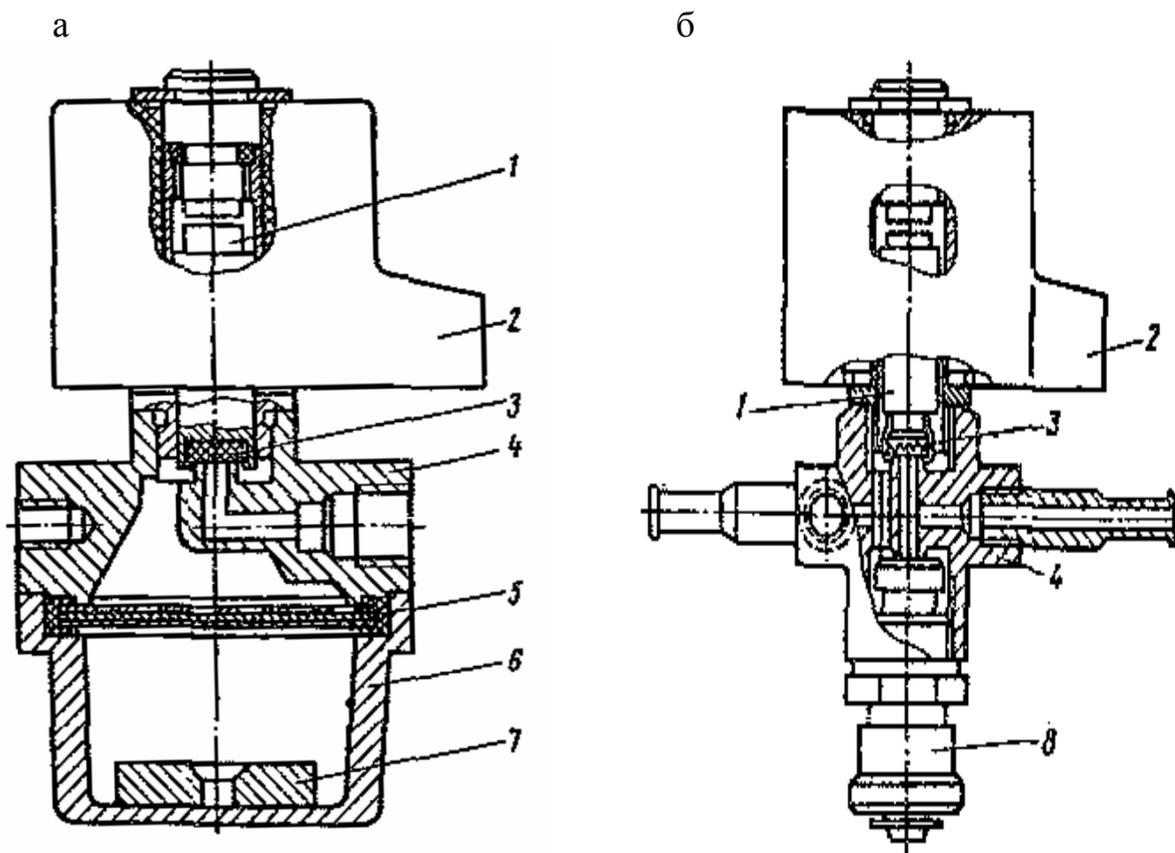


Рис. 1.48. Электромагнитный клапан газа (а) и бензина (б):
 1 – якорь; 2 – электромагнит; 3 – клапан; 4 – корпус; 5 – сетка-фильтр;
 6 – стакан – отстойник; 7 – постоянный магнит;
 8 – устройство отключения клапана

Клапаны газа и бензина срабатывают при подаче напряжения от переключателя рода топлива.

На редукторе-испарителе также установлен электромагнитный клапан пускового устройства. Он предназначен для подачи газа в систему низкого давления до смесителя перед пуском холодного двигателя. Для этого необходимо нажать на ручку-кнопку переключателя рода топлива.

Переключатель рода топлива (рис. 1.49) предназначен для включения в работу электромагнитного клапана нужного вида топлива.

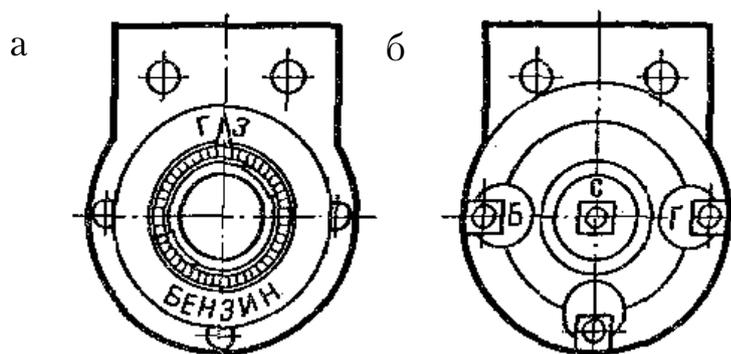


Рис. 1.49. Переключатель рода топлива (а) и его контактная часть (б)

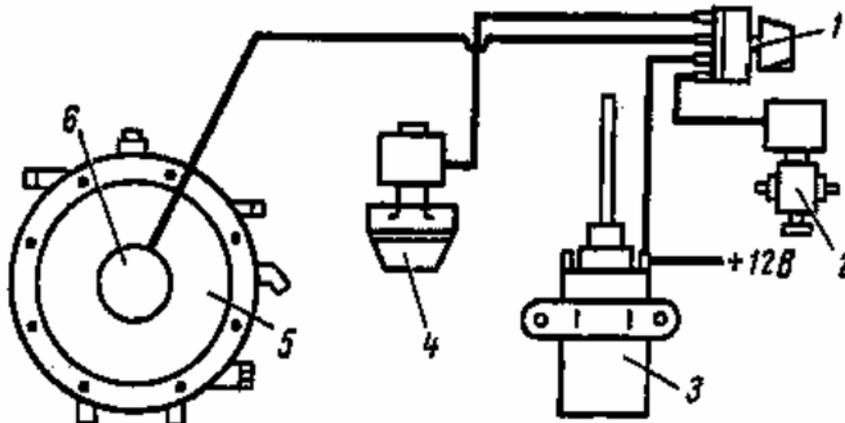
Переключатель имеет четыре положения ручки: «Бензин», «Газ» и два промежуточных положения. При положении «Газ» напряжение поступает от клеммного входа «+» через вывод «Г» на электромагнитный клапан газа. В случае необходимости перевода работы двигателя на бензин ручку переключателя следует повернуть на один щелчок по часовой стрелке в промежуточное положение. Напряжение поступает от клеммного входа «+» через вывод «Г» и «Б» одновременно на электромагнитные клапаны газа и бензина. Через 5–8 секунд поплавковая камера карбюратора наполняется бензином и ручку переключателя следует перевести в положение «Бензин».

В случае перевода питания двигателя с бензина на газовое топливо ручку переключателя нужно перевести в промежуточное положение (один щелчок). Тогда оба электромагнитных клапана будут обесточены, т.е. закрыты. Двигатель продолжает работу на бензине, вырабатывая его из поплавковой камеры. При первых сбоях в работе двигателя переключатель необходимо перевести в положение «Газ». Кроме того, ручка переключателя имеет пятое перемещение – осевое. При нажатии на нее ток подается на электромагнитный клапан пускового устройства редуктора-испарителя.

Электропроводка (рис. 1.50) предназначена для питания электроагрегатов постоянным током напряжением 12 В. Монтаж электропроводки – однопроводный, с заземлением на корпус автомобиля, выполняется изолированным проводом, разрешенным для монтажа на автомобиле. Электро-

проводка должна иметь надежные контакты, полностью исключающие искрение. Не допускается соединение проводов вручную методом «скрутки».

а



б

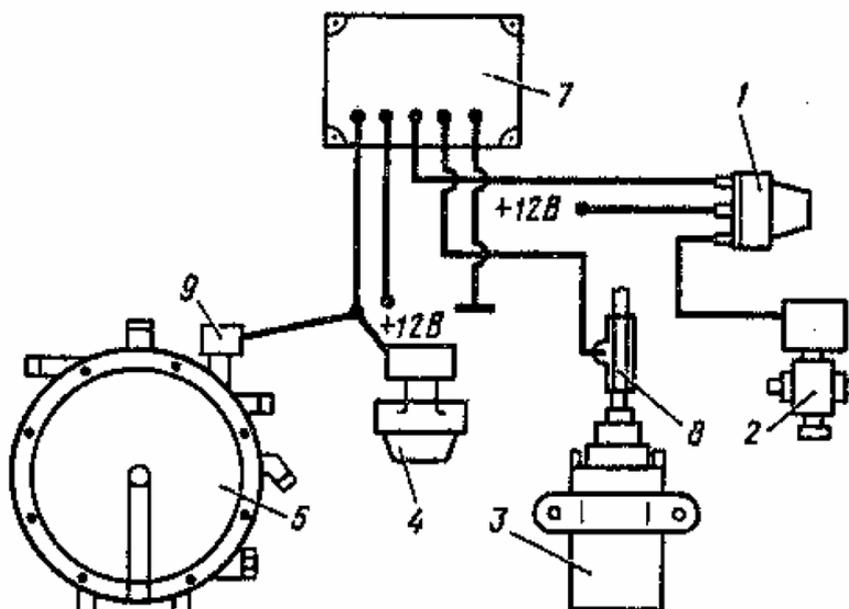


Рис. 1.50. Электрические схемы системы питания с пусковым устройством (а) и электронным блоком (б):

- 1 – переключатель рода топлива; 2, 4, 6, 9 – электромагнитные клапаны соответственно бензина, газа, пускового устройства и отсечки газа;
3 – катушка зажигания; 5 – редуктор-испаритель;
7 – электронный блок управления; 8 – датчик частоты вращения

Электронный блок управления обеспечивает следующие операции:

- автоматическое открытие электромагнитного клапана газа и пускового клапана редуктора;
- закрытие этих клапанов через 2 секунды после выключения зажигания, если двигатель не запустился;
- поддержание в открытом положении необходимых клапанов при работающем двигателе.

Трубопроводы, шланги и другие элементы служат для монтажа газовой аппаратуры в газобаллонной системе питания двигателя сжиженным нефтяным газом.

Трубопроводы, применяемые для монтажа систем, медные. Они должны быть уложены и надежно прикреплены к кузову автомобиля. В местах резких изгибов, перехода из отсека в отсек трубопровод должен быть защищен пружинной стальной оплеткой либо резиновым или пластмассовым рукавом. В местах соединения с агрегатами трубопровод должен иметь однооборотную спираль, которая выполняет роль температурного и вибрационного компенсаторов.

Шланги и рукава, применяемые на линии высокого давления, должны быть испытаны на давление не менее 4,8 МПа (48 кгс/см²) и иметь металлическую оплетку. На линии низкого давления шланги и рукава должны быть испытаны на давление до 0,2 МПа (20 кгс/см²) и быть также в металлической оплетке. Они не должны иметь порезов и трещин.

Дозатор-смеситель газа, устанавливаемый на газодизельных автомобилях семейства КамАЗ, объединяет в одном блоке смеситель и дозатор газа.

Дозатор газа (рис. 1.51) объединен в одном корпусе с диафрагменным механизмом ограничения подачи газа.

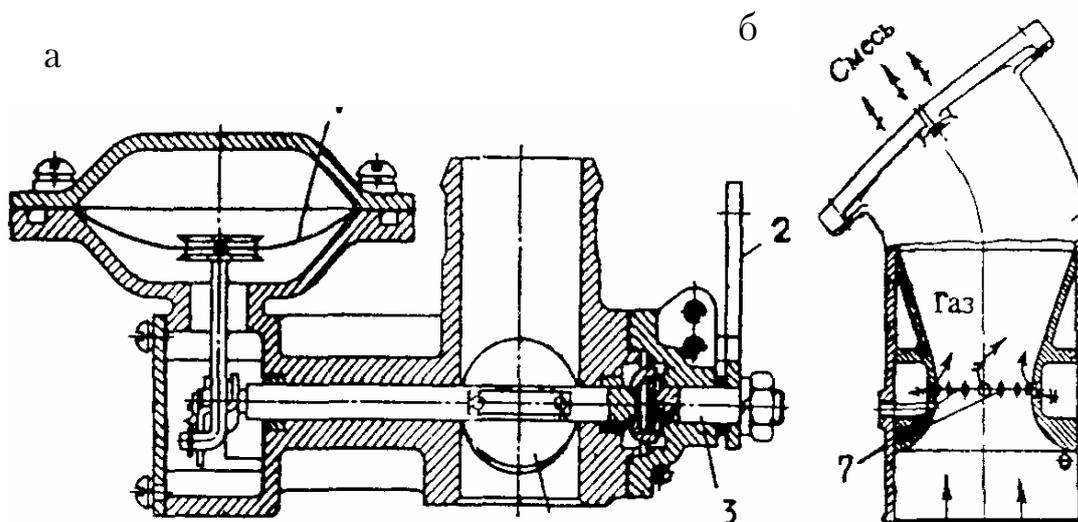


Рис. 1.51. Дозатор газа (а) и смесительное устройство(б) дозатора-смесителя двигателя КамАЗ:

- 1 – мембрана; 2 – рычаг привода дроссельной заслонки;
- 3 – валик ведущий; 4 – заслонка дроссельная; 5 – диффузор;
- 6 – корпус смесителя; 7 – отверстия для подачи газа

Управление приводом дроссельной заслонки осуществляется с помощью акселератора.

Дозатор обеспечивает регулирование количества газа, подаваемого в смеситель из редуктора низкого давления, в зависимости от нагрузки дви-

гателя и автоматически уменьшает подачу газа при достижении двигателем максимальной частоты вращения вала.

Управление работой диафрагменного механизма осуществляется с помощью электропневмоклапана.

Корпус смесителя представляет собой цилиндр с диффузором типа сопла Вентури. Внутри диффузор имеет кольцевой коллектор подвода газа через радиальные отверстия.

В газодизельных автомобилях КамАЗ подогрев КПП осуществляется за счет теплоты охлаждающей жидкости, циркулирующей в системе охлаждения двигателя (рис. 1.52)

При циркуляции жидкости в корпусе подогревателя происходит подогревание газа. Жидкость из системы охлаждения отбирается из водяной трубы и сливается в коробку термостатов.

В случае применения в качестве охлаждающей жидкости воды подогреватель газа подключается только после прогрева двигателя.

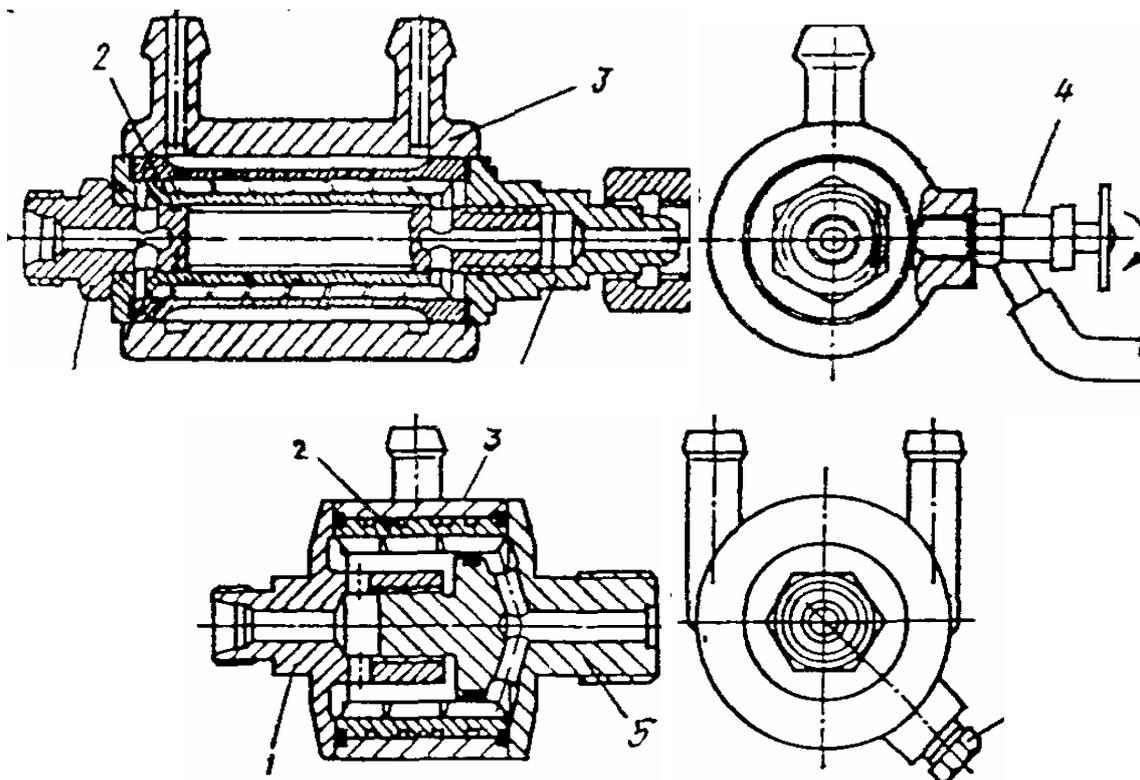


Рис. 1.52. Подогреватель газа газодизельных автомобилей КамАЗ: 1, 5 – входной и выходной штуцеры; 2 – теплообменный элемент; 3 – корпус нагревателя; 4 – краник слива охлаждающей жидкости

На автомобилях, работающих на ГСН, для преобразования газового топлива из жидкой фазы в газовую устанавливают испаритель ГСН.

1.4. Использование продуктов синтеза газа и других газов в качестве топлива

Одним из путей ускорения решения проблемы использования природного газа может стать метод синтеза жидких углеводородов из газа вблизи месторождения, транспортировки жидких продуктов автомобильным транспортом, хранения и распределения продуктов в обычных системах хранения и на бензозаправочных станциях и использования газа в качестве добавки к дизельным топливам (в том числе утяжеленного фракционного состава).

Применение легких синтетических парафиновых углеводородов

Применение синтетических парафиновых углеводородов (СПУ) в смеси с дизельным топливом. Природный газ может служить не только топливом для газового двигателя, но и сырьем для производства синтетических дизельных топлив, получаемых синтезом из CO и H₂ на катализаторах (процесс Фишера-Тропша, рис. 1.53).

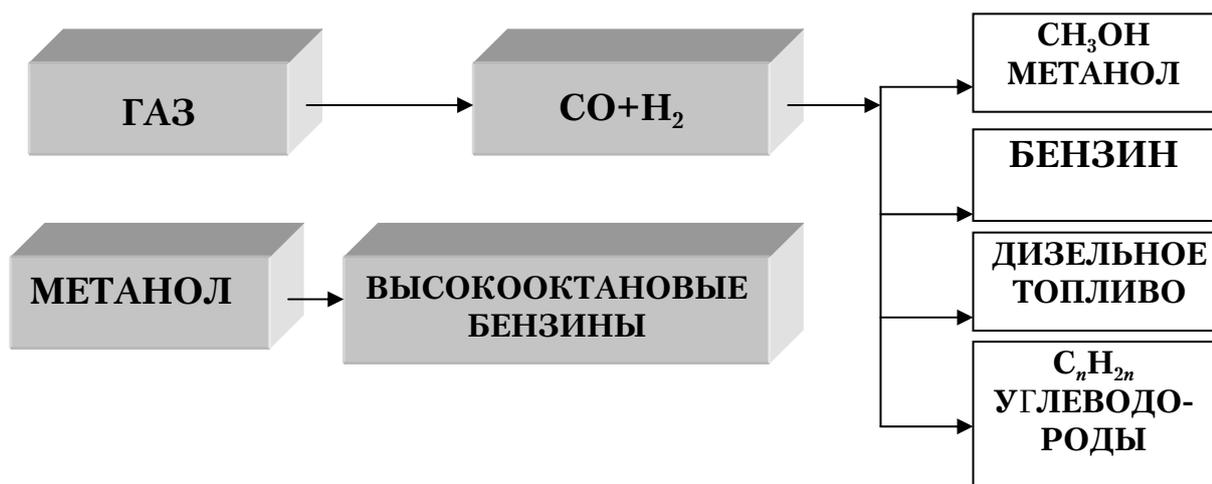


Рис. 1.53. Синтетические топлива, получаемые из природного газа

Этот процесс позволяет получить дизельное топливо с заданными показателями качества, но сам процесс весьма энергоемок и дорог.

В результате этого процесса легко получаются бензины, но низкооктановые. Превращение их в высокооктановые (процесс Мобил) резко повышает стоимость топлива. Промежуточным продуктом синтеза может быть сравнительно дешевый спирт – метанол.

Это вещество также может использоваться в качестве топлива для ДВС и причем это уже имеет экономическую целесообразность.

В результате такого процесса можно получить с меньшими энергетическими затратами СПУ, стоимость которых примерно равна стоимости нефтяного дизельного топлива.

Применение СПУ в смеси с топливом УФС. Еще больший интерес может представлять использование СПУ в смеси с утяжеленными видами нефтяных топлив, к которым (применительно к автотракторным двигателям) можно отнести топлива утяжеленного фракционного состава и легкий газойль каталитического крекинга.

Если не ограничиваться классом автотракторных двигателей, то к таким топливам можно также отнести тяжелые топлива, флотские мазуты и т.д. Такое решение может быть особо актуальным для стран, обладающих большими ресурсами этих топлив.

Применение метанола в качестве топлива

Метанол как продукт синтеза газа давно применяется в разных странах в качестве добавки к основному топливу для ДВС в целях экономии нефтяных топлив и снижения токсичности и дымности выбросов.

В двигателях с воспламенением от искры спирт заранее вводится в топливо (готовится бензоспиртовая эмульсия, так как спирты ограниченно смешиваются с углеводородными топливами). Известен значительный опыт Бразилии по использованию спирта как добавки к нефтяному топливу в количестве 15 или 30 %.

Токсичность паров метанола в воздухе в три раза выше токсичности бензина. Спирт в масле вызывает коагуляцию присадок. Метанол агрессивен к тефлону, лакокрасочным покрытиям и металлам, особенно цветным, так как сам является кислородсодержащим.

Известно большое число работ, посвященных решению проблемы использования метанола в дизелях.

При этом имеются трудности, которые заключаются в следующем:

- метанол не образует стабильных смесей с дизельным топливом;
- спирты имеют низкие цетановые числа, у них низкая воспламеняемость, что особенно проявляется при пуске и на холостом ходу.

Предпочтительно иметь двойную подачу топлив – для спирта и для дизельного топлива (две форсунки и два насоса или один насос, но с гидравлическим регулированием второго импульса). При такой системе возможна подача до 90 % спирта.

Фирма «КХД» (Германия) создала спиртодизель для автомобиля. В нем воспламенение метанола происходит за счет факела запального дизельного топлива, подаваемого через форсунку 2 (рис. 1.54) в количестве до 5 % от подачи метанола через форсунку 1 на полной нагрузке. При таком процессе эмиссия NO_x снизилась вдвое. Недостатки процесса – его сложность, невозможность его применения в существующих двигателях при их модернизации.

Однако такие системы начали применять в России на дизеле Д-21П1 воздушного охлаждения малоразмерного трактора Т-25 (рис. 1.55).

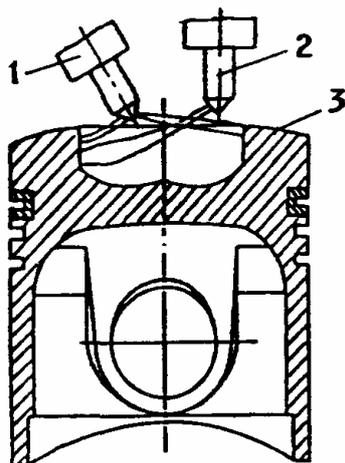


Рис. 1.54. Схема раздельной подачи двух топлив:
 1 – форсунка для подачи спиртового топлива;
 2 – форсунка для подачи запального дизельного топлива; 3 – поршень

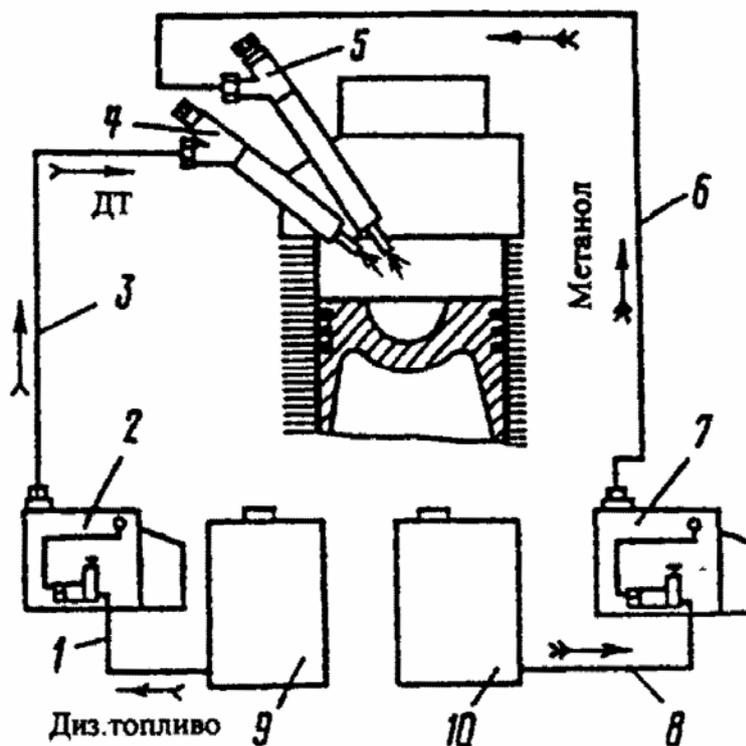


Рис. 1.55. Принципиальная схема двойной системы
 топливоподачи метанола в цилиндры дизеля:
 1, 3 – топливопроводы низкого и высокого давления для подачи ДТ;
 2, 7 – ТНВД для подачи ДТ и метанола; 4, 5 – форсунки для подачи ДТ
 и метанола; 6, 8 – топливопроводы высокого и низкого давления ДТ и подачи
 метанола; 9, 10 – топливные баки для ДТ и метанола

Другим способом применения метанола может быть подача его в дизель (до 60 %) на всасывании (карбюрация, фумигация, впрыскивание) и воспламенение его запальным топливом.

Показатели работы дизеля с таким рабочим процессом приведены на рис. 6.3, где видно, что на режимах высоких нагрузок индикаторный КПД слегка возрастает с ростом содержания спирта, независимо от его крепости. На малых нагрузках КПД уменьшался с ростом доли спирта в смеси.

При добавлении спирта во впускную систему дизеля задержка воспламенения, максимальное давление, жесткость сгорания растут с ростом нагрузки. При малых нагрузках этого не происходит, так как воспламенение начинается за ВМТ. С добавкой спирта до 55 % не наблюдается детонационного сгорания. Дымность ОГ и выбросы NO_x при этом снижаются, а выбросы CO и CH растут, особенно при малых нагрузках и холостых ходах.

Другим методом организации такого процесса является подача на такте впуска продуктов термохимического разложения метанола.

Вследствие почти вдвое меньшей теплоты сгорания метанола (по сравнению с теплотой сгорания ДТ) при его добавлении в пределах 10–50 % (масс.) и сохранения эффективных показателей расход рабочей смеси увеличился на 2,7–25 % при одновременном снижении расхода ДТ на 18–26 %. Характер нагрузочных токсических характеристик по саже, CO , CH и NO_x по сравнению с характеристиками дизельного процесса не изменился. Вместе с тем концентрация сажи в ОГ снизилась в 3 раза во всем диапазоне нагрузок при добавлении 50 % метанола. Несколько увеличилось содержание CO . Концентрация NO_x осталась без изменений, CH – уменьшилась в 4–5 раз в области средних нагрузок, оставаясь в первом приближении без изменений на нагрузках, близких к холостому ходу, и на номинальной.

Анализ индикаторных диаграмм показал, что присадка продуктов разложения метанола повышает термодинамический и индикаторный КПД за счет увеличения доли топлива, сгорающего при $V = \text{const}$. Работа двигателя при добавлении метанола в виде продуктов его разложения в количестве до 50 % по массе устойчива на постоянных и переменных нагрузках. Изменения пусковых характеристик не замечено.

Одним из методов использования метанола является впрыск в дизель метанола-топливной эмульсии (МТЭ). Наиболее эффективно приготовление эмульсии при низком давлении с использованием электрических, электромагнитных, ультразвуковых эмульгаторов, а также эмульгирование при высоких давлениях с помощью гидродинамических завихрителей и т.д.

Система для приготовления и подачи МТЭ (рис. 1.56) содержит бак для ДТ 1, установленный в П-образном канале головки ГНВД 7. Это позволяет сократить время между приготовлением МТЭ и ее использованием. Вра-

щение электродвигателем 10 вала смесителя 9 установленными на нем лопастями (попарно с левой и правой навивкой) улучшает однородность МТЭ. Система позволяет приготовить МТЭ в диапазоне изменения концентрации метанола 0–100 % и ДТ – 100 – 0 % в количестве, необходимом для работы дизеля на любом требуемом режиме. Погрешность дозирования компонентов МТЭ не превышает 5 % во всех случаях.

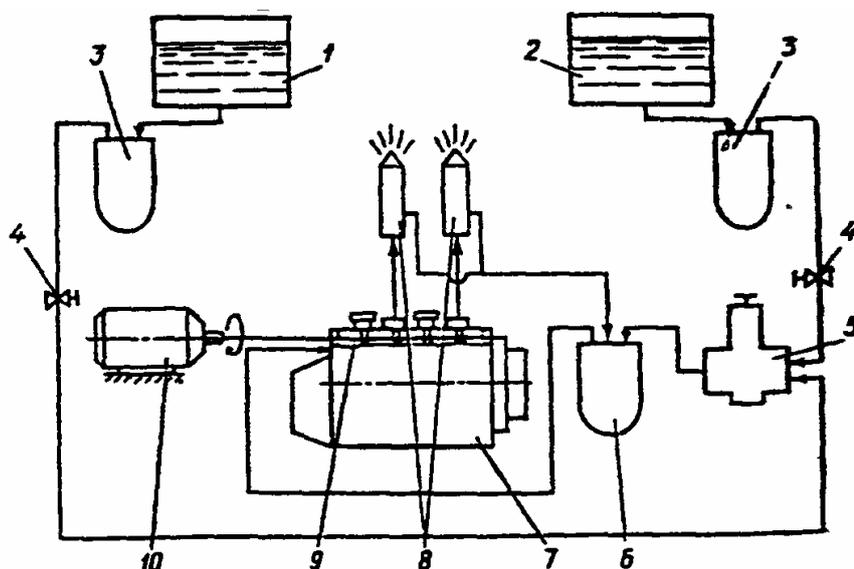


Рис. 1.56. Схема системы для приготовления и подачи МТЭ:
 1 – бак для ДТ; 2 – бак для метанола; 3 – фильтры грубой очистки;
 4 – регулирующие устройства; 5 – топливоподкачивающий насос;
 6 – фильтр тонкой очистки; 7 – ТНВД; 8 – форсунки; 9 – смеситель;
 10 – электродвигатель

При работе дизеля на МТЭ содержание NO_x в ОГ снижается в два раза. Так, на номинальном режиме при $p_e = 0,6$ МПа концентрация NO_x в ОГ для дизельного процесса составила 0,036 %, а при работе дизеля на МТЭ с содержанием 30 % метанола – 0,017 %, причем с ростом нагрузки эта тенденция увеличивается.

Содержание сажи в ОГ также снижается при работе на МТЭ. Так, увеличение нагрузки от $p_e = 0,24$ МПа до $p_e = 0,72$ МПа приводит к росту выброса сажи от 2,3 до 7,3 ед. по шкале Бош. При работе на МТЭ выброс сажи уменьшается во всем диапазоне нагрузок. Так, уменьшение выбросов сажи в ОГ составляет соответственно 17, 37 и 48 % для случаев работы дизеля с содержанием метанола 10, 20 и 30 %.

Уровень содержания СО в ОГ дизеля практически не отличается от его значений при работе на ДТ или МТЭ. Концентрация CO_2 в ОГ дизеля Д-21А1 при работе на МТЭ меняется незначительно. Так, при увеличении

p_e от 0,24 до 0,72 МПа содержание CO_2 увеличивается с 3,77 до 9,13 % для дизельного процесса и с 4,31 до 9,81 % при работе на МТЭ с 30 % метанола.

Содержание CH в ОГ дизеля несколько возрастает при работе на МТЭ.

Фирма «Изуцу» создала дизель для легкового автомобиля с подачей дизельного топлива и спирта в неразделенную камеру. В этой системе (рис. 1.57) дизельное топливо подается к форсунке 9 обычным способом от насоса высокого давления 1 через нагнетательный клапан 2, трубопровод 12, поднимая запорную иглу 10 форсунки. Между циклами впрыска дополнительный насос 5 подает спирт из емкости 3 по трубопроводу 4 через фильтр 7 и клапан 8 в канал 11 форсунки или нагнетательную магистраль 12 вблизи форсунки. Спиртовое топливо находится под некоторым избыточным давлением в магистрали до клапана 8 благодаря перепускному клапану 6. Таким образом, смешивание топлив происходит в периоды между циклами в канале 11 форсунки 9, в результате чего насос 1 защищен от работы на маловязком и коррозионно-активном спирте.

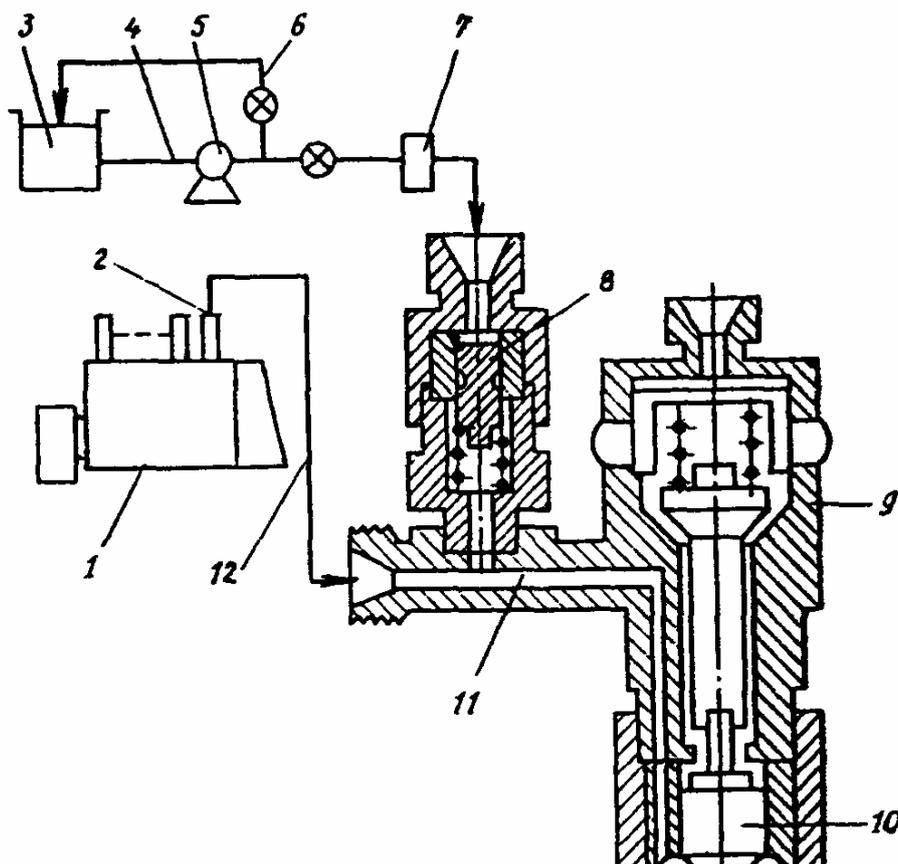


Рис. 1.57. Схема подачи дизельного топлива и спирта в дизель легкового автомобиля фирмы «Изуцу»

Недостатком системы является то, что в ней требуются элементы управления расходом спирта через клапан 8 в функции от частоты и/или нагрузки, так

как с их снижением расход спирта возрастает, а для качественного протекания процесса этот расход целесообразно снизить.

Способ подачи спирта, близкий по принципу работы к указанному, разработан с участием авторов (рис. 1.58). Основное (дизельное) топливо подается плунжером 12 насоса высокого давления 1 через нагнетательный клапан 10, имеющий разгрузочный поясок 11, по ЛВД 8 к форсунке 9.

Спиртовое топливо из емкости 4 по трубопроводу 5 поступает в полость подкачивающего мембранного насоса 3, а оттуда по трубке 6 – к клапану 7 (названному выше клапаном регулирования начального давления – РНД).

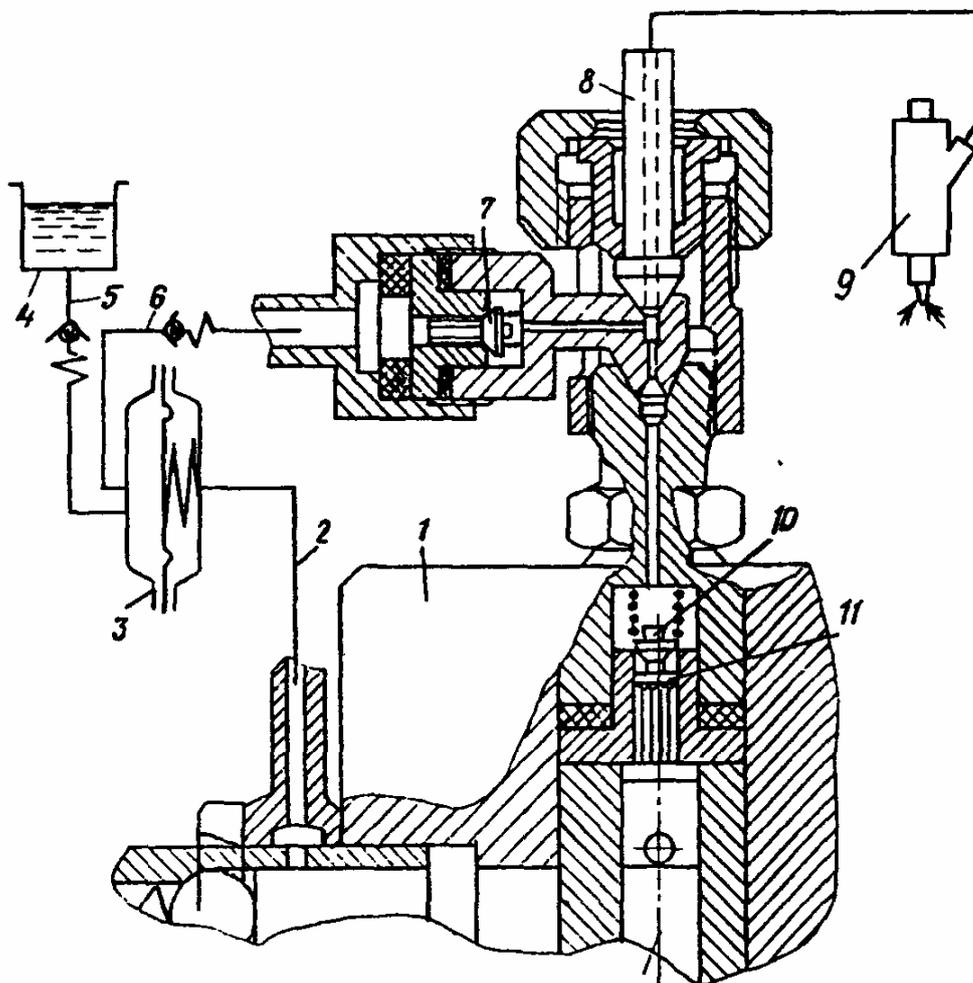


Рис. 1.58. Схема системы подачи в дизель смеси дизельного топлива и метанола или легких синтетических углеводородов

Подкачивающий мембранный насос 3 своей управляющей приводной полостью связан трубопроводом 2 с линией отсечки подачи топлива ТНВД 1.

Таким образом, производительность насоса 3 увеличивается с ростом частоты вращения и ростом нагрузки вследствие увеличения энергии импульсов отсечки подачи топлива насосом 1.

При отсечке подачи, когда нагнетательный клапан 10 при посадке в седло своим разгрузочным пояском 11 формирует в ЛВД волну разрежения, клапан 7 под действием перепада давления между линиями 6 и 8 открывается и спиртовое топливо поступает в ЛВД 8, смешиваясь там с дизельным топливом. В очередном цикле впрыскивания эмульсия дизельного топлива со спиртом впрыскивается насосом 1 через форсунку 9 в цилиндр двигателя. В этой системе уже имеется определенное автоматическое управление расходом спирта в функции от частоты и нагрузки. Задача управления расходом спирта может быть упрощена, если спирт подается насосом высокого давления (для этого он должен иметь соответствующее выполнение – со смазкой, с антикоррозионным покрытием, уплотнением и т.д. или в спирт должны быть добавлены загустители, например касторовое масло). При этом дизельное топливо подается через клапан 7.

Вследствие такого выполнения на режимах малых частот и малых нагрузок, когда расход спирта снижается, расход (доля) дизельного топлива возрастает.

При определенных размерах разгрузочного пояска нагнетательного клапана 10 появляются режимы, когда спирт нагнетается насосом 1, при этом клапан 10 поднимается, но не выходит пояском 11 из седла, а значит, спирт в ЛВД 8 не поступает. Зато дизельное топливо вводится в ЛВД через клапан РНД 7 и форсунку 9. В этом случае впрыскивается чисто дизельное топливо.

В большинстве исследований было показано, что без применения специальных присадок, активизирующих рабочий процесс дизеля, возможно замещение спиртом до 50-55 % дизельного топлива на режимах полных нагрузок, со снижением этой доли до нуля на режимах малых нагрузок и холостых ходов.

Фирма MAN при создании дизеля для работы на чистом спирте вынуждена была увеличить степень сжатия до 25, в результате чего произошло значительное нагружение кривошипно-шатунного механизма.

Для степени сжатия 16–18 фирма применила принудительное зажигание (рис. 1.59).

При этом процесс смесеобразования сохранился как у дизеля. При впрыске метанола обнаружена сильная кавитация топливной аппаратуры, для ликвидации которой потребовалось охлаждение насоса и повышение давления на всасывании.

Известно улучшение воспламеняемости спиртов с помощью свечи накаливания.

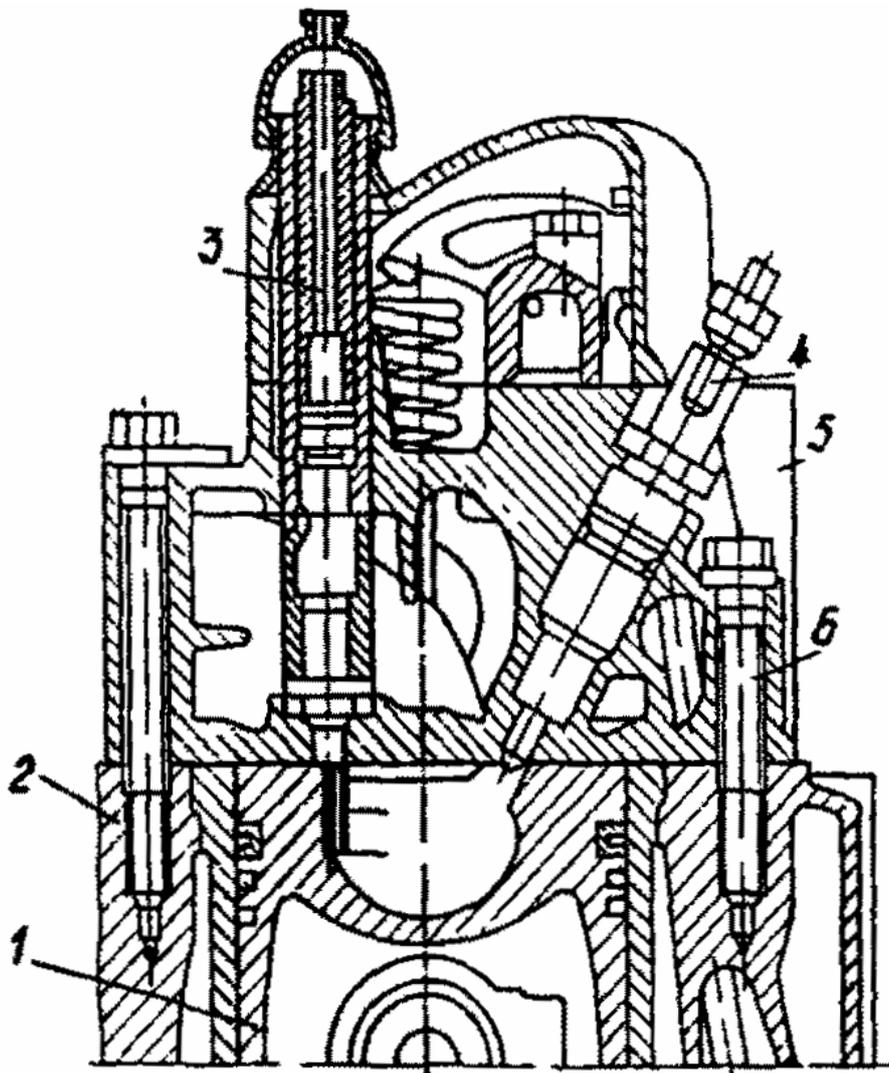


Рис. 1.59. Гибридная схема дизеля с принудительным зажиганием:
 1 – поршень; 2 – блок цилиндров; 3 – свеча зажигания;
 4 – форсунка; 5 – головка цилиндров; 6 – болт

Применение газоконденсатных топлив

Газоконденсаты условно могут быть разделены на легкие и тяжелые; оба сорта могут быть применены в дизелях.

При работе на газовом конденсате широкого фракционного состава с соответствующей регулировкой топливной аппаратуры эффективная мощность и удельный расход топлива оставались на том же уровне, что и при работе на дизельном топливе, во всем диапазоне изменения нагрузок и частоты вращения коленчатого вала.

Газовый конденсат широкого фракционного состава или близкий к бензиновым фракциям может быть использован в качестве дизельного топлива при дополнительных регулировках топливной аппаратуры – по типу многотопливного двигателя. Двигатель также может работать по принципу двух систем с обогащением впускного воздуха (что заметно усложнит топливную систему обычного дизеля, особенно с жидкостным охлаждением) или на смеси двух видов газовых конденсатов.

Применение водорода в качестве топлива

Целесообразность использования водорода в качестве топлива определяется не только истощением топливных ресурсов, но и тем, что водород является наиболее экологически чистым топливом для тепловых двигателей и установок.

Подача водорода в смеси с воздухом на впуске в дизель невозможна из-за низкой температуры воспламенения смеси (преждевременное воспламенение в момент подачи). Возможна работа дизеля с подачей примерно 30 % H_2 на впуске перед закрытием впускного клапана, затем – обычный впрыск дизельного топлива. Предпочтительно подавать H_2 в конце процесса сжатия, а воспламенение начинать до подачи всего заряда H_2 . Впрыск H_2 начинают за 5° до ВМТ при давлении 10 МПа.

Более перспективно в ближайшем будущем применение H_2 в качестве добавки к топливу, причем как к дизельному (например с помощью системы с РНД), так и к бензиновому.

Введение 4–5 % водорода в бензовоздушный заряд расширяет пределы воспламенения смеси до $\alpha = 1,7$ при степени сжатия $\epsilon = 5$ и до $\alpha = 2,0$ при $\epsilon = 11$. Область детонационного сгорания не изменяется. С увеличением $\alpha > 1,1$ с добавкой водорода содержание CO и CH достигает минимальных концентраций: CO = 0,04...0,06 %; CH = 50...60 млн⁻¹. Содержание NO_x в ОГ снижается до 40–60 млн⁻¹ при $\epsilon = 6,5$ и $\alpha = 1,6$. Рекомендовано вводить 5 %-ю добавку водорода в воздушно-топливный заряд только на режимах холостого хода и малых нагрузок, что позволяет обеспечить устойчивую работу двигателя при $\alpha = 1,5...1,6$ и снизить токсичность.

В настоящее время наиболее широко ведутся работы по переоборудованию легковых автомобилей на питание водородом.

Схема такой системы показана на рис. 1.60.

Некоторые особенности топливных систем двигателей, работающих на водороде, приведены на рис. 1.61, 1.62, 1.63. На схемах условно не показаны датчики, фиксирующие положение заслонок и отдельных узлов.

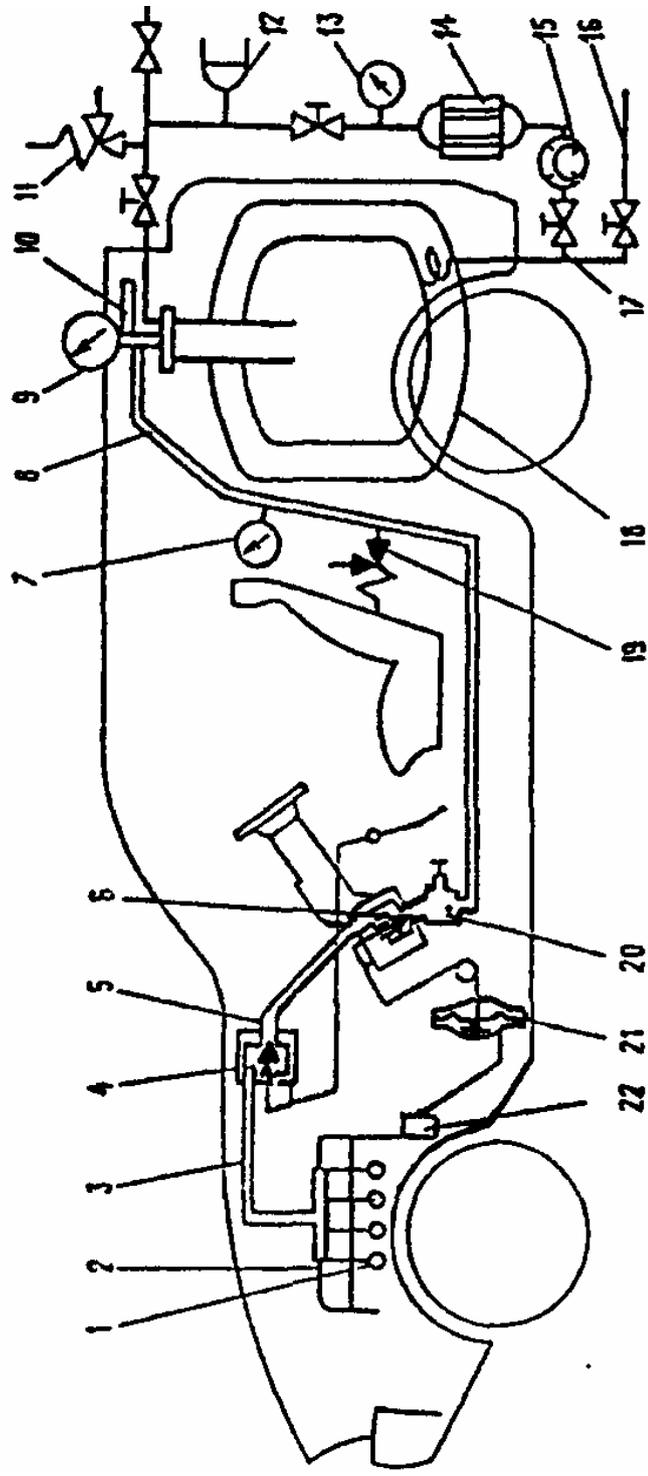


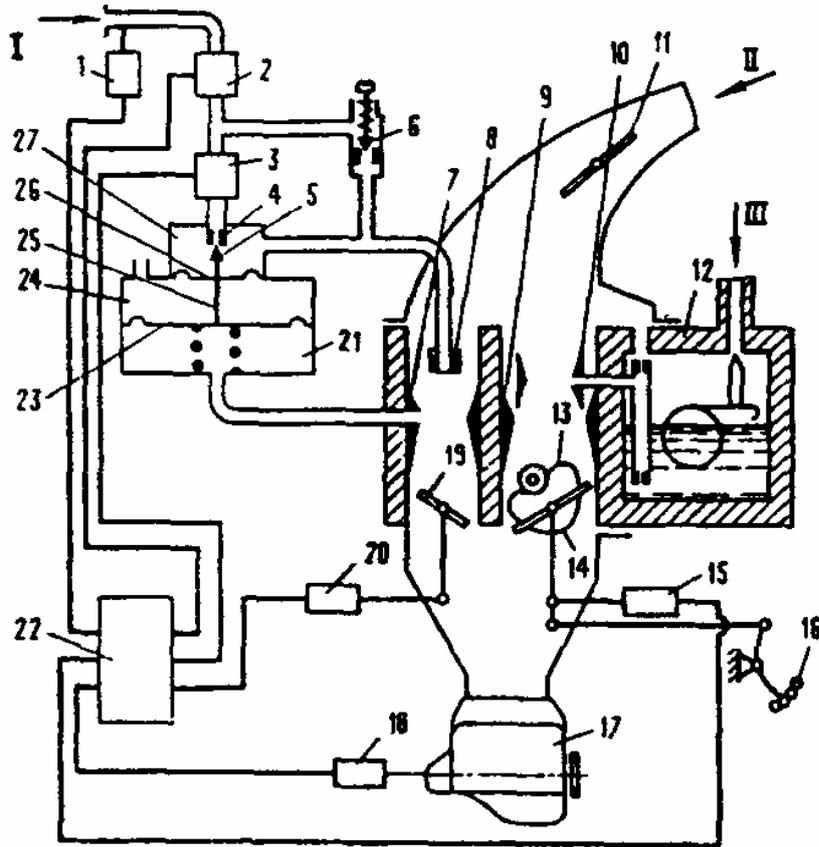
Рис. 1.60. Схема системы подачи водорода легкового автомобиля:

1 – впускной коллектор двигателя; 2 – двигатель; 3,5,8 – трубки подвода водорода; 4, 6 – игольчатые клапаны; 7,13 – манометры; 9 – указатель уровня; 10 – штуцер заправочный; 11,19-клапаны предохранительные (на давление 0,59 МПа); 12 – мембрана предохранительная; 14 – теплообменник;

15 – насос системы подогрева бака водорода; 16, 17 – 1-й и 2-й круги циркуляции системы подогрева; 18 – криогенный сосуд водорода (емкость 230 л);

20 – клапан заправляющий; 21 – диафрагма; 22 – вакуум-насос

а



б

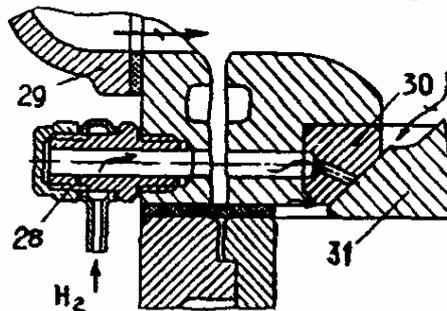


Рис. 1.61. Схемы системы питания двигателя бензином и водородом с помощью карбюратора (а) и узла подачи водорода под впускной клапан (б):

- 1 – датчик давления водорода; 2 – отсечной клапан; 3 – рабочий клапан;
 4 – жиклер водорода; 5 – игла жиклера; 6 – винт холостого хода; 7 – диффузор водородной смесительной камеры; 8 – водородная форсунка; 9, 10 – диффузоры бензиновой смесительной камеры; 11 – воздушная заслонка; 12 – поплавковая камера с дозирующими системами; 13 – кулачок привода дроссельной заслонки смесительной камеры; 14 – дроссельная заслонка бензиновой смесительной камеры; 15 – датчик положения педали управления дроссельной заслонки; 16 – педаль управления подачей топлива; 17 – двигатель; 18 – датчик частоты вращения; 19 – дроссельная заслонка водородной смесительной камеры; 20 – датчик положения дроссельной заслонки; 21 – вакуумная камера регулятора расхода водорода; 22 – блок управления расходом водорода; 23 – большая мембрана регулятора; 24 – воздушная камера; 25 – шток иглы; 26 – малая мембрана; 27 – водородная камера; 28 – штуцер подвода водорода; 29 – впускной трубопровод; 30 – седло клапана; 31 – впускной клапан; I – водород; II – воздух; III – бензин

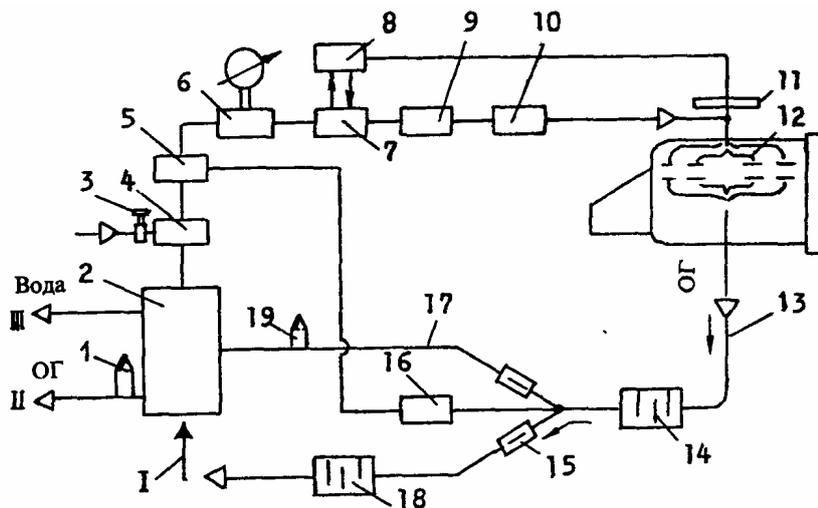


Рис. 1.62. Гидридная схема питания водородом:

- 1 и 19 – термопары; 2 – бак; 3 – заправочный вентиль; 4 – предохранительный клапан; 5 – реле давления; 6 – датчик давления; 7 – электромагнитный клапан подачи водорода в двигатель; 8 – блок электронного управления расходом водорода; 9 – редукционный клапан высокого давления; 10 – всережимный вакуумный регулятор расхода водорода; 11 – карбюратор-смеситель; 12 – двигатель; 13 – выпускной трубопровод; 14 – первый глушитель шума системы выпуска; 15 – трубопровод отвода отработавших газов в атмосферу; 16 – электромагнит, управляющий заслонками в трубопроводах 15 и 17; 17 – трубопровод подвода отработавших газов в бак для нагревания при потреблении водорода; 18 – второй глушитель шума системы выпуска; I и III – подвод и отвод воды для охлаждения; II – выпуск отработавших газов из гидридного бака

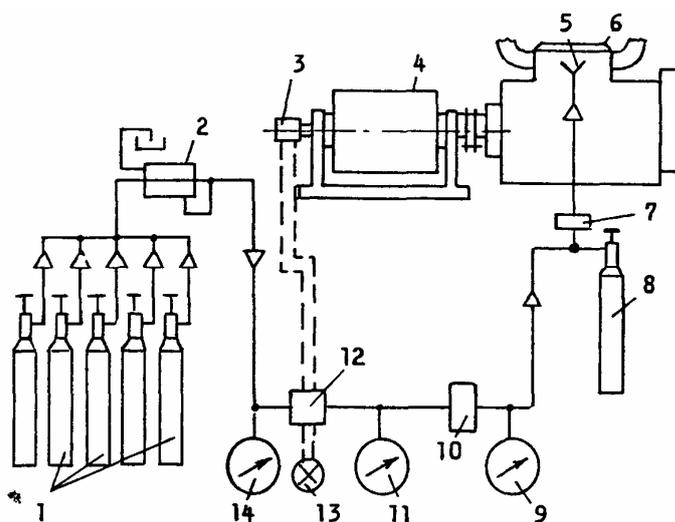


Рис. 1.63. Схема подачи водорода в дизель 148,5/11:

- 1 – баллоны; 2 – редукционный клапан; 3 – электротаксометр; 4 – тормоз; 5 – форсунка; 6 – дизель; 7 – пламегаситель; 8 – расширительный бачок; 9, 11, 14 – манометры; 10 – игольчатый клапан; 12 – электромагнитный клапан; 13 – сигнальная лампа

Использование газов с низкой теплотой сгорания

Рабочие процессы ДВС, использующих газы с низкой теплотой сгорания ($H_u \leq 4,665$ МДж/м³), исследованы недостаточно, так как в течение длительного времени считалось нецелесообразным применение их в качестве топлива.

Газы такого типа обычно имеют повышенное содержание углекислоты, инертных газов, низкое содержание метана и значительную разбавленность атмосферным воздухом. Отсюда возникают проблемы зажигания горючей смеси. Предположительно, наиболее эффективным средством воспламенения здесь может быть форкамерно-факельное или факельное зажигание.

К числу газов с низкой теплотой сгорания относятся шахтный газ, угольный газ, биогаз (или биометан).

Особенностью всех этих газов является широкий диапазон возможного варьирования в составе газов содержания метана (от 35 до 5 %), а также других компонентов. В реализуемых системах питания таким газом следует предусматривать датчики контроля состава газа и устройство регулирования расхода его в функции от состава. Обязательным условием создания таких систем должно быть условие нераспространения пламени во впускную магистраль.

Большинство таких газов требует предварительной сушки, удаления влаги, а также отделения серы (очистки от серы).

На шахтном метане предпочтительным является рабочий процесс с внешним смесеобразованием, что и предопределяет организацию газодизельного процесса.

В последние годы значительный интерес проявляется к использованию биогаза, получаемого при переработке отходов, очистке сточных вод, утилизации отходов сельского хозяйства, ферм и т.д.

Схема установки по использованию биогаза показана на рис. 1.64.

После газгольдера-генератора обычно проводят компримирование биогаза в целях создания условий его хранения и повышения массовой теплоты сгорания.

Принципиально доказано, что при соответствующей доработке топливной аппаратуры биогаз в полной мере может заменить бензин в качестве моторного топлива в автомобильном транспорте. Использование его для собственных нужд – для автотранспорта, обслуживания животноводческих ферм, птицефабрик и т.д. – может дать ощутимый экономический эффект.

Использование указанных газов не имеет прямого отношения к общей проблеме использования газа в качестве топлива.

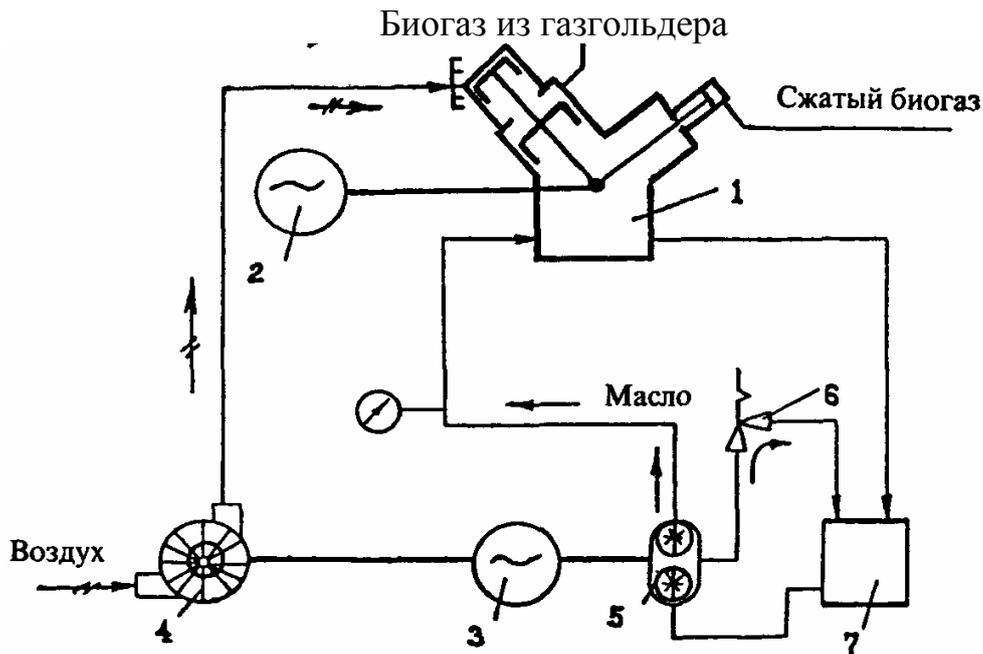


Рис. 1.64. Схема компрессорной установки, работающей на биогазе:
 1 – компрессор; 2, 3 – электродвигатели; 4 – центробежный нагнетатель;
 5 – масляный насос; 6 – перепускной клапан; 7 – масляный бак

Однако эксплуатация двигателей на таком газе может стать школой накопления опыта работы с газовыми двигателями ввиду возможности этих двигателей работать как на биогазе, так и на природном газе. Разработка и практическое применение таких ДВС могут ускорить внедрение природного газа в качестве топлива на энергетических и транспортных средствах.

1.5. Применение малотоксичных и нетоксичных двигателей

Малотоксичными являются газотурбинные, роторные и гибридные двигатели, а нетоксичными – инерционные.

Газотурбинный двигатель проще поршневого по конструкции, имеет меньшую массу, легко пускается и значительно меньше загрязняет воздух ядовитыми веществами. Так, в его отработавших газах существенно меньше окислов углерода и углеводородов. Однако двигатель имеет высокую стоимость, большой расход топлива и малую приемистость (медленно развивает максимальную мощность).

Роторный двигатель – это бензиновый двигатель, отличающийся по конструкции от поршневого двигателя. У роторного двигателя нет цилиндров и шатунно-поршневой группы. Вместо поршней двигатель имеет вращающийся ротор, который передает крутящий момент через зубчатую передачу. В двигателе также нет клапанов, а вместо них используются впускные и выпускные отверстия. Двигатель имеет меньшую массу, компактен,

прост в производстве, бесшумен и способен работать на бензине с любым октановым числом и без добавок антидетонационных свинцовых присадок. Однако по сравнению с поршневым роторный двигатель менее экономичен. Кроме того, в двигателе трудно обеспечить необходимую герметичность между корпусом и ротором по мере их изнашивания в эксплуатации.

Гибридные двигатели менее токсичны и более бесшумны по сравнению с поршневыми. На автомобиле (рисунок 1.2) устанавливаются два двигателя – двигатель 1 внутреннего сгорания и тяговый электродвигатель 4. В условиях города используется электродвигатель, который работает от аккумуляторной батареи 3, а при выезде из города – двигатель внутреннего сгорания. При работе двигателя внутреннего сгорания генератор 2 подзаряжает аккумуляторную батарею. Автомобиль с гибридными двигателями сложнее по конструкции и дороже в производстве, чем электромобиль.

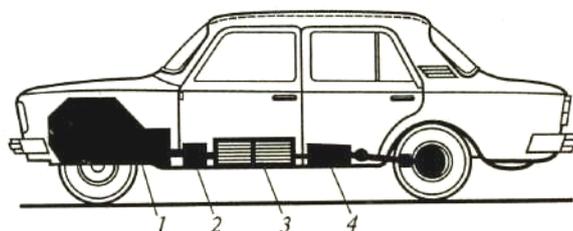


Рис. 1.65. Автомобиль с гибридными двигателями:
1 – двигатель внутреннего сгорания; 2 – генератор;
3 – аккумуляторная батарея; 4 – электродвигатель

Инерционный двигатель представляет собой маховик. Большое преимущество маховика состоит в его экологической чистоте с отсутствием токсичных отходов и практически бесшумной работой, а также высоким КПД.

Но недостатком, препятствующим внедрению маховика, является его малая энергоёмкость и, следовательно, незначительный пробег автомобиля между подзарядками (раскручиванием) маховика. Кроме того, определённую сложность представляет трансмиссия, передающая энергию от маховика к ведущим колесам автомобиля.

Снижение расхода топлива транспортных средств и загрязнения окружающей среды возможно не только изменением конструкции автомобилей, но и методами и средствами технической эксплуатации автомобилей.

Для оперативного ежедневного контроля за состоянием подвижного состава автотранспортного предприятия (АТП) разработан сигнализатор уровня энергосбережения (УЭАТП), представляющий собой компьютерную программу, основанную на фиксации и анализе показателей использования автомобиля при оформлении путевых листов.

1.6. Сигнализатор уровня энергосбережения на автотранспортном предприятии

Программа включает блоки формирования баз данных по путевым листам (рис.1.66), наличному подвижному составу АТП, справочным сведениям об автомобилях и водительскому составу АТП.

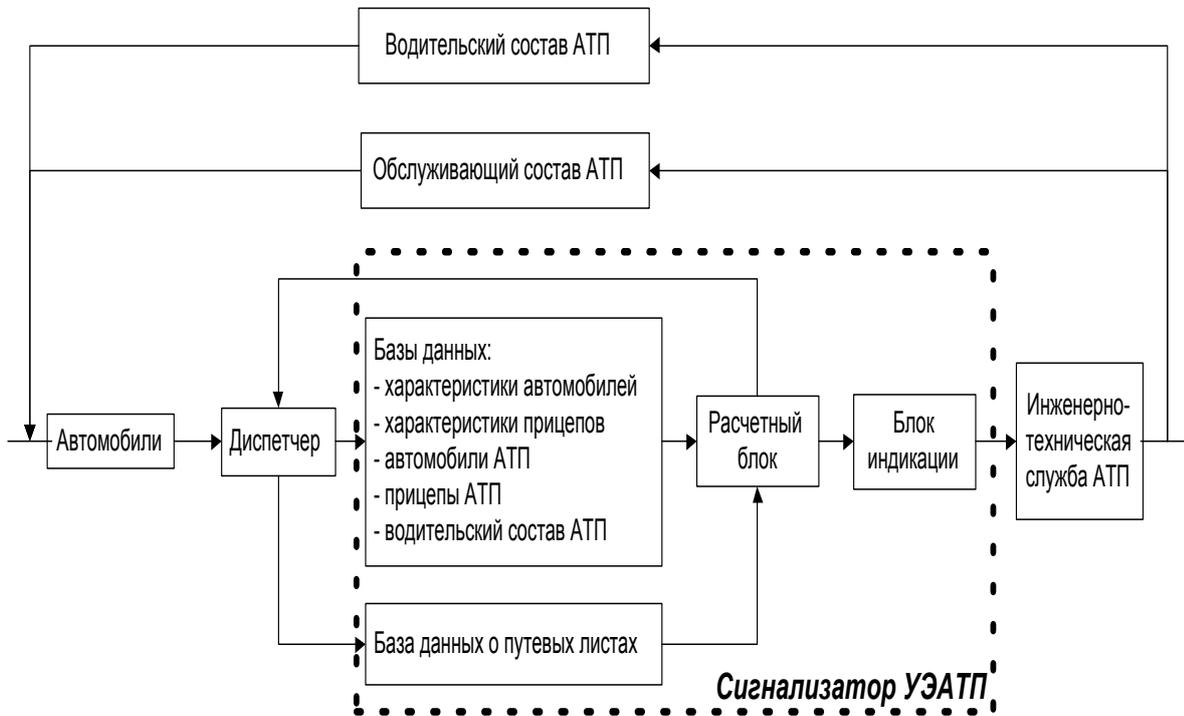


Рис. 1.66. Структурно-логическая схема сигнализатора уровня энергосбережения на автотранспортном предприятии

Подготовленные данные обрабатываются с помощью расчётно-анализирующего блока, алгоритм которого использует известные методики определения фактического и нормативного расходов топлива. С помощью блока индикации результаты расчета и анализа выводятся на монитор компьютера руководящих работников автотранспортного предприятия. Данная информация является основанием для своевременного принятия решений по коррекции процесса производственной и технической эксплуатации автомобилей соответствующими службами АТП.

Программа устанавливается на компьютере диспетчера АТП. Базы данных с характеристиками различных марок автомобилей и прицепов прилагаются к сигнализатору УЭАТП.

При необходимости можно производить изменения в существующей базе с помощью электронного справочника (рис. 1.67), который также позволяет получать информацию по эксплуатационным характеристикам ав-

томобилей, используя все достоинства системы управления базами данных Paradox – поиск, сортировку, выделение информации.

Индекс	Марка	Базовая модель	Тип автомобиля	Топливо	Грузоподъем
115	АКА-6225 "Россиянин"	АКА-6225 "Россиянин"	Автобус	Дизельное	
116	АКА-6226 "Россиянин"	АКА-6226 "Россиянин"	Автобус	Дизельное	
117	ГАЗ-221400 "Газель"	ГАЗ-221400 "Газель"	Автобус	А-76	
118	ГАЗ-221400	ГАЗ-221400	Автобус	А-76	
119	ГАЗ-32213 "Газель"	ГАЗ-32213 "Газель"	Автобус	А-76	
120	ЗИЛ-155	ЗИЛ-155	Автобус	А-76	
121	ЗИЛ-158	ЗИЛ-158	Автобус	А-76	
122	Ikarus-55	Ikarus-55	Автобус	Дизельное	
123	Ikarus-556	Ikarus-556	Автобус	Дизельное	
124	Ikarus-180	Ikarus-180	Автобус	Дизельное	
125	Ikarus-250	Ikarus-250	Автобус	Дизельное	
126	Ikarus-250.58	Ikarus-250.58	Автобус	Дизельное	
127	Ikarus-250.59	Ikarus-250.59	Автобус	Дизельное	
128	Ikarus-250.93	Ikarus-250.93	Автобус	Дизельное	
129	Ikarus-250.95	Ikarus-250.95	Автобус	Дизельное	
130	Ikarus-255	Ikarus-255	Автобус	Дизельное	
131	Ikarus-256	Ikarus-256	Автобус	Дизельное	
132	Ikarus-260	Ikarus-260	Автобус	Дизельное	

Рис. 1.67. Справочник по характеристикам автомобилей

Предварительная подготовка сигнализатора УЭАТП заключается в создании базы данных по автомобилям и прицепам автотранспортного предприятия (государственному и заводскому номерам, датам выпуска и ввода в эксплуатацию и т.п.), а также по кадровому составу водителей (стажу работы, квалификации). Для выполнения указанных действий в программе предусмотрены редакторы соответствующих баз данных аналогичные справочнику.

Непосредственные операции с программой выполняет диспетчер АТП при оформлении путевых листов, одновременно создавая базу данных об использовании подвижного состава. Учет работы автотранспортных средств производится с помощью редактора путевых листов (рис. 1.68), который использует ранее созданные базы о подвижном составе и водителях. В программе реализована форма путевого листа грузового автомобиля (форма № 4С).

Редактор путевого листа

Общие сведения

Госномер автомобиля: 34-87 ПЕА
 Водитель: Петров ВС
 Госномер прицепа 1:
 Госномер прицепа 2:
 Госномер прицепа 3:
 Сопровождающее лицо: Сидоров ФФ

Марка: КамАЗ-43105
 Дата: 11.03.00
 Режим работы: 8
 Колонна: 1
 Бригада: 2

Расход топлива, л

норма: 223,91
 фактический: 246
 31

Расчет

Результаты работы автомобиля и прицепов

Общий пробег КМ: 345 / 345
 Пробег с грузом КМ: 172 / 172
 Перевезено Т: 34 / 0
 Выполнено Т*КМ: 5848 / 0

Работа водителя и автомобиля

	чис.	мес.	час.	мин	нчл. пробег	показания спидометра	время фактическое
Выезд	8	3	8	0	0	23444	
Возвр.	8	3	17	55	0	23789	

Движение горючего литр

Марка топлива	Код марки	Выдано	Остаток выезд	Остаток возвр.	Сдано	Кэф. изм. нормы	Время работы оборот. двигат.
Дизельн		200	56	10	0	1	0

Рис. 1.68. Редактор путевых листов

Редактор путевого листа позволяет вводить и сохранять в базе данных общие сведения об автотранспортном агрегате (автомобиле и прицепах), о работе водителя и автомобиля (дате, показаниях спидометра на момент выезда и возврата), движении горючего (сколько выдано, остатки на момент выезда и возврата).

После возвращения путевого листа оператор регистрирует результаты выполненной работы (количество перевезенных грузов, пробег с грузом и общий) и производит расчет фактически израсходованного топлива и его нормы расхода, используя кнопку "Расчет" (см. рис. 1.68).

Законченная запись по путевому листу является объектом дальнейшего анализа эффективности эксплуатации подвижного состава АТП, выполняемого блоком индикации программы (рис.1.69).

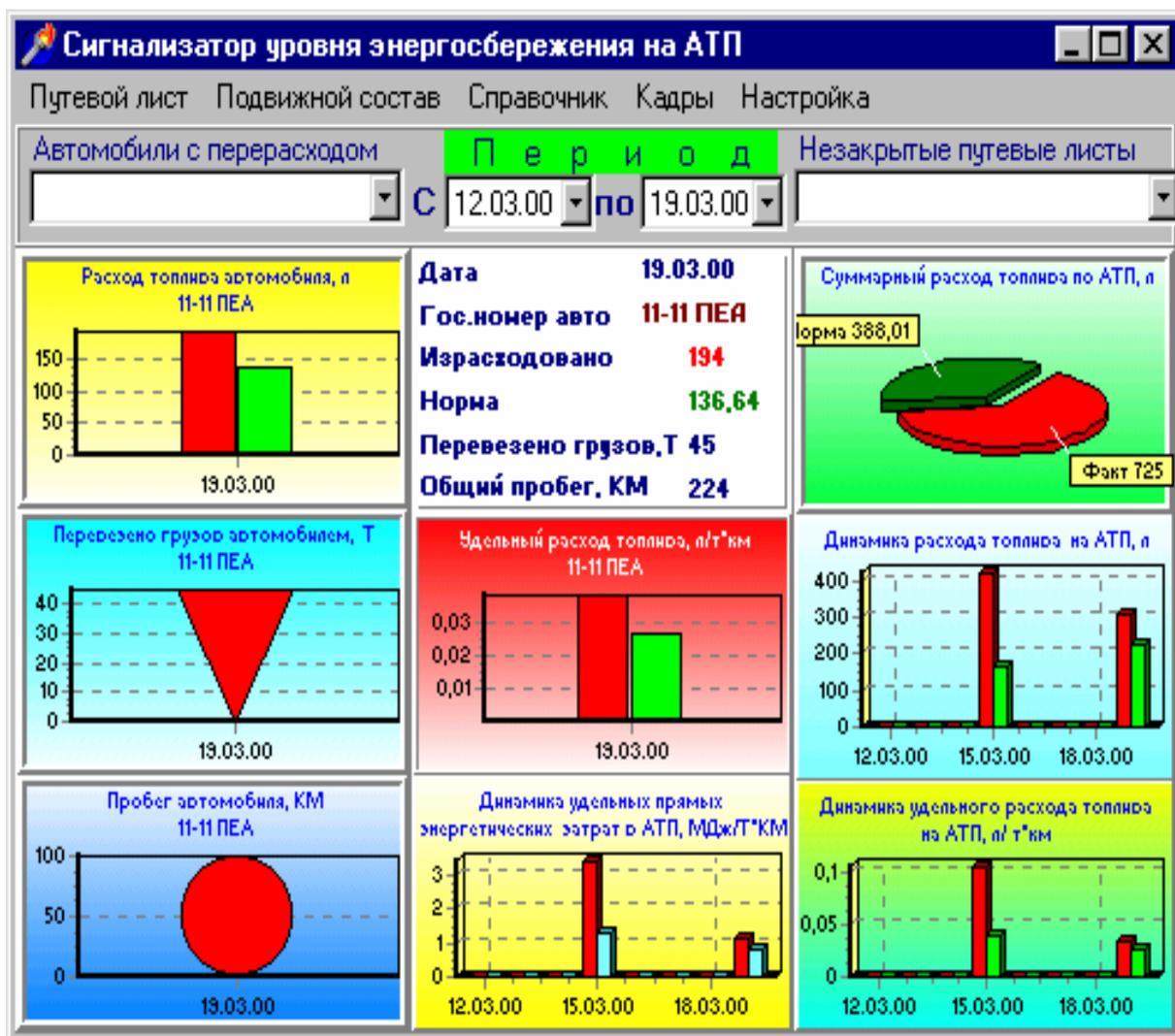


Рис. 1.69. Сигнализатор УЭАТП

Для анализа предварительно задаются интересующие параметры: отклонение суммарного фактического расхода топлива от нормативного по видам топлива; удельный расход на единицу выполненной работы (фактический и нормативный); фактические расходы топлива автомобилей, имеющих отклонение от нормативных расходов выше (ниже) заданного уровня, удельные, прямые затраты энергии на единицу выполненной работы и некоторые другие. Указанные параметры можно предоставлять с помощью сигнализатора за период в целом и в динамике: по дням, декадам, месяцам (рис. 1.69). Для оценки изменения параметров за интересующий период следует задаться датой его начала и окончания и нажать на надпись «Период».

При оценке уровня энергосбережения на автотранспортном предприятии следует оценить динамику расхода топлива, удельного расхода топлива автомобилями. После чего нужно выявить источники перерасхода топлива, т.е. конкретные автомобили.

После чего оценивают причину повышенного расхода автомобилей, обращая внимание на характер проявления параметров (табл. 1.6). Если при анализе выявлено, что причину перерасхода энергоресурсов – техническое состояние, то необходимо направить автомобиль на углубленное диагностирование. Если причина перерасхода другая, то целесообразно продолжить анализ и оценить профессиональные качества водителя, загрузку автомобиля транспортными работами, особенности условий их выполнения и т.п.

Т а б л и ц а 1.6

Матрица взаимосвязи параметров эффективности эксплуатации автомобиля и возможных причин

Регистрируемые параметры	Характер проявления	Наиболее вероятная причина	
		Техническое состояние автомобиля	Другие причины
1. Перерасход топлива автомобилем	Случайный		+
	Увеличивающийся	+	
	Систематический	+	+
2. Перерасход на единицу работы	Случайный		+
	Увеличивающийся	+	
	Систематический	+	
3. Низкий коэффициент использования пробега	Случайный		+
	Уменьшающийся		+
	Систематический	+	
4. Низкий коэффициент использования грузоподъемности	Случайный		+
	Уменьшающийся	+	
	Систематический	+	

Информация о расходовании энергетических ресурсов автомобильным транспортом АТП оперативно и объективно представляемая работникам инженерно-технической службы позволит своевременно принять меры по устранению причин их перерасхода. Это не только снизит затраты топлива и смазочных материалов на выполнение грузоперевозок, но и повысит производительность автотранспортных средств.

Повышение эффективности функционирования подвижного состава автотранспортного предприятия (АТП) обеспечивается своевременным техническим обслуживанием и ремонтом на основе диагностирования автомобилей. Однако не все предприятия обладают современным оборудованием для оценки технического состояния автомобилей, кроме того, периодичность контроля такова, что имеется возможность эксплуатации автомо-

билей с состоянием, требующим технического обслуживания (ТО) или текущего ремонта.

При этом используемая в настоящее время планово-предупредительная система ТО теряет свою актуальность. Наиболее применима система, при которой будут стремиться к минимуму затраты на техническое обслуживание и ремонт автомобилей. Такая система ТО будет более динамичной.

Основной проблемой применения таких систем является повышение стоимости транспортных средств за счет установки на основных элементах автомобиля датчиков, информация от которых поступает в блок управления.

В тоже время возникает проблема в планировании технического обслуживания на автотранспортных предприятиях для группы автомобилей.

Для выполнения такой задачи необходимо информацию по самодиагностике автомобилей объединить, систематизировать и анализировать, что возможно выполнить с использованием компьютерных систем.

Преимуществом таких систем является снижение материальных и временных затрат на техническое обслуживание и ремонт автомобилей, а также увеличение ресурса автомобиля.

Основными проблемами системы ТО на основе самодиагностики являются:

- неопределенность прогнозируемого времени постановки автомобиля на участок обслуживания, что затрудняет планирование и организацию ТО и ремонта;
- сложность объединения операций в группы и виды ТО;
- сложность определения трудоемкости ТО;
- сложность оценки материальных затрат на каждый вид ТО автомобилей.

Для решения этих проблем необходимо разработать программу, которая будет выполнять вышеперечисленные функции.

На первом этапе для ежедневного контроля над состоянием подвижного состава автотранспортного предприятия предлагается внедрить компьютерную программу, основанную на фиксации и анализе показателей автомобиля при использовании диагностирования.

1.7. Сигнализатор технического состояния автомобилей на автотранспортном предприятии

Программа включает блоки формирования баз данных по результатам диагностирования (рис. 1.70), наличному подвижному составу АТП, справочным сведениям об автомобилях. Подготовленные данные обрабатываются с помощью расчётно-анализирующего блока. С помощью блока индикации результаты расчета и анализа выводятся на монитор компьютера

руководящих работников автотранспортного предприятия. Данная информация является основанием для своевременного принятия решений по проведению технического обслуживания автомобилей.

Программа устанавливается на компьютере диспетчера АТП. Базы данных с характеристиками различных марок автомобилей прилагаются к программе.

Программа считывает значения с диагностических устройств, установленных на автомобиле. Если же такие устройства не установлены, они устанавливаются дополнительно.

Считанные значения автоматически записываются в базу данных программы, это делается для того, чтобы впоследствии можно было проследить историю технического состояния автомобиля.

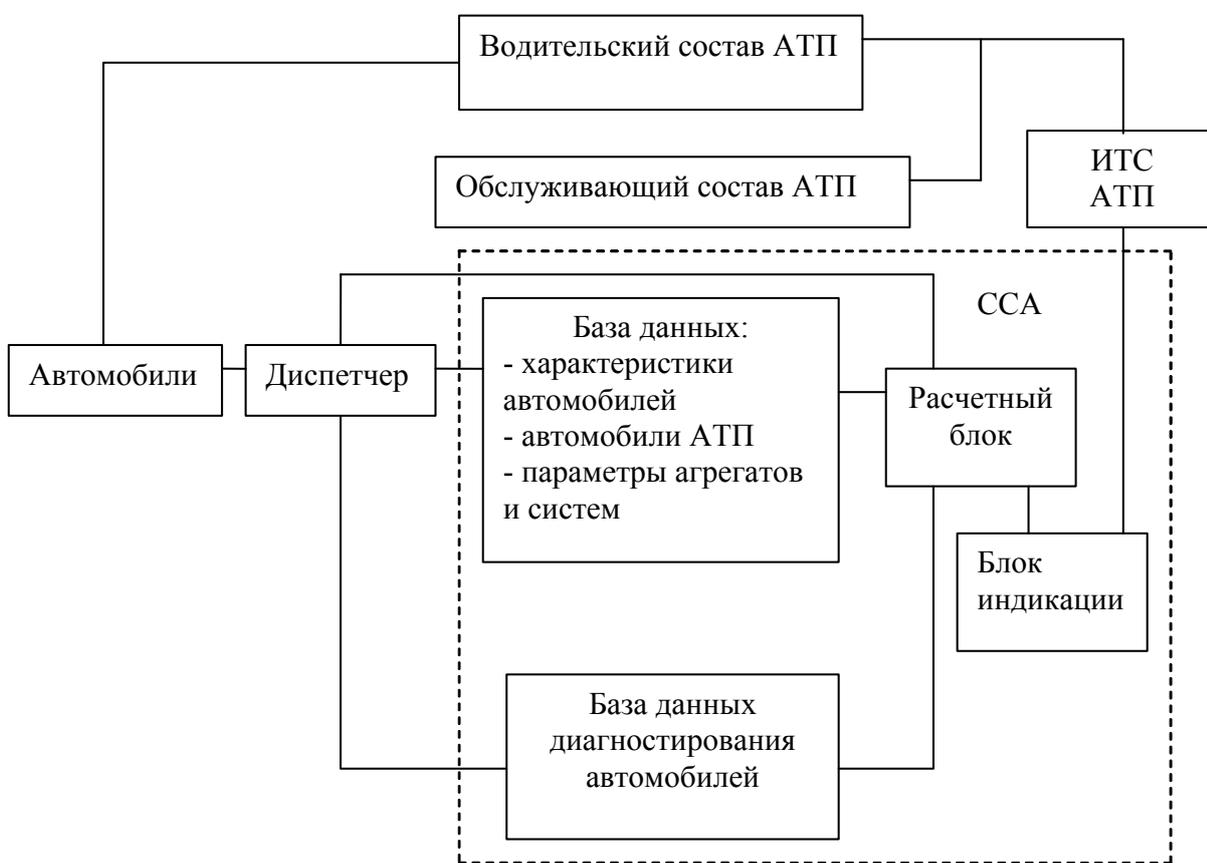


Рис. 1.70. Структурно-логическая схема сигнализатора технического состояния автомобиля

При запуске программы, оператор выбирает интересующий его автомобиль при помощи вкладки «Выбор автомобиля» (рис. 1.71).

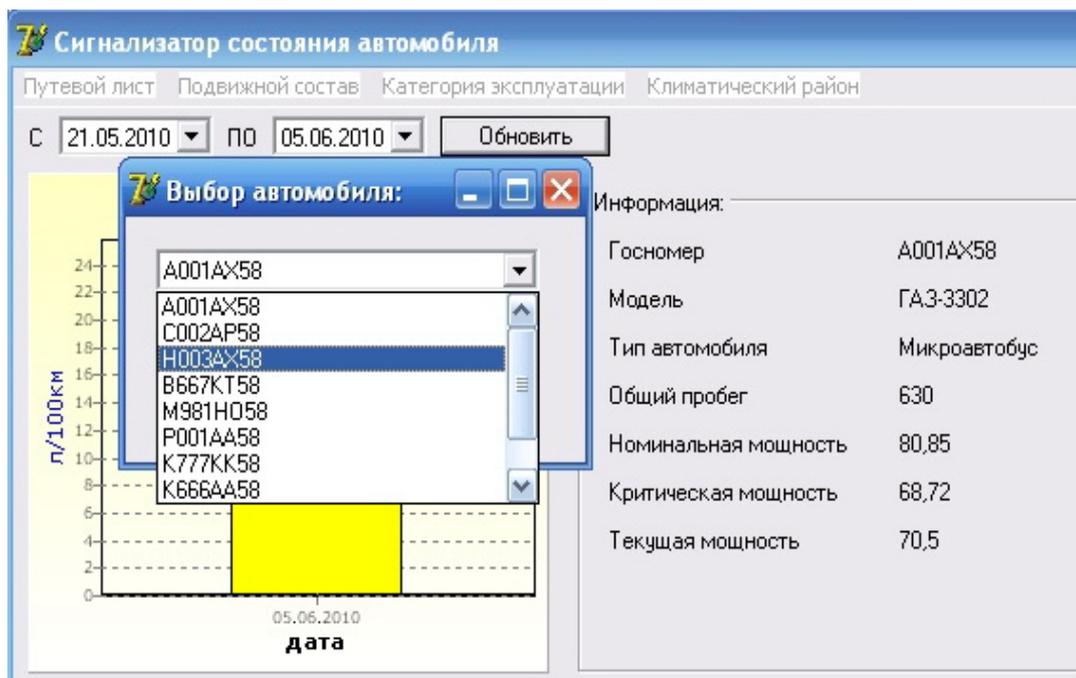


Рис. 1.71. Выбор автомобиля

Затем выбирается категория эксплуатации автотранспортного средства, с помощью вкладки «Категория эксплуатации» (рис. 1.72).

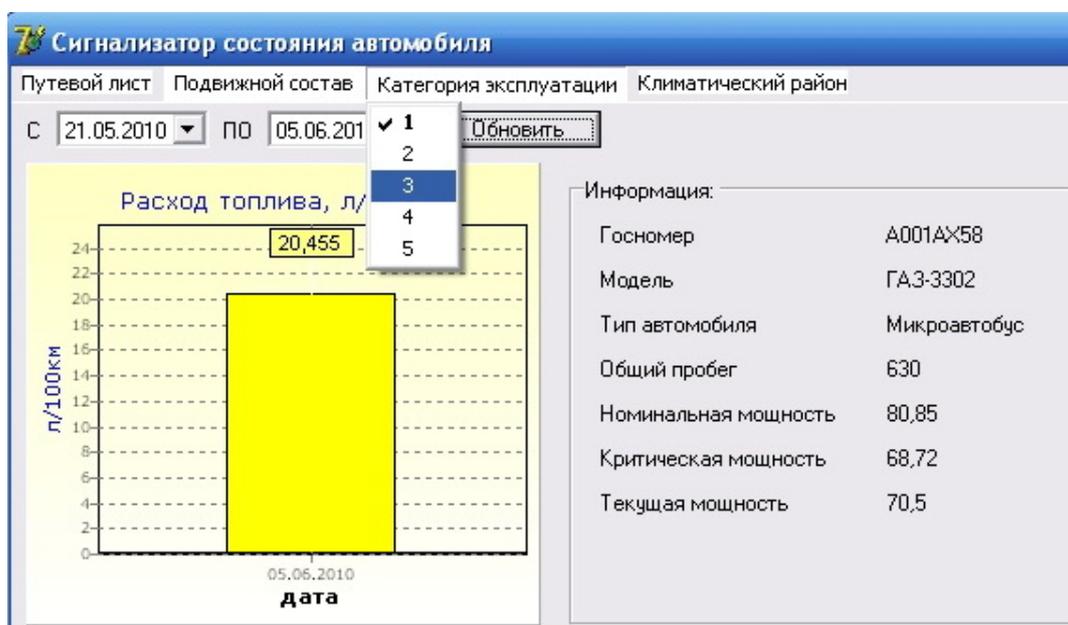


Рис.1.72. Выбор категории эксплуатации автомобиля

Чтобы программа могла точнее скорректировать наработку до ТО, выбираем климатический район, в котором эксплуатируется автомобиль, с помощью вкладки «Климатический район» (рис. 1.73).

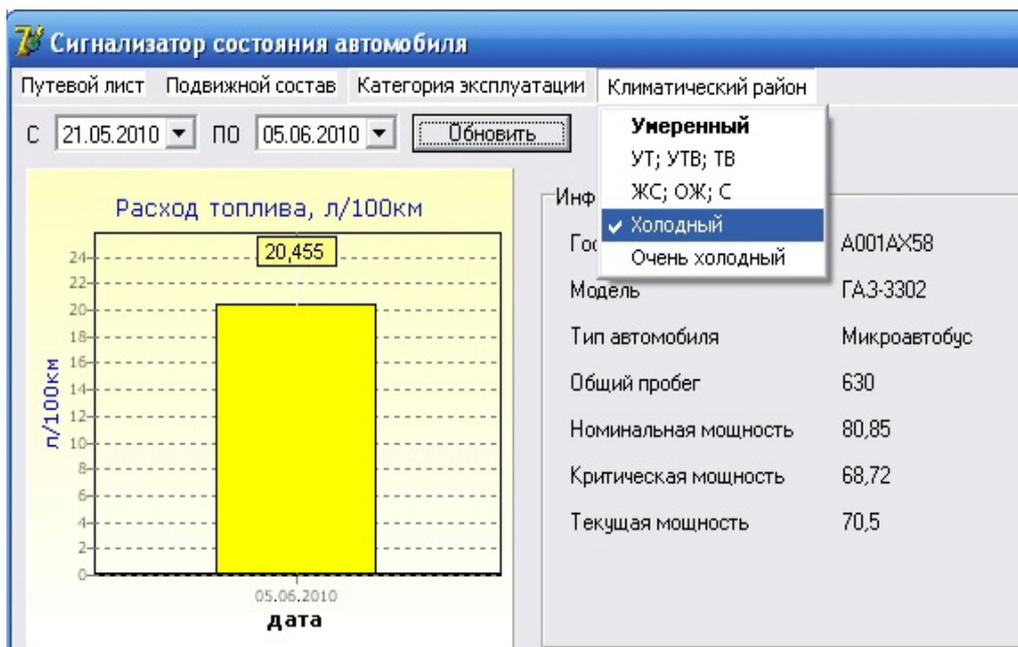


Рис. 1.73. Выбор климатического района

По умолчанию в программе установлены настройки: категория эксплуатации – 1; климатический район – умеренный.

Для обновления графиков и расчета оставшейся наработки до ТО, оператор нажимает клавишу «Обновить», после этого, параметры технического состояния автомобиля выводятся на экран монитора (рис. 1.74) за период в целом и в динамике: по дням, декадам, месяцам.

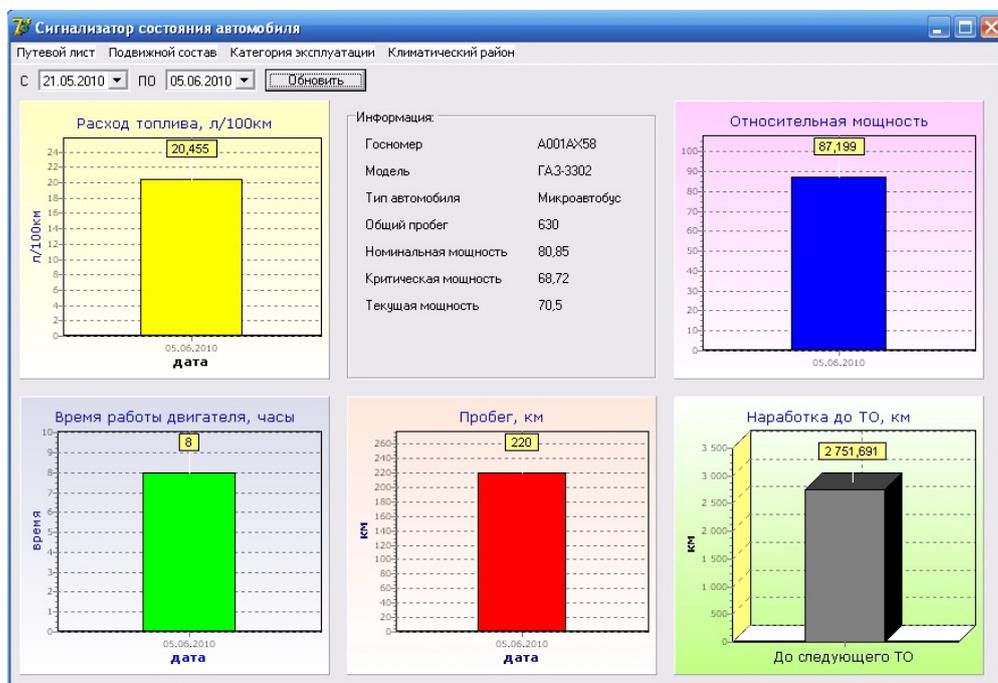


Рис. 1.74. Сигнализатор состояния автомобиля

Сигнализатор состояния автомобиля включает в себя 5 полей диаграмм: «Расход топлива»; «Время работы двигателя»; «Пробег»; «Относительная мощность»; «Наработка до ТО».

На диаграмме «Расход топлива» выводится расход топлива автомобилем на 100 км. Так как с уменьшением относительной мощности автомобиля и износом его агрегатов увеличивается расход топлива, этот параметр поможет нам оценить динамику изменения технического состояния автомобиля. При значительном увеличении среднего расхода топлива, автомобиль направляется на проведение ТО.

На диаграмме «Относительная мощность» выводится относительная мощность диагностируемого автомобиля, которая считается по следующей формуле

$$N_{\text{отн}} = N_{\text{изм}}/N_{\text{ном}} \cdot 100 \%,$$

где $N_{\text{отн}}$ – относительная мощность автомобиля, %;

$N_{\text{изм}}$ – измеренная мощность автомобиля (с датчиков при диагностике);

$N_{\text{ном}}$ – номинальная мощность автомобиля (из базы данных программы).

При уменьшении относительной мощности до 85,0 %, автомобиль направляется на ТО.

По диаграмме «Наработка до ТО», оператор может судить о пробеге автомобиля до следующего ТО, значение указывается в километрах.

В базу программы заложены номинальные и критические мощности для каждой модели автомобиля.

Наработка до ТО определяется программой по формуле

$$t = (N_{\text{изм}} - N_{\text{кр}})/(N_{\text{ном}} - N_{\text{кр}}) \cdot L_{\text{ТО}} \cdot K_1 \cdot K_3,$$

где t – наработка до следующего ТО, км;

$N_{\text{изм}}$ – измеренная мощность автомобиля (с датчиков при диагностике);

$N_{\text{кр}}$ – критическая мощность автомобиля (из базы данных программы);

$N_{\text{ном}}$ – номинальная мощность автомобиля (из базы данных программы);

L – нормативный пробег до ТО;

K_1 – коэффициент, учитывающий категорию эксплуатации автотранспортного средства;

K_2 – коэффициент, учитывающий климатические условия эксплуатации автомобиля.

Таким образом, сигнализатор состояния автомобиля способен с относительно высокой точностью определить наработку до проведения следующего ТО, что значительно снижает затраты АТП на содержание автотранспортного парка, а именно на проверку технического состояния автомобилей.

Применение самодиагностики, динамичной системы ТО и регулируемых систем позволит увеличить уровень эксплуатационной надежности автомобильного парка, снизить материальные и трудовые затраты на проведение технического обслуживания и ремонта автомобилей, уменьшить потребность в технологическом оборудовании и производственно-складских помещениях, снизить вредное воздействие на окружающую среду.

2. ПРИВОД ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Электромобили существенно улучшат состояние окружающей среды. Электромобиль не потребляет топливо и не загрязняет воздух отработавшими газами, работает почти бесшумно, неогнеопасен и легко управляется. Его электродвигатель способен преодолевать кратковременные перегрузки и имеет хорошую тяговую характеристику, поэтому на электромобиле можно применять двигатель меньшей мощности. Кроме того, электромобиль не нуждается в сложной трансмиссии и многих системах, характерных для обычного современного автомобиля. Однако быстрое развитие электромобилей тормозится из-за отсутствия высокоэффективных источников электроэнергии.

Для современного электромобиля, имеющего в качестве источника тока свинцово – кислотные аккумуляторные батареи, главными недостатками являются ограниченный пробег, большая масса, малый срок службы источника тока и высокая стоимость.

Источником энергии электромобиля (рис. 2.1) является аккумуляторная батарея 1. Электрический ток поступает в тяговый электродвигатель 4 через силовую проводку 2 и систему регулирования 3. Крутящий момент от электродвигателя к ведущему мосту 6 подводится карданной передачей 5. Крутящий момент электродвигателя увеличивается при уменьшении частоты вращения вала. Это позволяет электромобилю преодолевать повышенные сопротивления движению и развивать большие ускорения при трогании с места без изменения передаточного числа трансмиссии. Вследствие этого отпадает необходимость в коробке передач, повышается плавность движения электромобиля и облегчается его управление.

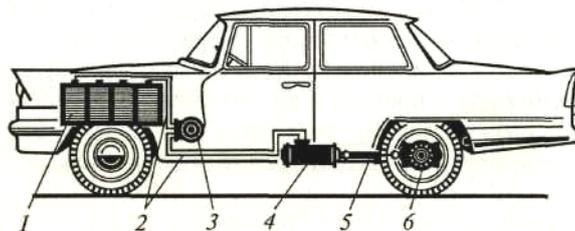


Рис. 2.1. Электроавтомобиль:

- 1 – аккумуляторная батарея; 2 – проводка; 3 – система регулирования;
4 – электродвигатель; 5 – карданная передача; 6 – ведущий мост

Сегодня большинство автомобильных производителей серийно выпускают небольшие количества электромобилей. Гаражи различных городских служб экспериментируют с широкомасштабной эксплуатацией электромобилей. В крупных городах уже имеются пункты зарядки аккумуляторов электромобилей. Тем не менее сегодня эксплуатация электромобилей экономически неоправданна, она производится более в силу политических,

чем экологических соображений. Электромобили стоят значительно дороже аналогичных моделей с двигателями внутреннего сгорания (ДВС).

Несмотря на последние достижения, технология электромобилей все еще недостаточно развита. Серьезный недостаток электромобилей – малый пробег до перезарядки аккумуляторной батареи: 80...160 км – в зависимости от скорости. В гибридных электромобилях этот недостаток преодолевается за счет использования двух источников энергии: электродвигателя с аккумулятором и ДВС. Например, гибрид Toyota Prius (Япония) при небольших нагрузках применяет электрическую тягу, при больших – бензиновый 1,5-литровый двигатель внутреннего сгорания или оба двигателя одновременно, аккумуляторная батарея подзаряжается от ДВС. Загрязнение окружающей среды токсичными отходами от гибридных электромобилей по сравнению с автомобилями значительно уменьшено [31, 32].

Следует отметить, что электромобили появились раньше, чем автомобили с двигателями внутреннего сгорания. Первый электромобиль, приводимый в движение электродвигателем, питаемым от аккумулятора, был создан в 1835 году в США Т. Давенпортом.

Первоначально электромобили были более распространены, чем автомобили с ДВС: электродвигатели проще включались и управлялись, не было необходимости в бензозаправочных станциях, которые в те годы просто не существовали. Быстрое совершенствование ДВС, появление электростартеров сделали электромобили неконкурентоспособными. Однако электромобили еще долго применялись ограниченно местными службами доставки. Например, почта США использовала их в Нью-Йорке многие десятилетия.

Увеличение загрязнения окружающей среды с 1960 года стало критическим фактором, что подтолкнуло автомобилестроителей к разработке электромобилей. Но в это же время активно форсировались работы по значительному уменьшению количества токсичных веществ, поступающих в окружающую среду от автомобилей с ДВС. Основным недостатком электромобилей – относительно короткий пробег до перезарядки, плотность энергии в традиционном топливе для ДВС в 20 раз выше, чем в современных аккумуляторах.

Власти штата Калифорния постановили, что с 1998 года 2 % продаваемых новых автомобилей массой до 1700 кг должны быть экологически чистыми и не загрязнять окружающую среду токсичными веществами (zero emission vehicle – ZEV). Процент продаваемых в Калифорнии автомобилей по проекту ZEV планировалось увеличить до 5 % в 2001 году и до 10 % в 2003 году, на деле эти планы не были выполнены. Однако аналогичные законодательства будут введены и в других штатах северо-востока. На сегодня единственным коммерчески доступным автомобилем ZEV является электромобиль.

Основной аргумент за использование электромобилей – отсутствие выбросов токсичных веществ в окружающую среду. Загрязнение атмосферы в больших городах автомобильными ДВС достигло критического уровня. Переход на электромобили уменьшит загрязнение окружающей среды автомобилями, но увеличится потребление электроэнергии и загрязнение окружающей среды электростанциями. Если рассматривать загрязнение окружающей среды только от автомобилей и электростанций, то произойдет следующее. В атмосферу практически не будут поступать токсичные вещества (канцерогены) СО, озон, летучие органические соединения. Уровень СО₂ будет понижен вдвое, содержание окислов азота NO_x снизится на 20...25 %. Содержание двуокиси серы вырастет. Двуокись серы – продукт сжигания угля на тепловых электростанциях вызывает кислотные дожди. Для уменьшения загрязнения атмосферы при сжигании топлива окислами серы и азота на электростанциях устанавливают специальные фильтры.

Вторым аргументом в пользу применения электромобилей является сокращение потребления нефти. Тепловые электростанции могут потреблять уголь или газ, автомобили с ДВС – только топливо, произведенное из нефти, разведанные запасы которой значительно меньше, чем угля. Например, в США только 4 % электроэнергии вырабатывается электростанциями, потребляющими нефтепродукты.

Третий аргумент: большинство электромобилей будут перезаряжаться в непиковые ночные часы. Это позволит рациональнее использовать имеющуюся систему распределения электроэнергии, что приведет к снижению тарифов. Поставщики электроэнергии тарифной политикой поощряют ночную перезарядку. Правительство США рассматривает вопрос о поощрительной частичной компенсации затрат на электроэнергию при покупке электромобилей.

Серьезным недостатком электромобилей в экологическом отношении является загрязнение окружающей среды свинцом. На большинстве электромобилей установлены свинцово-кислотные аккумуляторные батареи. Производство, эксплуатация, утилизация таких батарей неизбежно увеличивает загрязнение окружающей среды свинцом. Модели электромобилей 1998 года в 60 раз больше загрязняют свинцом окружающую среду за пройденный километр, чем автомобиль с ДВС на этилированном бензине. Аккумуляторы на основе никеля еще более токсичны. Загрязнение окружающей среды свинцом сильно уменьшает экологическую привлекательность электромобилей.

Вопреки бытующему мнению о высокой экономичности аккумуляторных электромобилей, анализ показывает, что химическая энергия топлива, сжигаемого на электростанциях, используется для движения транспортного средства всего на 15 % и менее. Это происходит из-за потерь электро-

энергии в линиях электропередачи, трансформаторах, преобразователях, зарядных устройствах для аккумуляторов и самих аккумуляторах, электромашин, как в тяговом, так и в генераторном режимах, а также в тормозах при невозможности рекуперации энергии. Для сравнения, дизельный двигатель в оптимальном режиме работы преобразует в механическую энергию около 40 % химической энергии топлива. При большом распространении аккумуляторных электромобилей им возможно не будет хватать электроэнергии, вырабатываемой всеми электростанциями мира. Не следует забывать, что суммарная установочная мощность двигателей всех автомобилей намного превышает мощность всех электростанций мира. .1. Общие сведения

Сегодня большинство автомобильных производителей серийно выпускают небольшие количества электромобилей. Гаражи различных городских служб экспериментируют с широкомасштабной эксплуатацией электромобилей. В крупных городах уже имеются пункты зарядки аккумуляторов электромобилей. Тем не менее сегодня эксплуатация электромобилей экономически неоправдана, она производится более в силу политических, чем экологических соображений. Электромобили стоят значительно дороже аналогичных моделей с двигателями внутреннего сгорания (ДВС).

Несмотря на последние достижения, технология электромобилей все еще недостаточно развита. Серьезный недостаток электромобилей – малый пробег до перезарядки аккумуляторной батареи: 80...160 км – в зависимости от скорости. В гибридных электромобилях этот недостаток преодолевается за счет использования двух источников энергии: электродвигателя с аккумулятором и ДВС. Например, гибрид Toyota Prius (Япония) при небольших нагрузках применяет электрическую тягу, при больших – бензиновый 1,5-литровый двигатель внутреннего сгорания или оба двигателя одновременно, аккумуляторная батарея подзаряжается от ДВС. Загрязнение окружающей среды токсичными отходами от гибридных электромобилей по сравнению с автомобилями значительно уменьшено.

Следует отметить, что электромобили появились раньше, чем автомобили с двигателями внутреннего сгорания. Первый электромобиль, приводимый в движение электродвигателем, питаемым от аккумулятора, был создан в 1835 году в США Т. Давенпортом.

Первоначально электромобили были более распространены, чем автомобили с ДВС: электродвигатели проще включались и управлялись, не было необходимости в бензозаправочных станциях, которые в те годы просто не существовали. Быстрое совершенствование ДВС, появление электростартеров сделали электромобили неконкурентоспособными. Однако электромобили еще долго применялись ограниченно местными службами доставки. Например, почта США использовала их в Нью-Йорке многие десятилетия.

Увеличение загрязнения окружающей среды с 1960 года стало критическим фактором, что подтолкнуло автомобилестроителей к разработке электромобилей. Но в это же время активно форсировались работы по значительному уменьшению количества токсичных веществ, поступающих в окружающую среду от автомобилей с ДВС. Основным недостатком электромобилей – относительно короткий пробег до перезарядки, плотность энергии в традиционном топливе для ДВС в 20 раз выше, чем в современных аккумуляторах.

Власти штата Калифорния постановили, что с 1998 года 2 % продаваемых новых автомобилей массой до 1700 кг должны быть экологически чистыми и не загрязнять окружающую среду токсичными веществами (zero emission vehicle – ZEV). Процент продаваемых в Калифорнии автомобилей по проекту ZEV планировалось увеличить до 5 % в 2001 году и до 10 % в 2003 году, на деле эти планы не

были выполнены. Однако аналогичные законодательства будут введены и в других штатах северо-востока. На сегодня единственным коммерчески доступным автомобилем ZEV является электромобиль.

Основной аргумент за использование электромобилей – отсутствие выбросов токсичных веществ в окружающую среду. Загрязнение атмосферы в больших городах автомобильными ДВС достигло критического уровня. Переход на электромобили уменьшит загрязнение окружающей среды автомобилями, но увеличится потребление электроэнергии и загрязнение окружающей среды электростанциями. Если рассматривать загрязнение окружающей среды только от автомобилей и электростанций, то произойдет следующее. В атмосферу практически не будут поступать токсичные вещества (канцерогены) CO, озон, летучие органические соединения. Уровень CO₂ будет понижен вдвое, содержание окислов азота NO_x снизится на 20...25 %. Содержание двуокиси серы вырастет. Двуокись серы – продукт сжигания угля на тепловых электростанциях вызывает кислотные дожди. Для уменьшения загрязнения атмосферы при сжигании топлива окислами серы и азота на электростанциях устанавливают специальные фильтры.

Вторым аргументом в пользу применения электромобилей является сокращение потребления нефти. Тепловые электростанции могут потреблять уголь или газ, автомобили с ДВС – только топливо, произведенное из нефти, разведанные запасы которой значительно меньше, чем угля. Например, в США только 4 % электроэнергии вырабатывается электростанциями, потребляющими нефтепродукты.

Третий аргумент: большинство электромобилей будут перезаряжаться в непиковые ночные часы. Это позволит рациональнее использовать имеющуюся систему распределения электроэнергии, что приведет к снижению тарифов. Поставщики электроэнергии тарифной политикой поощряют ноч-

ную перезарядку. Правительство США рассматривает вопрос о поощрительной частичной компенсации затрат на электроэнергию при покупке электромобилей.

Серьезным недостатком электромобилей в экологическом отношении является загрязнение окружающей среды свинцом. На большинстве электромобилей установлены свинцово-кислотные аккумуляторные батареи. Производство, эксплуатация, утилизация таких батарей неизбежно увеличивает загрязнение окружающей среды свинцом. Модели электромобилей 1998 года в 60 раз больше загрязняют свинцом окружающую среду за пройденный километр, чем автомобиль с ДВС на этилированном бензине. Аккумуляторы на основе никеля еще более токсичны. Загрязнение окружающей среды свинцом сильно уменьшает экологическую привлекательность электромобилей. Вопреки бытующему мнению о высокой экономичности аккумуляторных электромобилей, анализ показывает, что химическая энергия топлива, сжигаемого на электростанциях, используется для движения транспортного средства всего на 15 % и менее. Это происходит из-за потерь электроэнергии в линиях электропередачи, трансформаторах, преобразователях, зарядных устройствах для аккумуляторов и самих аккумуляторах, электромашинах, как в тяговом, так и в генераторном режимах, а также в тормозах при невозможности рекуперации энергии. Для сравнения, дизельный двигатель в оптимальном режиме работы преобразует в механическую энергию около 40 % химической энергии топлива. При большом распространении аккумуляторных электромобилей им возможно не будет хватать электроэнергии, вырабатываемой всеми электростанциями мира. Не следует забывать, что суммарная установочная мощность двигателей всех автомобилей намного превышает мощность всех электростанций мира.

Полагают, что при сегодняшнем уровне техники широкое применение электромобилей уменьшит загрязнение атмосферы в крупных городах, при этом ухудшится экологическая ситуация в местах производства электроэнергии и в среднем на планете.

Основная задача разработчиков электромобилей – создать модель, конкурентоспособную автомобилю с ДВС. В табл. 10.1 приведены характеристики некоторых серийно выпускаемых современных электромобилей.

Большинство электромобилей являются модификациями обычных автомобилей, например, Ford Ranger или VA31111 выпускаются и с ДВС, и как электромобили.

General Motors EV1 с самого начала проектировался как электромобиль. Модель имеет алюминиевый кузов с композитными внешними панелями. Батарея состоит из 26 12-вольтовых свинцово-кислотных аккумуляторов. Напряжение на зажимах батареи 312 В, запасаемая энергия 16,2 кВт·ч, емкость 53 А·ч. На аккумуляторную батарею приходится почти

половина массы электромобиля. Транзисторный инвертор преобразует постоянное напряжение 312 В в трехфазное переменное с управляемой частотой тока, подаваемое на электродвигатель мощностью 137 л.с. с оборотами 7000...13500 в минуту. Двигатель подключен к передним колесам через односкоростную понижающую коробку передач. Аккумуляторная батарея может быть полностью заряжена за 15 часов от внешнего зарядного устройства, подключаемого через трансформатор к бытовой электросети 110 В/10 А (для США). При торможении производится рекуперация энергии, имеется ABS, гидроусилитель руля, компьютерная система управления климатом салона и т. п. электромобилей, как правило, хуже, чем у автомобилей с ДВС.

1. Основным ограничением при эксплуатации электромобилей является их малый радиус действия. Средний автомобиль с ДВС и полным баком горючего проходит 750...1100 км, бак может быть заправлен за 5...10 минут. Современный электромобиль проходит до перезарядки менее 180 км, заряд батареи занимает несколько часов.

Малый радиус действия электромобилей объясняется низкой плотностью запасаемой энергии в аккумуляторе. Для кислотно-свинцового аккумулятора этот показатель составляет 30...35 Вт·час/кг, что значительно меньше, чем для стандартного автомобильного топлива – 12000 Вт·час/кг. На практике радиус действия электромобиля зависит от скорости, манеры вождения, климата (температуры), дорожных условий, состояния аккумуляторной батареи. По статистике среднесуточный пробег автомобиля в городе не превышает 50 км, что соответствует возможностям электромобиля.

2. Скорость и ускорение электромобилей меньше, чем у автомобилей с ДВС.

Для движения по шоссе это очень важно. Гоночные электромобили на короткое время способны развить скорость более 200 км/ч. На серийных электромобилях производители ограничивают скорость до 120 км/ч. В основном электромобили отвечают требованиям для вождения в черте города.

Ускорение при трогании с места у электромобилей такое же, как у автомобилей с ДВС. Ускорение у электромобилей на высоких скоростях (более 40 км/ч) и движении в гору меньше, чем у автомобилей с ДВС. При движении по шоссе из-за этого могут возникать проблемы с безопасностью.

3. Электромобили тяжелее аналогичных автомобилей с ДВС из-за низкой энергоемкости аккумуляторов.

В электромобилях приходится компенсировать большой вес аккумуляторов применением легких сплавов для кузовных и других компонентов. Электромобиль должен иметь низкое трение качения, малое аэродинамическое

сопротивление, эффективные системы отопления/кондиционирования, при этом электромобиль должен отвечать требованиям безопасности при столкновениях и т.д.

4. Как следствие, в электромобиле имеется множество дорогостоящих электронных компонентов и микропроцессорных систем, цена при покупке электромобиля значительно выше, чем у обычного автомобиля с ДВС. Например, электромобиль Toyota RAV4 стоит около \$50 тысяч на японском рынке, тогда как обычный автомобильный вариант – только \$20 тысяч. Фирма Chrysler Corp. еще в 1993 году выпустила мини-вэн стоимостью \$120 тысяч, эксплуатационные характеристики хорошие, но за три года удалось продать только 51 машину. Отечественный ВАЗ ППэ (ЭлектроОка) стоит \$18 тысяч, в то время как обычная Ока – \$3 тысячи.

Но не во всем электромобиль проигрывает автомобилю.

Ожидаемые эксплуатационные расходы у электромобиля должны быть ниже, чем у автомобиля с ДВС. Например, небольшой автомобиль с ДВС объемом 1,2 литра и ручной коробкой переключения передач на легком топливе стоимостью 1 доллар проезжает около 50 км. Электромобиль при тарифе на электроэнергию 12 центов за 1 кВт·час (для США) проезжает за 1 доллар 120 км. Этот оптимистический расчет приведен в Американских СМИ.

Действительно, тарифы на электроэнергию в США до 2001 года были относительно низкими: в среднем для населения 8,4 цента за 1 кВт·ч, для коммерческих организаций – 7,7 цента; для промышленных предприятий – 4,8 цента. В Калифорнии тариф для населения был выше – 12 центов за 1 кВт ч, т.к. местные власти в борьбе за экологию не разрешали строить новые электростанции, предпочитая импортировать электроэнергию из других регионов. Начиная с 2001 года и по настоящее время американские тарифы на электроэнергию увеличились более чем в четыре раза. Эксплуатация электромобилей стала дороже. Но и бензин подорожал в такой же степени. Так что пропорции эксплуатационных затрат не меняются.

Двигатель внутреннего сгорания работает при высоких температурах, вибрациях, в химически активной среде, нуждается в жидкостном охлаждении, имеет много подвижных частей. Как следствие, силовой агрегат электромобиля служит намного дольше, чем двигатель внутреннего сгорания, сам электромобиль также значительно долговечнее, чем автомобиль с ДВС. Аккумуляторная батарея – вот единственный проблемный элемент электромобиля, так как нуждается в интенсивном обслуживании и замене каждые 4–5 лет.

2.1. Узлы, агрегаты и системы электромобиля

Классическая схема электромобиля включает высоковольтную (не ниже 100 вольт) ходовую аккумуляторную батарею ХАКБ, электродвигатель ЭД (либо монотипа, либо колесный – для каждого ведущего колеса отдельно) и устройство управления УУ (контроллер), которое управляет энергией ходовой АКБ при ее подаче к электродвигателю ЭД [30, 31].

Первоначально считалось, что такой электромобиль предельно прост и вся проблема сведется к разработке новых конструкций ходовой АКБ и электродвигателя ЭД. Но в этой трехзвенной модели не менее сложным оказалось создать устройство управления УУ. Кроме того, было совершенно не ясно, от чего и где можно будет подзарядать ХАКБ. Стали также подвергать критическому анализу главное преимущество электромобилей перед автомобилями – экологическое. Сначала как аксиома было принято предположение, что электромобиль абсолютно чистое транспортное средство, наподобие троллейбуса без проводов. Однако ходовые батареи и станции их обслуживания сами по себе могут стать загрязнением окружающей среды. Нетрудно себе представить, что будет с Москвой, когда хотя бы каждый третий из 3 миллионов столичных автомобилей станет электромобилем. В среднем 20 тысяч тонн серноокислотного электролита будут кататься по московским улицам.

К этому надо добавить, что ежедневная подзарядка ХАКБ для одного миллиона электромобилей потребует от Мосэнерго дополнительно электроэнергии еще столько же, сколько оно вырабатывает.

В настоящее время ведется ряд научных разработок в направлении поиска новых химических источников тока (ХИТ). Опробованы на электромобилях и щелочные аккумуляторы, и солнечные батареи, и топливные элементы. Топливные элементы – это одноразовые химические источники тока (ХИТ), которые работают по принципу превращения энергии высокотемпературной химической реакции в электрическую энергию. Обладают малыми габаритами и весом, интенсивной токоотдачей, но непродолжительны в действии. Широко применяются в специальной военной аппаратуре. Для электромобилей могут оказаться перспективными щелочные воздух-алюминиевые топливные элементы, в которых «выгорает» листовый алюминий и в которых можно легко и быстро сменить реагенты. Такой топливный элемент может быть многоразовым. Однако применяемость его в электромобилях ограничена высокой стоимостью катализаторов, входящих в состав воздух-алюминиевых ХИТ, и сложностью реализации многократных остановок химической реакции на непродолжительное время (стояночный режим электромобиля). Однако с использованием перечисленных источников тока достичь для электромобиля уровня технических показателей автомобиля-прототипа пока не удается.

Для большинства современных электромобилей кузов, шасси и многие другие механические узлы и агрегаты позаимствованы от серийных автомобилей с ДВС: пикап Ford Ranger EV, ВАЗ 1111э (ЭлектроОка), Toyota RAV4 EV и прочие. Лишь немногие модели с самого начала проектировались как электромобили, например, GM EV1 или Honda EV-plus. Но те и другие имеют примерно одинаковый состав основных функциональных и вспомогательных компонентов, показанных на блок-схеме электромобиля Устройство защиты (блок реле и предохранителей). Состоит из выключателей, реле, предохранителей, которые включены между аккумуляторной батареей и остальной электрической схемой – потребителями. При возникновении неисправности цепь переменного тока и аккумуляторы отключаются [34].

1. Тяговая аккумуляторная батарея. Обеспечивает энергией двигатель электромобиля.

2. Источниками ядовитого Бортовой компьютер. Контролирует состояние основных функциональных компонентов и бортовых систем электромобиля. При необходимости инициирует средства.

Дополнительный источник электроэнергии (обычно вспомогательная аккумуляторная батарея на 12 В). Обеспечивает работу осветительных приборов, панели приборов, стеклоподъемников, стеклоочистителей и т. д.

3. Система климат-контроля салона. Состоит из кондиционера и электроотопителя.

4. Электронный контроллер электродвигателя. Формирует требуемый вид напряжения питания. Управляет числом оборотов и тяговым моментом на валу по командам водителя или автоматически.

5. Электродвигатель. Приводит в движение колеса электромобиля непосредственно или опосредованно через трансмиссию. Применяются электродвигатели постоянного и переменного тока, а также мотор-колеса.

6. Механическая трансмиссия. Состоит из коробки передач, дифференциала и других механических устройств для обеспечения движения электромобиля.

7. Водительские органы управления электромобилем.

8. Двигатели (колеса) электромобиля.

Батареи электромобилей могут быть заряжены медленно за 8...10 часов ночью, когда городские электрические сети мало загружены, или быстро на специальных зарядных станциях (СЗС) за 15...30 минут током в несколько сотен ампер. Сегодня освоены три технологии заряда аккумуляторных батарей электромобилей:

1. Технология 1-го уровня (стандартный заряд). Аккумулятор заряжается от стандартной бытовой сети (110 В для США) током 6...12 А в течение 15...20 часов. Соединительная розетка должна быть надежно подключена и заземлена.

2. Технология 2-го уровня (быстрый заряд). Аккумулятор заряжается от однофазной бытовой сети током около 30 А за 3...10 часов. Розетки устанавливаются в частных гаражах или на общественных автостоянках. К аналогичной сети подключаются мощные бытовые приборы типа электросушителей или электроплит.

3. Технология 3-го уровня (ускоренный или форсированный заряд). Аккумулятор заряжается от трехфазной сети током 400 А за 15...20 минут. Стандартные зарядные устройства потребляют мощность 160...200 кВт и должны размещаться на специальных зарядных станциях.

Зарядное устройство содержит цепи подключения к сети переменного тока, выпрямитель, регулятор зарядного тока (напряжения), систему управления зарядом (обычно микропроцессорную) для контроля за уровнем заряда, параметрами батареи, отключения при возникновении аварийной ситуации.

Устройство может размещаться на борту электромобиля. В этом случае бортовой компьютер управляет процессом заряда, а сеть переменного тока подключается к электромобилю. Это характерно для устройств 1-го уровня и устройств 2-го уровня с непосредственным подключением.

Стационарное зарядное устройство монтируется в настенном шкафу или на стенде. Регулируемое постоянное напряжение подается непосредственно на аккумуляторы электромобиля. Это характерно для технологии третьего уровня.

В гибридных системах электромобиль может подключаться к сети переменного тока или к стационарным зарядным устройствам.

При непосредственном подключении зарядное устройство подсоединяется к электромобилю собственным кабелем или кабелем электромобиля с мощным токовым разъемом в металлическом защитном корпусе. Металлический разъем примерно такой же, как для наружных бытовых приборов. Основные требования: высокая степень защиты, способность выдерживать неправильное подключение и вандализм. Любая неисправность разъема определяется системой защиты, отключающей в этом случае напряжение.

При подключении с гальванической развязкой используется магнитная связь между обмотками специального высокоточного трансформатора, первичная обмотка которого размещена на зарядной станции (зарядной колонке), а вторичная – на электромобиле. При передаче энергии расстояние между частями трансформатора обеспечивается минимальным для хорошей индуктивной связи обмоток.

В зарядном устройстве напряжение сети переменного тока промышленной частоты 50/60 Гц выпрямляется и фильтруется. Затем постоянное напряжение преобразуется в инверторе в переменное повышенной частоты. Повышение частоты в инверторе до 25...40 кГц позволяет уменьшить массо-

габариты трансформатора и расход меди в обмотках. Регулирование энергии производится в инверторе или выпрямителе.

Переменное напряжение повышенной частоты выпрямляется уже на борту электромобиля и подается на аккумуляторную батарею для заряда.

Подключение с гальванической развязкой может быть использовано для различных режимов заряда. Например, электромобиль Chevrolet S 10 выпускается с бортовым зарядным устройством мощностью 6,6 кВт с индуктивной развязкой и временем заряда 2,5...3 часа от однофазной сети. Для ускорения заряда используется трехфазная сеть, при этом потребляется мощность 150...160 кВт.

Зарядное устройство обычно контролирует степень заряда аккумуляторной батареи и индицирует время до окончания заряда. Пользователь вставляет терминал стационарного зарядного устройства в специальный приемник на борту электромобиля. По окончании заряда терминал автоматически выталкивается из приемника. Система управляется

микропроцессорами с обеих сторон. Служебная связь производится через радиоканал в 915 МГц. Есть конструкции, где электромобиль наезжает на шкаф зарядного устройства таким образом, чтобы первичная (стационарная) обмотка и вторичная (на автомобиле) оказались индуктивно связанными. Основным удобством такой системы является отсутствие гальванической связи электромобиля с электрической сетью, это повышает электробезопасность.

Основным элементом любого бортового зарядного устройства является управляемый выпрямитель, регулирующий напряжение на аккумуляторной батарее при заряде. В простейшем случае это однофазная тиристорная схема с фазным управлением. Трансформатор повышает сетевое напряжение (110 В или 220 В) до требуемого уровня. Как правило, преобразовательная часть зарядного устройства используется также в качестве контроллера для управления тяговым электродвигателем. Кроме тиристоров в качестве коммутирующих элементов используются силовые полевые или биполярные транзисторы.

Зарядные станции обычно хорошо защищены. Микропроцессоры контролируют ток и напряжение заряда. В случае перегрузок по току, замыканий, неисправности заземления и других аварийных ситуаций подача электроэнергии прекращается, пользователь информируется о неисправности.

Общественные зарядные станции являются мощными потребителями электроэнергии. На них для повышения коэффициента мощности применяются специальные корректирующие электронные цепи для компенсации потерь в индуктивных реактивностях преобразовательных каскадов.

Аккумуляторы, электрические цепи и бортовые потребители электромобиля должны быть защищены. Замыкание в электропроводке электромоби-

ля ведет к разряду аккумуляторной батареи. Во время неисправности энергия аккумуляторной батареи преобразуется в тепло, провода под большим током могут расплавиться. Замыкание в цепи постоянного тока может привести к возникновению электрической дуги и, как следствие, – к пожару. Генерация тепла и дуговой разряд опасны для жизни человека. В большинстве электромобилей напряжение тяговой аккумуляторной батареи около 300 В. При таком уровне напряжения возможны электротравмы, от которых водитель и пассажиры должны быть защищены даже в сухую погоду.

В электромобилях металлические части корпуса не используются в качестве проводника (массы), вся электропроводка изолирована от корпуса, колесные покрышки (шины) изолируют корпус от дороги. Нарушение изоляции между электрической цепью и корпусом в одной точке не приводит к появлению значительных токов, способных разрядить аккумуляторы. Пробой во второй точке может стать причиной замыкания аккумуляторной батареи и опасен для пользователя. Вероятный сценарий появления коротких замыканий:

- проводящие отложения из аккумуляторов создают первый контакт с корпусом или иными металлическими частями;
- трение проводов о корпус может повредить их изоляцию и будет создан второй контакт, ведущий к короткому замыканию.

Очень важно обнаружить первое нарушение изоляции. Для этого используют чувствительные системы измерения токов утечки (менее 0,01 мА), аналогичные тем, что устанавливаются в современных ваннах комнатах и душевых.

Второе нарушение изоляции ведет к короткому замыканию, цепь которого должна быть разорвана за несколько миллисекунд для предотвращения разряда аккумулятора. Для этого применяют электромагнитные и электронные быстродействующие контакторы, предохранители. При эксплуатации электромобилей в тяжелых условиях (снег, грязь, длительный подъем) перегружаются и перегреваются аккумуляторы, тяговый электродвигатель, электропроводка. Перегревание сокращает срок службы этих систем. Электроприводные устройства имеют встроенную полупроводниковую систему защиты от перегрузок, но помимо этого для предотвращения выхода из строя дорогостоящего оборудования используются дополнительные защитные устройства в виде предохранителей и автоматов.

Помимо этого для безопасной эксплуатации электромобилей применяются различные аппаратные или программные блокировки. Например, когда терминал зарядного устройства вставлен в приемник электромобиля, заблокировано включение тягового двигателя. Во время заряда заблокировано включение системы управления климатом салона и т.д.

Первоначально электромобили оснащались обычными электродвигателями постоянного или переменного тока. Сегодня на электромобилях используются в основном специальные электродвигатели переменного тока.

К таким электродвигателям предъявляются требования высокой эффективности при постоянстве тяговых характеристик, необходимости в периодическом техобслуживании, способности выдерживать перегрузки и загрязнение.

Используются трехфазные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором. Обороты двигателя регулируются с помощью контроллера изменением частоты питающего напряжения. Такая конструкция практически не требует обслуживания.

КПД электродвигателя зависит от числа оборотов ротора. Например, двигатель мощностью 7 кВт имеет КПД 97 % при 6000 об/мин и 82 % при 1500 об/мин, максимальное число оборотов – 15000 об/мин. Момент на валу изменяется при коммутации обмоток статора с треугольника на звезду и обратно. При соединении обмоток статора в треугольник двигатель развивает большие обороты, что необходимо при движении по шоссе, при соединении в звезду увеличивается момент на валу – это нужно при ускорении или во время движения на подъем. Переключение обмоток звезда – треугольник аналогично переключению скоростей в коробке передач. Современный трехфазный двигатель электромобиля GM EV1 развивает мощность 137 л.с. в диапазоне 7000...13000 об/мин, имеет момент на валу 150 н·м в диапазоне 0...7000 об/мин.

Наряду с трехфазным асинхронным двигателем на современных электромобилях используются электродвигатели постоянного тока с последовательным возбуждением, которые имеют хорошие скоростные и тяговые характеристики. Обороты электродвигателя постоянного тока пропорциональны напряжению питания, что упрощает управление. КПД электродвигателей постоянного тока ниже, чем у двигателей переменного тока, конструкция их сложнее, они нуждаются в регулярном обслуживании, более чувствительны к перегрузкам, максимальные обороты ниже. На электромобилях с двигателями постоянного тока устанавливают многоскоростные механические коробки передач.

В двигателях постоянного тока, используемых на электромобилях, обмотки возбуждения и ротора включены последовательно. При трогании момент на валу такого двигателя большой, но уменьшается с ростом оборотов. Такая характеристика удовлетворительна для езды по городу, но малоприспособна для движения по шоссе. Смена полосы может потребовать движения с ускорением, которого электродвигатель обеспечить не может. Поэтому на некоторых электромобилях используются электродвигатели со смешанным (последовательно-параллельным) включением обмоток возбуждения.

Эффективность двигателей постоянного тока возрастает при замене электрически возбуждаемого статора постоянными магнитами. Дорогостоящие постоянные магниты создают более сильное магнитное поле, чем обмотки статора, двигатели имеют меньшие габариты и массу. Двигатели постоянного тока для электромобилей используются ограниченно и обычно небольшими автосборочными предприятиями.

Такие электродвигатели состоят из ротора на базе постоянных магнитов и трех- или четырехсекционной обмотки на статоре. Электронный коммутатор поочередно возбуждает секции обмотки так, чтобы возникающее магнитное поле постоянно приводило в движение ротор с магнитами. Позиция ротора определяется системой управления с помощью датчика. Преимуществом такого электродвигателя является отсутствие стираемых щеток, искрения в коллекторе, его эффективность и надежность выше, чем у обычных электродвигателей постоянного тока. Недостаток – значительное увеличение стоимости. Бесколлекторные электродвигатели постоянного тока особенно эффективны при езде с высокой постоянной скоростью, поэтому большинство гоночных электромобилей оснащены именно такими двигателями.

Электродвигатели на электромобилях подключены к колесам через механические коробки переключения передач, иногда непосредственно. Размещение бесколлекторного тягового электродвигателя постоянного тока непосредственно в колесе, разработка компании Tokyo Electric Power Company. Такую конструкцию называют мотор-колесом. В обод колеса вмонтировано кольцо из постоянных магнитов на основе кобальта – самария. Обмотки возбуждения статора жестко связаны с осью колеса. Экспериментальный автомобиль имел привод всех четырех колес. Отсутствие механической передачи сделало управление двигателями слишком сложным.

Серийная модель Toyota RAV4-EV приводится в движение бесконтактным электродвигателем постоянного тока с напряжением питания 288 В, мощностью 45 кВт в диапазоне 2600...2800 об/мин. Передние колеса ведущие, используется односкоростная коробка передач.

Схемы управления тяговыми электродвигателями регулируют обороты и момент на валу, ограничивают максимальный ток. Используются электроприводы постоянного и переменного тока. По мере появления новых электронных компонентов меняется технология привода, производители электромобилей экспериментируют с различными схемами, добиваясь максимальной эффективности. Основные требования:

- плавное регулирование числа оборотов во всем диапазоне;
- высокий КПД;
- возможность рекуперации при торможении;
- защита от перегрузок и перегрева;
- высокий момент на старте;
- возможность реверса.

В приводах постоянного тока используются традиционные коллекторные электродвигатели с последовательным возбуждением. Обороты регулируются с помощью импульсных преобразователей постоянного напряжения. В бесколлекторных двигателях постоянного тока необходимость в обслуживании значительно уменьшена, они конкурируют с двигателями переменного тока.

Двигатели переменного тока недороги, практически не нуждаются в обслуживании, лучше, чем двигатели постоянного тока, подходят для массового производства. Для их управления нужны сложные трехфазные инверторы, формирующие напряжение переменной частоты. Последние достижения в области силовой электроники удешевляют электропривод переменного тока.

Для регулирования тока используется широтно-импульсная модуляция. Синусоидальный сигнал на частоте основной гармоники сравнивается с высокочастотным развертывающим сигналом треугольной формы. Каждый ключ во время своего проводящего состояния (в пределах интервала в 180°) открывается несколько раз, когда напряжение развертки превышает напряжение синусоиды. Обмотка двигателя выполняет роль низкочастотного фильтра, и ток в ней становится близким к синусоидальному с регулируемой амплитудой. КПД приводов переменного тока для электромобилей составляет 85...91 %, они хорошо работают при движении электромобиля по городу.

Основным элементом в приводе постоянного или переменного тока является полупроводниковое ключевое устройство. Для электромобилей с двигателями мощностью 40...45 кВт и многоскоростной коробкой переключения передач ключ должен работать при напряжениях до 200 В и токах до 250 А, для односкоростной коробки передач – до 400...600 В и 400...500 А.

Ключевые элементы в электроприводах работают на частотах 10...20 кГц. Повышенная частота коммутации уменьшает шум в звуковом диапазоне, но увеличивает коммутационные потери, излучение электромагнитных помех. Желательно иметь время переключения ключа менее 1 мкс. В качестве ключевых элементов на электромобилях используются различные электронные устройства:

- Тиристоры давно применяются в приводах, выдерживают большие токи и напряжения, имеют относительно низкое напряжение в открытом состоянии. Не отключаются по цепи управления, их отключение на постоянном токе требует наличия сложных дополнительных электрических схем.

- Запираемые тиристоры отключаются по цепи управления, но работают в узком частотном диапазоне 1...5 кГц, напряжение в открытом состоянии больше, чем у обычных тиристоров. Энергия, подаваемая в цепь управления, также больше, что увеличивает потери мощности.

- Биполярные транзисторы работают в широком диапазоне частот, токов и напряжений. Обычно выполняются в виде транзисторных модулей для увеличения коэффициента усиления по току. В приводах современных электромобилей чаще всего используются именно биполярные транзисторы.

- Мощные полевые транзисторы (MOSFET) управляются напряжением, а не током, как биполярные транзисторы или тиристоры, это упрощает цепи управления. Работают в широком диапазоне частот. Недостатки: большое напряжение насыщения и чувствительность к перегреву.

- Биполярные транзисторы с изолированным затвором это биполярные транзисторы с полевыми транзисторами в цепи управления. Управляются напряжением. Напряжение насыщения и цена выше, чем у обычных транзисторных модулей. Сочетание широкого диапазона рабочих частот, токов, напряжений с возможностью управления напряжением делает БТИЗ перспективными для применения на электромобилях. Однако стоимость их пока достаточно высокая.

- Тиристоры с цепями управления на полевых транзисторах (Controlled Thyristor). МСТ-тиристор включается и отключается по цепи управления напряжением. Имеет широкий диапазон частот, токов и напряжений, перспективен для применения на электромобилях.

На электромобилях используются коробки переключения передач (КПП), примерно такие же, как на автомобилях с ДВС. Эффективность привода электромобилей зависит от оборотов. Двигатель переменного тока обычно имеет КПД не менее 80 % в диапазоне 2000...12000 об/мин, двигатель постоянного тока с последовательным возбуждением – 70 % в диапазоне 2000...5000 об/мин. Бесколлекторный двигатель постоянного тока имеет КПД больше 85 % в диапазоне 3000...8000 об/мин.

Большинство конструкций электродвигателей имеют постоянный момент на валу в диапазоне от 0 до 4000...5000 об/мин, при более высоких оборотах момент падает. Это значит, что при скоростях 65... 105 км/ч электромобиль плохо ускоряется, при движении по шоссе это опасно.

Приведенные примеры показывают, что для эффективной работы электродвигатель должен иметь обороты более 2000...3000 в минуту, с другой стороны, колесо электромобиля на скорости 105 км/ч делает только 500 оборотов в минуту. Вот почему, несмотря на электронное управление приводом, большинство электромобилей имеют механические коробки переключения передач с диапазоном передаточных отношений 4:1...8:1.

В электромобилях с КПП используется обычная автомобильная технология, когда ведущие колеса соединяются с валом двигателя через дифференциал и ручную или автоматическую коробку передач. На многих электромобилях, переделанных из обычных автомобилей, вместо ДВС устанавливается электродвигатель, коробка передач не меняется. Тем не менее

многоскоростные коробки передач устанавливаются на конструктивных (не переделанных) электромобилях. Например, электромобиль Fiat Panda Electric с двигателем 9,2 кВт имеет ручную коробку передач с четырьмя передними и одной задней скоростями.

Многоскоростные КПП устанавливаются совместно с электродвигателями постоянного тока с последовательным возбуждением, имеющими удовлетворительный КПД в относительно узком диапазоне оборотов. Коробка переключения передач в этом случае позволяет лучше согласовать характеристики электродвигателя с дорожными условиями.

Односкоростные КПП применяются совместно с электродвигателями, эффективно работающими в широком диапазоне оборотов (например, двигатели переменного тока). В этом случае для согласования характеристик двигателя с дорожными условиями достаточно одной понижающей передачи. На автомобилях, изначально спроектированных как электромобили, применяются именно такие передачи. Например, на модели Ford Ranger EV трехфазный электродвигатель встроен непосредственно в передний ведущий мост.

В электромобилях желательно подключать колеса непосредственно к электродвигателю без механических передач, что упрощает механическую конструкцию. Но такая схема требует сложных алгоритмов управления и ухудшаются ездовые характеристики электромобиля. Характеристики непосредственного привода могут быть улучшены возможностью коммутации обмоток трехфазного двигателя из звезды в треугольник и обратно, а для коллекторного двигателя постоянного тока – переключением обмоток возбуждения, последовательной и независимой.

Имеется большое количество типов аккумуляторов, пригодных для применения в тяговых батареях на электромобилях, хотя ни один из них полностью не отвечает всем требованиям и нет четкого критерия выбора оптимального аккумулятора. Недостаточная емкость, большое время заряда, малая удельная энергия аккумуляторов ограничивают уже много лет усилия конструкторов электромобилей. Свинцово-кислотные аккумуляторы, наиболее дешевые и часто применяемые, лишь незначительно усовершенствованы с момента появления первого электромобиля. Применяются также никель-кадмиевые и никель-металлгидридные аккумуляторы с большей плотностью энергии, но они гораздо дороже свинцовых.

Аккумуляторы электромобилей должны соответствовать следующим требованиям: высокие удельные энергия и мощность, высокий КПД, большое число циклов «заряд-разряд», низкая стоимость, безопасность, надежность, незначительные затраты на техническое обслуживание, малое время заряда, восстанавливаемость материалов. Имеющиеся сегодня аккумуляторы не соответствуют большинству из этих требований. Необходима разработка

аккумулятора, соответствующего если не всем, то наибольшему числу из перечисленных требований.

- Плотность энергии. Измеряется в Вт·час/дм³, показывает, сколько энергии запасается в аккумуляторе на единицу объема. Применение батарей с высокой плотностью энергии экономит место в автомобиле и уменьшает его вес.

- Число циклов «заряд-разряд» (ресурс). Характеризует долговечность аккумулятора. Цикл определяется как один полный 100-процентный заряд и разряд до 80 % емкости.

- Стоимость аккумулятора на один кВт·час запасаемой энергии.

Сегодня на автомобилях чаще всего устанавливаются свинцово-кислотные аккумуляторы. Большие усилия затрачиваются проектировщиками и изготовителями на их усовершенствование. Удельная мощность (35...300 Вт/кг) и энергия (15...45 Вт·ч/кг) свинцовых аккумуляторов относительно невелики.

Никель-кадмиевые аккумуляторы (Ni-Cd) выпускаются широкой номенклатурой, емкостью от 0,08 А·ч до 1000 А·ч. Их достоинства: длительный срок эксплуатации, хорошие характеристики при низких температурах, высокая энергоемкость, прочная конструкция, высокая надежность. Недостатки: высокая стоимость и токсичность кадмия. При заряде Ni-Cd-аккумулятор выделяет водород и кислород, приходится предусматривать вентиляцию секций.

Железоникелевые аккумуляторы (Ni-Fe). Срок их эксплуатации гораздо больше, чем у свинцовых, они хорошо выдерживают механические нагрузки. Удельная энергия (35...60 Вт·ч/кг) и мощность (70...130 Вт/кг) относительно невелики, стоимость высокая. Во время каждого заряда необходимо доливать воду, эти аккумуляторы выпускаются только обслуживаемыми. Выделение водорода при заряде делает проблематичным применение Ni-Fe-аккумуляторов на автомобилях. Конструкция Ni-Fe-аккумуляторов хорошо отработана, они производятся серийно в основном для железнодорожного транспорта.

Никель-металлгидридные аккумуляторы (Ni-MH). Перспективны для применения на автомобилях. Имеют хорошие удельные показатели и срок службы, но на сегодня дороги.

Натриево-серные аккумуляторы (Na-S). В качестве электрода используется расплавленный натрий при температуре 300 °С. Удельные показатели высокие – 80...120 Вт·ч/кг и 90...120 Вт/кг. Достоинством Na-S-технологии является малый саморазряд аккумуляторов (несколько лет). Это важный показатель для автомобилей, от которых требуется обеспечение длительного состояния готовности транспортного средства.

Высокая рабочая температура, химически активные материалы вынуждают применять дорогостоящие защищенные конструкции Na-S-аккумуляторов. Необходимость применения нагревателей и возможность затвердевания натрия во время простоя – важные недостатки Na-S-технологии.

Аккумуляторы на основе лития (литий-ионные, литий-полимерные и т.д.), Перспективны для электромобилей, находятся в стадии обсуждения. Основная тема – отвод тепла при заряде и разряде, а также трудоемкая технология производства.

Литий-ионные сульфидные аккумуляторы работают при температурах $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Литий-полимерные аккумуляторы имеют высокую удельную мощность и стоимость. Напряжение на зажимах аккумулятора сильно зависит от степени разряда. Находятся в стадии разработки.

Жидкостные топливные элементы. Их применение вместо аккумуляторов является перспективным. В топливных элементах химическая энергия топлива образуется в электрическую с помощью электрохимического процесса. Жидкий природный газ преобразуется в водород в топливном процессоре. Водород подается в топливные элементы, где и вырабатывается электричество. Химическая энергия топлива используется в топливных элементах со значительно большим к.п.д., чем в ДВС. Побочными продуктами работы топливных элементов являются небольшие количества CO_2 , CO и окислов азота.

Маховики используются как накопители механической энергии высокой удельной мощностью и низкой удельной энергией.

В системе управления электромобилем можно выделить четыре основные части: систему управления тяговым электродвигателем, pedalные органы управления, ручные органы управления, панель приборов. Во всех подсистемах используются микроконтроллеры. Информация о параметрах, значения которых необходимы для работы систем управления (ток, напряжение, температура, скорость и т.д.) с соответствующих датчиков вводится в микроконтроллеры. Микроконтроллеры реализуют близкий к оптимальному режим управления исполнительными механизмами электромобиля и источниками энергии, принимают меры защиты в аварийных ситуациях, постоянно контролируют состояние аккумуляторной батареи, которое доводится до сведения водителя, равно как и оставшийся пробег до подзаряда.

Кондиционер и отопитель потребляют много электроэнергии. Например, на электромобиле Ford Ecostar с тяговым двигателем мощностью 75 кВт отопитель потребляет 5 кВт, кондиционер 6 кВт, а при езде по ровной дороге по городскому циклу тяговый двигатель Ford Ecostar потребля-

ет всего 8 кВт. Пользование кондиционером или отопителем существенно снижают пробег до подзаряда.

Кондиционеры имеют относительно низкий КПД, их использование существенно уменьшает стандартный пробег электромобиля. Делаются попытки разработать более эффективные системы. В перспективных системах кондиционирования компрессор приводится в действие бесколлекторным двигателем постоянного тока с регулируемым числом оборотов. Компрессор сжимает и нагревает охладитель, охладитель затем испаряется и охлаждается в испарителе, радиатор испарителя охлаждает поступающий в салон воздух. Возможность регулирования оборотов компрессора повышает эффективность кондиционера. Для уменьшения нагрузки на кондиционер необходимы также тонировка остекления кузова в нужном диапазоне оптического спектра, хорошая термоизоляция крыши, охлаждение салона на стоянках маломощным (20 Вт) вентилятором.

На современных электромобилях иногда применяются отопители на жидком топливе. Пробег электромобиля при этом не сокращается, но использование двух видов топлива на одном транспортном средстве нерационально. В качестве источника тепла может быть использована сплит-система. В крайнем случае может быть включен и резистивный нагреватель, но это большой расход электроэнергии.

Эффективность работы тяговых аккумуляторов зависит от температуры. Например, при пониженной температуре емкость аккумуляторной батареи уменьшается. Аккумуляторы электромобилей снабжаются специальными нагревателями для поддержания оптимальной температуры. Например, на электромобиле Chevrolet S10 1997 года выпуска сплит-система поддерживает оптимальную температуру аккумулятора в холодное и жаркое время года. На электромобилях, как и на автомобилях с ДВС, установлено различное электрооборудование с питанием от напряжения 12 В – освещение, стеклоподъемники, аудиотехника, приборы и т.д. Массовое производство этого оборудования хорошо отлажено и нет необходимости его изменять. Для питания низковольтного электрооборудования на электромобилях используются или отдельные 12 В аккумуляторы, подключаемые для заряда через преобразователь постоянного напряжения к высоковольтной тяговой батарее, или электропитание производится от преобразователя постоянного напряжения без буферного 12-вольтового аккумулятора. Широкое использование электромобилей должно сопровождаться созданием соответствующей инфраструктуры. Здесь еще многое предстоит сделать производителям электромобилей, торговым и сервисным организациям, поставщикам электроэнергии, электрооборудования, разработчикам стандартов.

Массовое использование автомобилей с ДВС привело к созданию разветвленной сети дорог, заправочных станций, системы производства и распределения горюче-смазочных материалов, автосервиса и т.д. Многие из созданных могут быть востребованы при эксплуатации электромобилей. Сеть распределения электроэнергии в индустриальных странах достаточно развита, но, вероятно, потребуется увеличение ее мощности. Значительное число зарядных станций (колонок) для электромобилей имеется уже сегодня. Например, в Фениксе и его окрестностях (штат Аризона, США). Как правило, электрозаправки установлены возле торговых центров.

Тяговые аккумуляторные батареи электромобилей могут быть медленно заряжены в гараже владельца в ночное время или быстро на зарядной станции. Метод заряда определяет требования к электрическим сетям.

Тяговые аккумуляторные батареи могут медленно заряжаться в гаражах владельцев от розеток бытовой электросети в непиковое ночное время за 5...10 часов. Такие же розетки с приемниками для монет или кредитных карт при необходимости будут установлены на автостоянках и в общественных гаражах для подзаряда во время парковки. Медленный заряд в ночные непиковые часы только улучшит эффективность использования существующей электрической сети. Дозаряд большого числа электромобилей в дневное время увеличивает нагрузку на электрическую сеть, которую с учетом этого придется усиливать. Естественно, тарифы на электроэнергию в пиковые и непиковые часы будут разными.

Зарядные станции (колодки) для ускоренного заряда имеют мощность 150 кВт, ток заряда 300...400 А. Такие станции являются значительной пиковой нагрузкой для локальной электрической сети. Электросети придется усилить, кроме того, разрабатываются средства для компенсации пиковой нагрузки: аккумуляторы, маховики, устройства на эффекте сверхпроводимости и т.д. Мощные зарядные станции применяются для того, чтобы за 10...30 минут дозарядить батарею, после чего электромобиль должен проходить не менее 110...160 км.

Экспериментальные станции для ускоренного заряда уже размещаются как на шоссе, так и в городах аналогично бензозаправочным.

Зарядные устройства нагружают электросеть высшими гармониками и потребляют реактивную мощность.

Переход от тиристорных выпрямителей к транзисторным высокочастотным преобразователям позволяет увеличить коэффициент мощности и уменьшить коэффициент гармоник.

Токи в работающем электромобиле достигают сотен ампер и порождают электромагнитное излучение внутри и вне транспортного средства. Привод

постоянного тока излучает постоянное и переменное электромагнитное поле. Привод переменного тока – переменное поле. Частота наиболее мощной первой гармоники излучаемого поля определяется оборотами тягового двигателя, остальные гармоники, вплоть до десятой, также значительны.

Наиболее интенсивные поля возникают при ускорении и рекуперационном торможении. В этот момент в моторном отсеке электромобиля индукция поля достигает 120 МГн. В салоне из-за экранирования корпусом поле практически отсутствует.

При заряде в непосредственной близости зарядного кабеля индукция магнитного поля около 50 МГн, на расстоянии 50 см от электромобиля 20...30 МГн.

2.2. Гибридные электромобили

Гибридные электромобили имеют двигатель внутреннего сгорания, тяговый электродвигатель и аккумуляторную батарею. Гибридные электромобили с ДВС иногда называют бензоэлектромобилями. Во время движения по загородному шоссе, когда загрязнение атмосферы не столь критично, работает ДВС, движущий электрообиль и подзаряжающий аккумуляторную батарею. В городе движение производится от тяговой аккумуляторной батареи. В ночные часы тяговые аккумуляторы могут подзаряжаться от электрической сети. Известны параллельные, последовательные и смешанные схемы гибридных силовых установок.

ДВС приводит в действие генератор, который заряжает аккумуляторную батарею и дает энергию тяговому электродвигателю, вращающему колеса. Привод от электродвигателя упрощает коробку переключения передач. Недостаток такой схемы: и ДВС, и тяговый электродвигатель рассчитывают исходя из максимальной мощности, КПД системы низкий.

В параллельной структуре ДВС и тяговый электродвигатель подключены к механической коробке переключения передач. Электрический привод состоит из обратимого электродвигателя, электронного управления и аккумуляторной батареи. На шоссе ДВС движет электрообиль и через мотор-генератор заряжает аккумуляторную батарею. В городе работает электродвигатель. При подъеме и других условиях, когда требуется максимум мощности, оба двигателя работают параллельно, их мощности суммируются. Эта структура обеспечивает меньший вес, невысокую стоимость, больший КПД по сравнению с аккумуляторными электромобилями.

Модель Toyota Prius является первым серийным гибридным электрообилем. С 1997 года их только в Японии было продано более 37000 штук.

Это пятиместный седан стоимостью около 20000 долларов. Электромобиль имеет 1,5-литровый бензиновый двигатель мощностью 53 кВт (70 л.с.) при 4500 об/мин, бесколлекторный электродвигатель постоянного тока мощностью 33 кВт при 1040...5600 об/мин, тяговую батарею из никель-металлгидридных аккумуляторов с номинальным напряжением 274 В.

Система управления гибридной силовой установкой (рис. 2.2 а) обеспечивает движение электромобиля с заданной скоростью в оптимальном режиме. При этом работают или бензиновый двигатель 6 или электродвигатель 3 по отдельности, или их комбинация с различными долями по мощности. Для водителя и пассажиров переключение режимов происходит практически незаметно. А также схема (рис. 2.2, б), где для вращения маховика 5 используется двигатель внутреннего сгорания 6 (около 40 % номинальной мощности).

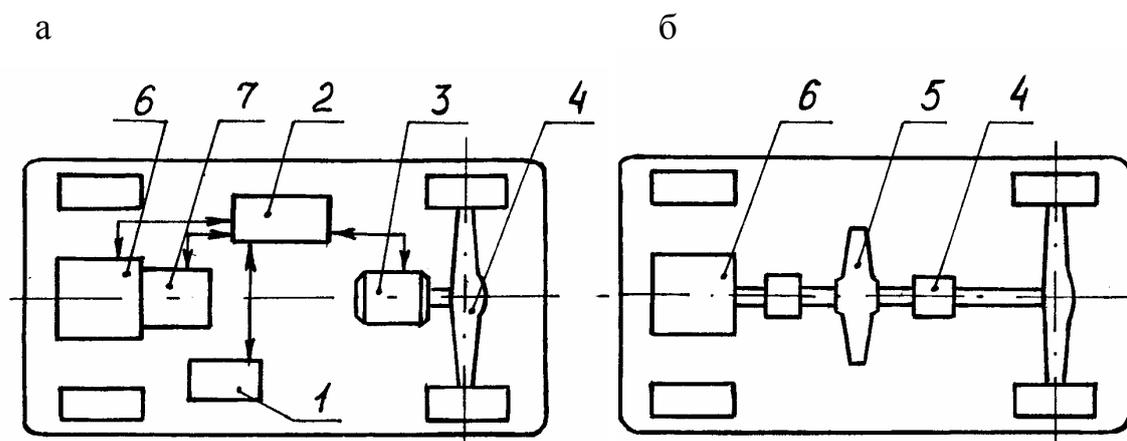


Рис. 2.2. Схемы электро- и гибридных автомобилей:

- 1 – аккумуляторная батарея, 2 – блок управления, 3 – электродвигатель;
4 – трансмиссия, 5 – маховик; 6 – двигатель внутреннего сгорания

Комбинированные схемы электро- и гибридных автомобилей с двигателем внутреннего сгорания оказались более работоспособными, массовый выпуск которых налажен в нашей стране и за рубежом. Применение таких комбинированных схем приводит к снижению загрязнения окружающей среды, но проблема решается лишь частично.

Смешанная структура, реализованная на Toyota Prius, комбинирует достоинства параллельной и последовательной схем. Бензиновый двигатель через коробку переключения передач может приводить в движение колеса и генератор. Напряжение с генератора после преобразования в инверторе поступает для заряда аккумуляторной батареи и/или для работы электродвигателя. Специальная коробка переключения передач суммирует и распределяет энергию между бензиновым двигателем, электродвигателем, генератором.

При торможении энергия рекуперруется, при необходимости резкого торможения используются и обычные гидравлические тормоза. Имеется и антиблокировочная тормозная система.

Бензоэлектромобиль, подобный японскому Toyota Prius, разработан в России. Отечественный завод «Ижмаш» на базе универсального автомобиля ИЖ-21261 создал бензоэлектромобиль с гибридной силовой установкой ДВС + ЭДВ + АКБ (8×12 В) и с параллельным соединением двигателей через специальный редуктор. Небольшими сериями такой ИЖ-БЭ выпускается с 1998 года.

Недостатки: высокая стоимость (11200 у.е.), малый запас электрохода (12...15 км), возможность попадания агрессивной газовой среды в салон, мизерное багажное отделение, вес больше, чем у прототипа, на 120 кг, небольшая мощность энергоустановки (46 л.с.), низкая приемистость.

Преимущества: уменьшенный расход бензина 3 л/100 км (у прототипа 7,2 л/100 км); возможность эксплуатации в экологически чистых, например, курортных зонах.

3. ПРИВОД ГИРОМОБИЛЕЙ

3.1. Инерционные аккумуляторы

Инерционными, или динамическими, аккумуляторами механической энергии называются устройства, аккумулирующие и движущаяся, в частности вращающаяся, масса [4, 6].

Инерционный аккумулятор обязательно содержит тело вращения, обладающее значительным моментом инерции, - маховик и систему для подвода и отведения мощности – трансмиссию. В простейшем случае такой трансмиссией является вал, на котором сидит маховик.

Силовые поля, среда вращения, в которых находится инерционный аккумулятор, сделали необходимыми такие казалось бы традиционные узлы, как подвеска маховика и кожух. Подвеска маховика воспринимает силу его тяжести (ВЕС) при нахождении в гравитационном поле Земли, а кожух частично или полностью защищает быстровращающийся маховик от потерь, связанных с воздействием среды. Кроме того, кожух служит целям безопасности.

Следует отметить, что подвеска и кожух не являются обязательными частями инерционного аккумулятора. В случаях отсутствия силовых полей, действующих на маховик, или компенсации их действия действием других полей, что имеет место, например, в условиях космического полета, потребность в постоянных опорах отпадает. В земных условиях это возможно, например, в случае помещения маховика в магнитное поле – так называемую магнитную подвеску. В условиях отсутствия атмосферы или возможности пренебречь ее влиянием кожух играет сугубо защитную роль и, таким образом, также является второстепенным узлом инерционного аккумулятора.

Инерционный аккумулятор обладает рядом специфических свойств, основные из которых следующие:

В отличие от других аккумуляторов, в инерционном энергия может находиться только в движущемся агрегате. Отсутствие движения в инерционном аккумуляторе указывает на отсутствие запаса в нем энергии.

Инерционный аккумулятор, в силу первого свойства, одновременно является и двигателем. Переход с режима работы аккумулятора на режим двигателя и обратно осуществляется автоматически при замедлении или ускорении вращения маховика. Если направление крутящего момента маховика к исполнительному органу совпадает с направлением вращения, то это соответствует работе в режиме двигателя; вращение маховика замедляется. При несовпадении указанных направлений имеет место работа в режиме аккумулятора; при этом происходит разгон маховика.

Скорость вращения вала инерционного аккумулятора зависит не от нагрузочного момента на этом валу, а только от количества накопленной в нем энергии. Это означает, что инерционные аккумуляторы в отличие от других типов аккумуляторов и двигателей, в обоих режимах работы могут автоматически развивать любую мощность, необходимую на исполнительном органе. Эта мощность лимитируется только возможностями трансмиссии.

В отличие от других типов двигателей, при работе инерционного аккумулятора в обоих режимах не возникает реактивного момента в креплении агрегата к основанию. Это специфическое свойство, имеющее как положительное, так и отрицательное значение, следует обязательно учитывать.

Вследствие того что при работе инерционного аккумулятора возможен гироскопический эффект, этот агрегат играет роль стабилизатора устойчивости машины, на которой он установлен.

Следует отметить, что каждое из названных свойств может быть как полезным, так и вредным. Только рациональный их учет применительно к требуемой характеристике работы машины, на которой предполагается установка инерционного аккумулятора, может обеспечить высокую эффективность последнего.

Возникновение инерционных аккумуляторов-маховиков относится к раннему периоду истории человеческого общества [5]. Первые сведения об использовании аккумулярованной в маховике кинетической энергии относятся примерно к 4500 г. до н.э. На территории современного Ирака, в районе развалин г. Ур (Урский могильник), который был расположен в Месопотамии в низовьях реки Евфрат, археолог Леонардо Вулли обнаружил древний гончарный круг.

Это тяжёлый диск из обожженной глины около 1 м в диаметре с центральным отверстием и маленьким отверстием у периферии, куда вставлялась рукоятка. В древности на подобных кругах, приводимых во вращение рабами или самим мастером, изготавливались гончарные изделия. Наличие небольшого отверстия для рукоятки убеждает в том, что данный гончарный круг не вращали непрерывно; древний мастер периодически дергал за рукоятку, сообщая массивному диску некоторый запас кинетической энергии, во время же обработки изделия круг вращался, медленно расходуя накопленную энергию [6].

Гончарный круг был самым первым из известных нам маховиков и одним из первых механизмов. Затем маховики стали применяться и в других примитивных механизмах, например ветряных мельницах, водокачках и пр. Одно из подобных сооружений, известное под названием «Большое колесо Мандарина» было построено в Китае в низовье реки Хуанхэ еще до нашей эры. Это колесо, согласно описанию древних, имело «четыре человеческих роста над землёй и два под землей», т.е. было свыше 10 м в диа-

метре. Роль маховых масс в нем играли камни, помещенные под парусами. Раскручиваясь во время порывов ветра, колесо Мандарина долго вращалось, приводя в движение ковшовую цепь, качающую воду из колодца. Характерно, что маховики применяются в ветроиспользующих сооружениях и до настоящего времени. Принцип маховика использовался также в старинных смычковых дрелях.

Достаточно широко применялось аккумуляирование кинетической энергии в различных игрушках. Всем известные детские инерционные автомобили, летающие круги и пр. также имеют свою историю. Самыми древними инерционными игрушками были, по-видимому, различные волчки. Волчок как игрушка достаточно широко распространен и сейчас. Он обычно приводится во вращение рукой и затем подстегивается плетью. Волчок демонстрирует одновременно два характерных свойства маховика – способность аккумуляировать кинетическую энергию и сохранять положение оси вращения в пространстве гироскопический эффект.

Более сложной игрушкой была йо-йо: маховик в виде диска с кольцевой прорезью подвешивался на нить, нить наматывалась на валик, образованный прорезью; второй конец нити удерживался в руках, и маховик представлялся свободному падению. Падая, маховик преобразовывал свою потенциальную энергию силы тяжести в кинетическую энергию поступательного и вращательного движения. При достижении нижней точки маховик получал такую угловую скорость, чтобы энергии, накопленной в нем, хватало для дальнейшего его подъема по нити. Эта игрушка была широко распространена в 30-х годах в Америке.

Определенный интерес представляют также еще две древние народные инерционные игрушки, распространенные преимущественно на Кавказе. Одна из них, называемая «поли-судри» крупный грецкий орех, в котором просверлены близко друг от друга два отверстия и через них пропущены нити, связанные по концам. Игрушку держат за эти концы, пропустив пальцы в петли. Для запуска орех, играющий роль маховой массы, закручивается на несколько оборотов; затем нить натягивается и, раскручиваясь, разгоняет орех. Последний накапливает достаточную кинетическую энергию, чтобы закрутить нить в противоположном направлении. Периодическим дерганьем нити орех раскручивается до 5–8 тыс. оборотов в минуту, издавая при этом характерное жужжание. Игрушка очень популярна у детей и в настоящее время.

Другая, менее распространенная игрушка состоит из двух орехов, один из которых насажен, например, на спицу и играет роль маховой массы, а другой – через него спица пропущена насквозь – роль подшипника. Игрушка удерживается в руке за этот второй орех, а первый разгоняется нитью, намотанной на спице. Накопленная кинетическая энергия, позволяет

закрутить нить на спице в обратном направлении. Так же, как и в первой игрушке, периодическим подергиванием за нить орех приводится в быстрое вращение.

Наиболее технически совершенными инерционными игрушками являются известные всем маховичные автомобили и им 'подобные. Маховичок игрушки раскручивается вождем ее по полу на колесах, а затем игрушка самостоятельно движется, расходуя энергию, накопленную в маховике.

И, наконец, следует отметить еще одну интересную инерционную игрушку – летающий пропеллер. Он представляет собой легкий обод, внутри которого помещены лопасти воздушного винта. При раскручивании пропеллер взлетает, и кинетическая энергия, накопленная в нем, расходуется на поддержание его полета в течение нескольких секунд. Построенный на этом принципе в 30-х годах вертолет, так называемый «прыгающий Гиро», совершал достаточно большие прыжки, используя для вертикального взлета кинетическую энергию маховика.

Начало использования инерционного аккумулятора в машинах связано с появлением шатунно-кривошипных и других механизмов, требующих уменьшения неравномерности вращения вала. Представляет интерес конструкция водоподъемника с ручным приводом, снабженного зубчатой передачей и маховиком, выполненного преимущественно из металла. Этот механизм XV в. был одним из первых содержавших маховик и трансмиссии. Механизм описан средневековым ученым Г. Агрикола в его книге «De re metallica», изданной в Базеле в 1556 г. [6].

Маховик применялся и в приводе поршневого насоса, приводимого в движение опять-таки мускульной силой человека. Сравнительно большой маховик можно наблюдать в вододействующей пильной установке XVI в. Этот маховик устанавливался на коленчатом валу и служил для выравнивания хода машин.

Маховик стал неизменной частью паровых машин, где служил также для выравнивания хода. Для этой же цели маховиком снабжены и все двигатели внутреннего сгорания, различные дробильные и металлообрабатывающие установки, например прокатные станы, прессы, ножницы и др. Маховики, применяемые для выравнивания хода машин, обычно накапливают небольшие количества энергии.

Как самостоятельная энергетическая установка инерционный аккумулятор был впервые применен нашим соотечественником- инженером В.И. Шуберским в 1860 г. для приведения в движение колесного экипажа, названного им «маховозом».

В 1883 г. английский адмирал Хауэлл разрабатывает торпеду, движимую энергией маховика, предварительно раскручиваемого паровой машиной до 10–12 тыс. об/мин. Энергия, накопленная в маховике (около

400 тыс. Нм), позволяла проходить путь длиной до 0,5 км. Скорость торпеды при этом была около 30 км/ч.

В 1905 г. англичанин Ланчестер получает патент на устройство с маховиком, раскручиваемым паровой машиной или электродвигателем, с целью применения в транспорте. В Англии же были впервые применены двигатели-генераторы с маховиками для приведения в движение электровозов на участках пути, не обеспеченных электроэнергией [5].

В 20-х годах нашего века инерционный аккумулятор был применен советским изобретателем А.Г. Уфимцевым и проф. В.П. Ветчинкиным для целей ветроиспользования.

В 1945 г. швейцарской машиностроительной фирмой Ирликон проведены детальные исследования возможности использования кинетической энергии, аккумулированной в маховике, для средств транспорта. Фирмой было разработано несколько опытных экипажей, питающихся энергией вращающегося маховика и получивших название гиробусов. Гиробусы исследовались в экспериментальных и эксплуатационных условиях, что позволило найти оптимальные решения. Были исследованы вопросы определения параметров маховика, снижения потерь при его вращении, создания надежной и экономичной трансмиссии. В результате был создан основной силовой агрегат машины, получивший название «Электроги́ро». Он представлял собой инерционный аккумулятор с электрической трансмиссией. К 1957 г. гиробусы эксплуатировались в различных городах Швейцарии, Бельгии, Конго (Киншаса), где выявили высокую экономичность.

Наряду с инерционными аккумуляторами с электрической трансмиссией разрабатываются инерционные аккумуляторы с механической, гидромеханической и другими типами трансмиссий. В настоящее время Дружковским машиностроительным заводом выпускаются отечественные взрывобезопасные локомотивы-гировозы, содержащие в качестве основного источника энергии инерционный аккумулятор с механической трансмиссией.

Необходимо отметить также исследования, направленные на создание рекуперативных тормозов с использованием инерционных аккумуляторов. Такие тормоза играют роль накопителей энергии торможения транспортного средства при замедлении его движения и вспомогательного двигателя при разгоне. Подобные системы могут значительно повысить экономичность транспорта, особенно городского, что подтверждается экспериментами [10, 12]. Однако оптимальная трансмиссия рекуперативного тормоза, разработка которой представляет наибольшую трудность, пока еще находится в стадии исследований.

Как известно, для инерционных аккумуляторов характерно свойство сохранять ось вращения маховика в заданном направлении, что обусловлено гироскопическим эффектом. Это позволяет использовать инерционные

аккумуляторы для стабилизации устойчивости двухколесных экипажей. Благодаря этому свойству в последнее время начинают появляться двухколесные автомобили (например, Джирон фирмы Форд), содержащие маховик, который вращается в горизонтальной плоскости и служит для стабилизации их устойчивости.

Исходя из многоплановости применения инерционных аккумуляторов и большого разнообразия их конструкций, целесообразно дать их классификацию. Остановимся на вопросе применения инерционных аккумуляторов.

Инерционными аккумуляторами малой удельной энергоемкости могут считаться такие, в которых удельный (по отношению к массе маховика) запас накопленной энергии настолько мал, что он не накладывает существенного отпечатка на конструкцию и требования к материалу маховика. Маховики таких аккумуляторов низкоскоростные, они выполняются обычно в виде обода со спицами или диском. Материалом чаще всего служит чугун. Аэродинамические потери таких маховиков весьма малы. Маховики работают обычно без кожуха, в случае же его наличия он выполняет лишь защитную роль. Окружная скорость этих маховиков, как правило, не превышает 50 м/с. Применяются такие аккумуляторы преимущественно для создания равномерного хода машин и кратковременного повышения мощности устройств.

Создание равномерности хода машины требуется при импульсной, неравномерной работе двигателя или трансмиссии. Такой характер работы обычен для поршневых двигателей, а также импульсивных вариаторов, кривошипных и некоторых других механизмов. Поршневой двигатель сам создает неравномерную нагрузку в трансмиссии, в остальных же механизмах характеристика трансмиссии накладывает свой отпечаток на их работу. Маховики, применяемые в подобных случаях, накапливают некоторый запас кинетической энергии при избыточной мощности на его валу и в дальнейшем отдают эту энергию при падении мощности, поддерживая, таким образом, более или менее равномерное движение машины. Так как скорость вращения маховика зависит от запаса кинетической энергии в нем, то ясно, что при колебаниях величины энергии изменяется и скорость вращения, правда, в меньшей степени. Следовательно, наличие маховика в трансмиссии не может обеспечить абсолютную равномерность хода машины, а лишь поддерживает ее в необходимых пределах. Степень равномерности движения зависит от энергоемкости маховика, т.е. от момента инерции маховика и средней скорости его вращения.

Роль маховика при временном повышении мощности установки существенно не отличается от его роли в рассмотренном случае. Разницу создают в основном три момента:

- При временном повышении мощности установок мощность основного двигателя примерно постоянна, нагрузка же на рабочий орган установки

от внешних источников изменяется. Это ведет к падению скорости вращения трансмиссии, а, следовательно, и маховика, что, в свою очередь, вызывает выделение кинетической энергии. Таким образом, общая мощность установки повышается. Впоследствии, при снижении нагрузки на рабочий орган, скорость основного двигателя повышается, и маховик накапливает энергию.

- Неравномерность хода машины, вызванная особенностями двигателя или трансмиссии, обычно детерминирована и определяется спецификой привода. Снижение и повышение скорости вращения маховика в этих случаях происходит строго определенное число раз за время одного оборота вала двигателя – как правило, не менее одного раза. При временном же повышении мощности установки нагрузки на рабочий орган носят чаще всего неопределенный, случайный характер. При этом периоды ускорения и замедления движения маховика имеют всякий раз новую продолжительность, а нередко длятся значительно дольше одного оборота основного двигателя.

- Временное повышение мощности установки вовсе не означает снижения неравномерности ее хода, хотя иногда функции маховика и бывают совмещены. Временное повышение мощности нередко сопровождается значительной неравномерностью хода или даже полной остановкой маховика.

Сказанное необходимо проиллюстрировать. Поршневые двигатели, например, сообщают маховику строго определенное число ускорений за один оборот; такое же число раз повышается и падает мощность двигателя. Нормальная эксплуатация двигателя не допускает полной его остановки. Аналогичными свойствами обладают трансмиссии, создающие неравномерность хода (кривошипные, кулисные и другие специальные механизмы).

Число же временных повышений мощности установки может совершенно не зависеть от количества оборотов двигателя. Например, в прокатных станах оно определяется подачей, металла в валки; в дробильных установках – наличием материала; в строительных машинах зависит от желания оператора и т. д. Нагрузка на рабочий орган и, следовательно, характер и продолжительность ускорений и замедлений маховика в данном случае имеет совершенно неопределенный характер. При этом если в некоторых машинах равномерность хода более или менее соблюдается (дробильные установки), то в других маховик нередко доводится до полной остановки (например, винтовые прессы).

Совмещение в маховике двух названных выше функций характерно для большинства случаев его применения, однако преобладание той или другой функции делает возможным некоторое разграничение маховиков.

Инерционными аккумуляторами высокой удельной энергоемкости могут считаться такие, в которых высокие скорости вращения маховиков, необходимые для накопления значительной энергии, накладывают существенный отпечаток на конструкцию инерционного аккумулятора, материал и форму маховика. Маховики высокоэнергоемких аккумуляторов имеют чаще всего форму дисков без отверстий, ободов с дисками, а также специальную (см. ниже); изготавливаются маховики из высококачественных легированных сталей, проволок, лент, а в последнее время и из стеклопластиков. Окружные скорости таких маховиков могут достигать 1000 м/с и более. Высокие скорости вращения вызывают большие аэродинамические потери, вследствие чего маховики помещаются в специальные кожухи, которые способствуют снижению этих потерь.

Высокоэнергоемкие инерционные аккумуляторы используются как для кратковременной, так и для сравнительно длительной работы. Для кратковременной работы с продолжительностью цикла примерно до 1 мин применяются обычно малогабаритные (массой до 200–300 кг) маховики, для длительной же, продолжительностью до десятков минут, – крупногабаритные, чаще всего массой около 1–1,5 т, а в некоторых случаях и больше.

Высокоэнергоемкие инерционные аккумуляторы кратковременного действия, так же как и низкоэнергоемкие, могут использоваться для временного повышения мощности установки. При этом основная их разница заключается в величине удельной энергии, расходуемой в течение цикла. Четкого разграничения устройств, использующих энергию низко- или высокоэнергоемких аккумуляторов, наметить невозможно могут использоваться как одни, так и другие. Например, пусковое устройство может содержать как крупногабаритный маховик малой удельной энергоемкости, так и малогабаритный высокой удельной энергоемкости.

Другое назначение инерционных аккумуляторов кратковременного действия – рекуперирование кинетической энергии. Для этой цели применяются обычно маховики, обладающие средней и высокой удельной энергоемкостью. Режим работы инерционных аккумуляторов, рекуперирующих кинетическую энергию, существенно зависит от типа привода, а также от связи привода с основным двигателем. Рекуператор, не связанный с основным двигателем, накапливает только энергию торможения, и маховик его малогабаритен. Рекуператор, связанный с основным двигателем, может содержать как малогабаритный маховик (при связи с двигателем внутреннего сгорания или иным, не инерционным), так и крупногабаритный (при совмещении функций основного двигателя инерционного типа и рекуператора). Продолжительность работы, например, автобусного рекуператора около 10 с [6].

Высокоэнергоемкие инерционные аккумуляторы длительного действия применяются в качестве как основных, так и вспомогательных источников энергии на машинах. Гировозы, гиробусы, тележки, тельферы и другие гироскопические транспортные средства содержат инерционный аккумулятор как основной источник энергии. Маховик таких аккумуляторов разгоняется путем подключения к тому или иному источнику энергии, и затем, после отсоединения от него, накопленная энергия расходуется при работе машины.

Как вспомогательные источники энергии инерционные аккумуляторы длительного действия применяются в случаях продолжительных перерывов в работе основного двигателя! или недостаточной его мощности. Ветро двигатели, например, содержат инерционный аккумулятор, питающий электрогенератор при отсутствии ветра. При наличии ветра инерционный аккумулятор заряжается.

Следует отметить, что маховики бывают постоянного и переменного момента инерции. Увеличением момента инерции маховика вследствие его упругих деформаций при вращении мы пренебрегаем, и маховик, в котором особо не предусмотрено устройство для изменения момента инерции, считаем обладающим постоянным значением последнего.

Существует большое разнообразие предложений и проектов создания маховика переменного момента инерции. Большинство из них основано на раздвижении грузов, играющих роль маховых масс, при помощи винтовых пар или иным образом, а также на наполнении пустотелых барабанов различным количеством жидкости или сыпучего материала. Нужно признать, что, несмотря на это разнообразие и несомненную нужность маховиков переменного момента инерции, работоспособной конструкции таких маховиков еще не создано. Все существующие конструкции весьма малоэнергоемки и обладают низким к. п. д. Основной ошибкой изобретателей и конструкторов таких маховиков является излишнее увлечение кинематикой устройства для изменения момента инерции маховика, в результате чего они забывают, что основным фактором повышения энергоемкости маховиков является его прочность. Чем более равномерно «загружен» материал маховика напряжениями (разумеется, при каком-то конкретном значении допустимого напряжения), тем рациональнее маховик [5]. В предлагаемых же проектах основная масса маховиков практически не напряжена, почти вся нагрузка приходится на небольшую и наиболее сложную их часть – механизм управления. Это и обуславливает малую эффективность таких маховиков, из-за чего они и не нашли себе применения.

Одна из конструкций подобных маховиков представлена на рис 3.1. Этот маховик был предложен известным французским писателем и летчиком Сент-Экзюпери. Принцип действия маховика заключается в следую-

щем: при отсутствии давления воды поршни, стягиваемые пружинами, находятся у центра. При подаче воды в центральную часть маховика поршни раздвигаются, увеличивая общий момент инерции. При выпуске воды они возвращаются в исходное положение.

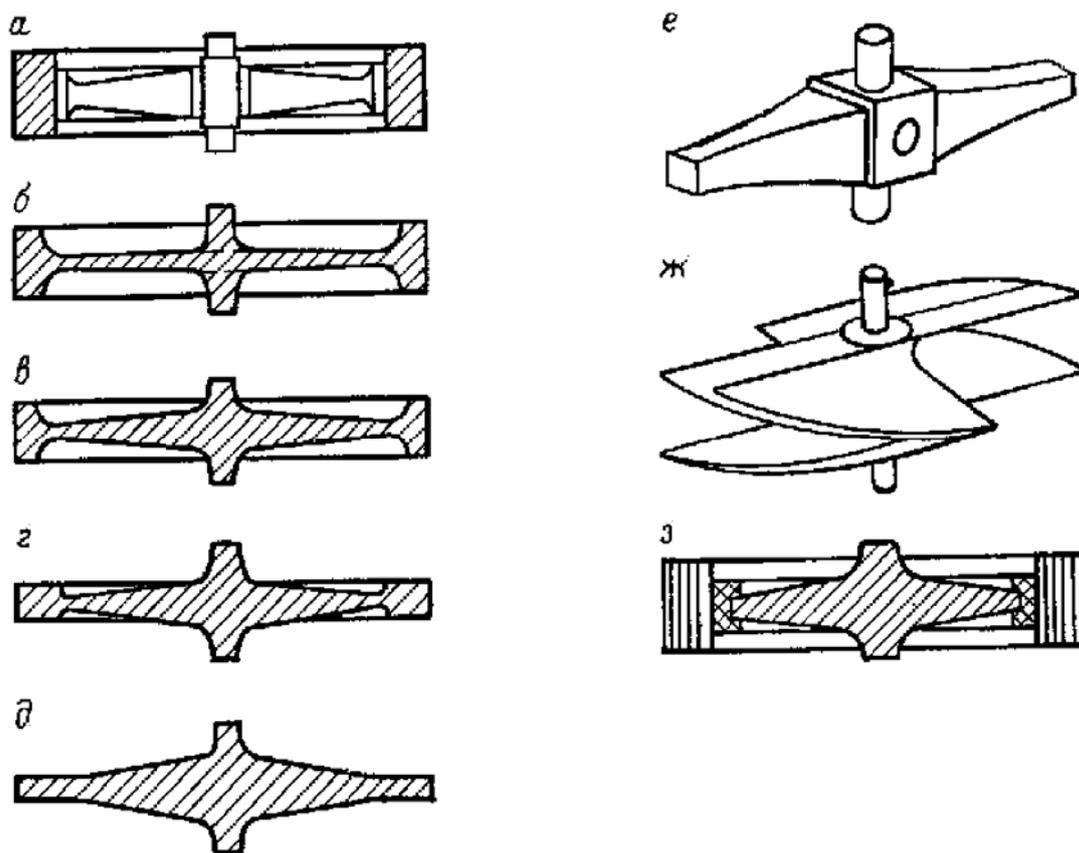


Рис. 3.1. Эволюция маховиков по форме и конструкции:
 а – обод со спицами; б – обод с диском, в – диск разной прочности с ободом (низкоскоростной); г – диск равной прочности с ободом (высокоскоростной);
 д – чистый диск равной прочности; е – супермаховик стержневого типа;
 ж – супермаховик клинового типа; з – супермаховик ободкового типа

Несмотря на то, что кинематически этот маховик вполне работоспособен, анализ динамики показывает полную его непригодность для выполнения поставленной цели. Следует еще раз отметить актуальность задачи создания работоспособных маховиков переменного момента инерции, поскольку изменение момента инерции дает возможность варьирования скорости вращения маховика, а это является очень ценным свойством любого привода.

Маховики с постоянным моментом инерции могут эксплуатироваться и при высоких, и при низких окружных скоростях. Так как окружная скорость является основным фактором, вызывающим напряженное состояние материала маховика, она накладывает существенный отпечаток на его конструкцию. В зависимости от этого маховики могут делиться на низкоскоростные (соответствующие их малой удельной энергоемкости) и высокоскоростные (соответствующие их высокой удельной энергоемкости).

Низкоскоростные маховики выполняются в виде ободов, поскольку в том случае, если напряжение не лимитирует окружную скорость маховика, целесообразно максимальное удаление массы от оси вращения. Обод может креститься к ступице спицами и диском. Обод с диском обеспечивает несколько большую прочность, чем обод со спицами, и поэтому применяется при больших скоростях.

Низкоскоростные маховики одновременно с функцией аккумуляторов механической энергии способны выполнять роль элемента привода. Например, маховик может служить шкивом ременной передачи, зубчатым колесом, полумуфтой и т.д. В этих случаях возможна специальная форма маховика, необходимость которой диктуется условиями работы. Однако и тогда основную массу материала стараются максимально удалить от центра.

Как уже было упомянуто, низкоскоростные маховики выполняются в основном из чугуна или стального литья, однако и тогда часто имеет место недонапряжение материала, в результате чего недоиспользуются прочностные свойства металла. В этих случаях маховики изготавливаются составными, например, с неметаллической основной маховой массой. Это значительно удешевляет конструкцию. Необходимо отметить еще одну интересную конструкцию маховика – составного с относительным вращением, или планетарного. Маховики-сателлиты вращаются одновременно вокруг своей оси O и вокруг оси солнечного колеса, в результате чего периферийные точки приобретают сравнительно высокую скорость, а следовательно, и кинетическую энергию. Конструкция эта распространения не получила из-за сложности и невозможности использования при высоких скоростях, вызывающих большие нагрузки от центробежных сил на подшипники сателлитов и водила.

Эксплуатация маховиков при высоких окружных скоростях предъявляет повышенные требования к их прочности. Материалом высокоскоростных маховиков служит обычно сталь, легированная хромом, никелем, молибденом. Заготовки изготавливают путемковки с соблюдением требований к структуре металла. Поковки подвергают специальной термообработке и дефектоскопии. Форма маховика, также играющая немаловажную роль в распределении напряжений, существенно отличается от формы низкоско-

ростных маховиков. Эволюция форм маховиков при возрастании окружной скорости.

И, наконец, следует сказать об одной из наиболее перспективных конструкций маховиков – с высокопрочной маховой массой. Как будет показано ниже, совершенствование формы маховика приносит ограниченный выигрыш в удельной энергоемкости. Резервы дальнейшего повышения удельной энергоемкости маховиков нужно искать в их прочности. Однако прочность даже наиболее совершенных монолитных материалов невысока по сравнению с холоднотянутыми волочеными проволоками и нитями из металла (стали), стекла, кварца и некоторых других веществ. Прочность их достигает $5000\text{--}6000\text{ Н/мм}^2$ и выше, что почти в десять раз превосходит прочность монолитных материалов [6]. В этой связи представляет интерес конструкция маховика с основной маховой массой из высокопрочной проволоки.

Одна из таких конструкций, на обод навита стальная проволока, выполняющая роль основной маховой массы. Маховик предназначен для эксплуатации при высоких скоростях. Принципиально такая конструкция обеспечивает энергоемкость, почти в десять раз превышающую энергоемкость монолитных маховиков.

Оригинальны по замыслу, маховики так называемого «стержневого» типа, разрабатываемые в настоящее время фирмой Локхид и университетом им. Дж. Гопкинса в США [1]. Изготовленные преимущественно из стеклопластиков, эти маховики имеют форму стержня равной прочности при вращении, что позволяет рационально использовать материал. Окружная скорость маховиков стержневого типа из стеклопластиков высокой прочности может достигать 1 км/с .

Путем дальнейшего совершенствования маховиков стержневого типа был получен маховик клинового типа (университет им. Дж. Гопкинса, автор Д.В. Рабенхорст). Этот маховик склеен из стеклопластиковых стержней и представляет собой тело особой формы, заостренное в направлении вращения, что позволяет как уменьшить потери при вращении, так и добиться большей его компактности.

Маховики, изготовленные из составного высокопрочного материала, как, например, стеклопластик, металлические ленты и проволоки, позволяющие накопление значительно больших энергий, чем монолитные, получили название (по терминологии Д.В. Рабенхорста) супермаховики».

Окружная скорость вращения, оказывающая существенное влияние на конструкцию маховика, непосредственно влияет на устройство кожуха маховика, средю вращения и степень ее разреженности и другие факторы, характеризующие так называемую «камеру вращения» маховика. Низкоско-

ростные маховики вращаются чаще всего в открытой атмосфере. Иногда, в соответствии с требованиями техники безопасности, вокруг маховика устраивается ограждение или защитный кожух. С увеличением скорости растут аэродинамические потери, возникающие в результате соприкосновения быстро движущейся поверхности маховика с воздухом. Для уменьшения вентиляционных потерь маховики помещаются в закрытый кожух, поверхность которого отстоит на небольшое расстояние от поверхности маховика. Как известно, чем меньше зазор между маховиком и кожухом (в известных пределах), тем ближе к ламинарному движению воздуха в зазоре. Ясно, что делать этот зазор чрезвычайно малым нельзя, во избежание задевания маховиком за кожух из-за погрешностей в монтаже, возможных упругих деформации и др. Кожух обычно, «следит» за поверхностью маховика; достаточно близко приближаясь к ней. Величина зазора достигает примерно 1 % величины диаметра маховика. Для дальнейшего уменьшения вентиляционных потерь иногда в кожухе делается ряд отверстий по окружности вблизи периферии. Такая конструкция кожуха целесообразна, видимо, в условиях достаточно незагрязненной атмосферы, где исключена возможность попадания в отверстие посторонних частиц.

Известно, что с возрастанием окружной (скорости маховика вентиляционные потери растут прогрессивно. В связи с этим целесообразно разделение относительной скорости между маховиком и стенкой кожуха на несколько ступеней при помощи вспомогательных свободно вращающихся кожухов (обычно одного). Такой кожух изготавливается достаточно легким и помещается в зазор между основным кожухом и маховиком. Свое вращение промежуточный кожух получает от момента аэродинамических сил при движении маховика. Скорость вращения его устанавливается такой, что момент аэродинамических сопротивлений между промежуточным и основным кожухом равен по величине соответствующему моменту между маховиком и промежуточным кожухом. Иногда основной кожух заменяется оградительной сеткой, вращающиеся с весьма высокой окружной скоростью (свыше 150 м/с), помещаются в камеру вращения со специальной средой, обеспечивающей пониженные вентиляционные потери. По данным В.П. Ветчинкина, при нормальном атмосферном давлении водород почти в 4 раза снижает вентиляционные потери по сравнению с воздушной средой. Однако в газонаполненных камерах чаще всего создают пониженное давление, поскольку в этом случае герметизация камеры так же необходима, как и при нормальном давлении. Камера вращения маховика инерционного аккумулятора Электрогиро швейцарской фирмы Эрликон содержит водород при давлении 0,7 атм. Полная откачка газа из камеры привела бы к перегреву электродвигателя.

Чрезвычайно высокие окружные скорости вращения маховика требуют помещения его в вакуум. Наибольшую трудность в этом случае представляет вывод крутящего момента из вакуума. Несмотря на то, что для этой цели имеется целый ряд специальных муфт, они не применяются в инерционных аккумуляторах вследствие малой надежности и низкого к.п.д. при высоких угловых скоростях и крутящих моментах.

В инерционном аккумуляторе автобусного рекуперативного тормоза Гиректа применяется иной способ поддержания вакуума в камере вращения. Здесь вал уплотнен обычным негерметическим устройством, а воздух постоянно откачивается небольшим насосом. Разумеется, достичь таким образом достаточно высокой степени разреженности невозможно, однако эта мера в значительной степени снижает вентиляционные потери. Маховик, представленный свободному вращению вечером, сохраняет после ночной стоянки автомобиля количество энергии, необходимое для того, чтобы запустить двигатель и привести автобус в движение.

Как уже было отмечено, инерционный аккумулятор обязательно включает в себя систему для подвода и отвода мощности – трансмиссию. В зависимости от требований, предъявляемых к характеристике вращения на рабочем органе, инерционный аккумулятор содержит трансмиссию, необходимую для этой цели наиболее простым типом трансмиссии является, как известно, жесткая механическая. Это может быть зубчатая коробка передач (или, в частном случае, просто редуктор), а также кривошипная, эксцентриковая, винтовая и другие типы передач. Такие трансмиссии применяются чаще всего в случаях, когда необходимо использовать ценное свойство инерционного аккумулятора – способность развивать значительные крутящие моменты и мощности. Инерционными аккумуляторами с механической трансмиссией снабжены различного рода механические прессы, штамповальные машины, дробильные установки и др., а также машины, имеющие элемент проскальзывания, например фрикционную муфту. В инерционных аккумуляторах с жесткой механической трансмиссией необходимо предохранительное звено, так как здесь величина крутящего момента может достигать весьма больших значений, опасных для механизма. Иногда роль предохранительного звена играет сама обрабатываемая заготовка.

В тех случаях, когда по характеру работы исполнительного органа требуется бесступенчатая регулировка его скорости, применяются бесступенчатые приводы – механический, гидравлический, электрический, пневматический и др. Все эти типы приводов описаны в соответствующей литературе, однако инерционным аккумуляторам свойственна некоторая специфика, ограничивающая применение одних и способствующая применению других приводов.

Механические бесступенчатые приводы – вариаторы – фрикционные, импульсивные и др. – применяются редко. Наиболее распространены фрикционные лобовые вариаторы, применяющиеся, например, в винтовых фрикционных прессах. Их преимущество – простота и достаточная надежность. Недостатки – большие габариты, низкий к.п.д.

Гидропривод используется на инерционных шахтных и некоторых других средствах транспорта. Применяются как гидростатические, так и гидродинамические типы приводов. Дополнительное преимущество гидропривода для инерционного аккумулятора – его взрывобезопасность. Это свойство инерционного аккумулятора с гидроприводом делает его весьма ценным источником энергии для установок, эксплуатирующихся во взрывоопасной атмосфере (в рудниках).

Электропривод – наиболее распространенный тип привода в инерционных аккумуляторах. Наряду с другими преимуществами – возможностью работы при высоких скоростях, нечувствительностью к кратковременным перегрузкам и др. – электропривод обладает свойством, весьма ценным для инерционного аккумулятора, – способностью легкого вывода мощности из герметической камеры. Как было отмечено выше, высокоскоростные маховики инерционных аккумуляторов требуют помещения в разреженную газовую среду, что, в свою очередь, вызывает необходимость герметизации камеры вращения. При этом вывод мощности из герметизированной камеры представляет большую трудность. Для электропривода же это достаточно легко осуществимо путем вывода из камеры проводов, благодаря чему электропривод нашел применение в инерционном аккумуляторе Электрогиро, а также и новейших системах – Локхид и д-ра Д.В. Рабенхорста.

Следует отметить, что в случае гидро- и электропривода не исключено применение механического звена – понижающей или повышающей передачи, коробки передач, дифференциальной суммирующей передачи для разделения потока мощности и других целей.

Малораспространенные типы приводов – паровые, пневматические применяются в случаях, обуславливающих неприменимость других: например, во взрывобезопасных шахтных локомотивах с механической или гидромеханической основными трансмиссиями для разгона маховика применяются пневмодвигатели. Инерционные аккумуляторы с различными типами трансмиссий зарядки и отбора мощности могут быть названы гетеротрансмиссионными, или аккумуляторами с неоднородными трансмиссиями. Гетеротрансмиссионные инерционные аккумуляторы могут иметь в качестве основной трансмиссии любую из описанных выше, а вспомогательной, служащей для зарядки маховика – другую, аналогичного или иного типа.

Большинство инерционных аккумуляторов являются гетеротрансмиссионными. Гомотрансмиссионными, с одноименной трансмиссией разгона маховика и отбора мощности, обычно бывают инерционные аккумуляторы небольшой энергоемкости второстепенного значения, или рекуператоры. Например, шахтные инерционные локомотивы, гиробусы, инерционные тележки, дрезины, дробильные установки, прессы, двигатели, стартерные установки, ветродвигатели, гироинструмент и т.д. содержат гетеротрансмиссионные инерционные аккумуляторы.

Рекуперативные тормоза, другие инерционные аккумуляторы, работающие в режиме рекуперативного торможения, и некоторые маломощные и экспериментальные установки (например, экспериментальный скрепер с инерционным дополнительным двигателем) содержат гомотрансмиссионные аккумуляторы. Сюда же относятся и широко распространенные инерционные игрушки.

Маховик инерционных аккумуляторов может вращаться в горизонтальной, вертикальной или произвольно выбранной плоскости. На стационарных установках плоскость вращения маховика выбирается в соответствии с кинематикой привода и решающего значения не имеет. В мобильных же условиях маховики чаще всего располагаются горизонтально. Это вызвано как особенностями компоновки, так и влиянием гироскопических нагрузок на опоры.

Маховики могут иметь подвеску жесткую, упругую или карданов подвес. В первом случае опоры воспринимают максимальные значения гироскопических усилий. Такая подвеска применяется для стационарных установок, рельсового транспорта и мобильных установок с малогабаритными маховиками. Во втором случае опоры воспринимают сниженные гироскопические нагрузки, так как они амортизируются упругими элементами подвеса (кстати, такой тип подвеса применен на гиробусе фирмы Эрликон). В третьем случае опоры полностью свободны от действия гироскопических нагрузок. Такой тип подвеса применяется чаще всего в приборах.

Специальный регулируемый тип подвеса маховика применяется для целей стабилизации судов, монорельсового транспорта, двухколесных экипажей и др.

3.2. Инерционные аккумуляторы малой энергоемкости

В качестве вспомогательных источников энергии могут служить инерционные аккумуляторы как малой, так и высокой удельной энергоемкости. Применение того или иного типа инерционного аккумулятора обуславливается в основном продолжительностью его срабатывания. В тех случаях, когда продолжительность срабатывания инерционного аккумулятора неве-

лика (от долей секунды до нескольких секунд), обычно применяются аккумуляторы малой энергоемкости. Такие аккумуляторы-маховики устанавливаются на различных поршневых, двигателях, машинах ударного действия и аналогичных им (дробилках, прессах, стартерах и др.). Инерционные аккумуляторы высокой энергоемкости целесообразно использовать при более длительных сроках срабатывания – от нескольких минут до часа и более [4–6].

Одной из основных задач применения инерционных аккумуляторов малой энергоемкости является регулирование хода машины. Общеизвестно применение маховиков на различных машинах с неравномерным ходом, например поршневых двигателях, с целью уменьшения этой неравномерности. Маховик, аккумулируя избыточную энергию при замедлении хода машины, тем самым сглаживает пульсации скорости. Разумеется, идеально отрегулировать ход машины невозможно, так как для обеспечения совершенно равномерного хода требуется бесконечно большой первоначальный запас энергии в маховике, что нереально. Однако всегда можно подобрать такие параметры маховика, которые обеспечивали бы заданное значение коэффициента неравномерности хода как бы мало оно ни было. Большинство методов решения этой задачи сводится к нахождению параметров маховика (обычно момента инерции I) исходя из заданных параметров хода машины. Эта задача является задачей синтеза и встречается в основном при проектировании новых машин.

Применение маховика на машинах ударного действия и аналогичных им служит несколько другим целям, чем на поршневых. Во время рабочего хода таких машин двигатель должен преодолеть значительную нагрузку, которая требует большей его мощности. При холостом же ходе, нагрузка весьма мала, намного меньше рабочей нагрузки. Так как выбирать Двигатель по максимальной нагрузке и мощности неэкономично, то обычно двигатель средней мощности снабжают маховиком, накапливающим избыточную энергию при холостом и выделяющим ее при рабочем ходе двигателя.

Момент инерции маховика должен быть настолько велик, чтобы угловая скорость вращения двигателя при рабочем ходе не упала ниже определенного значения. Это значение может определяться как технологическими соображениями, так и условиями эксплуатации двигателя. Применяемые обычно асинхронные двигатели имеют механическую характеристику, устойчивую только выше определенной угловой скорости, значение которой и является ограничивающим.

Момент инерции маховика должен быть настолько мал, чтобы двигатель успел набрать при холостом ходе всю номинальную скорость. Как и в предыдущем случае, значение этой скорости определяется характеристикой применяемого двигателя.

3.3. Инерционные аккумуляторы высокой энергоемкости

Инерционные аккумуляторы высокой энергоемкости длительного действия особенно широко применяются на электростанциях малой мощности и, в первую очередь, на ветроэлектростанциях, транспортных и взрывобезопасных машинах, пусковых и бустерных устройствах и пр.

Использование инерционных аккумуляторов на ветродвигателях неразрывно связано с именем известного изобретателя, уроженца города Курска А.Г. Уфимцева. Им были разработаны различные типы аккумуляторов для ветроиспользования, проведен тщательный анализ электрических аккумуляторов, а также «водородную аккумуляцию», т.е. разложения воды путем электролиза на кислород и водород с дальнейшим их использованием; теплового аккумулярования энергии в водяных баках и, наконец, инерционных аккумуляторов, на которых и был остановлен выбор [4–6].

Инерционный аккумулятор, состоящий из вращающегося маховика, соединенного с электрической трансмиссией, был предложен Уфимцевым в 1918 г. [6]. В 1920 г. им был изготовлен инерционный аккумулятор с маховиком весом 30 кг и давлением в камере вращения 2,5–3 мм рт. ст. После 50-минутной зарядки инерционного аккумулятора достигалась скорость вращения маховика 12000 об/мин. Затем рядный двигатель отключался, включался генератор, и к нему подключалась электрическая 5-свечовая лампочка, которая ярко светила в течение 3 часов.

В 1924 г. Уфимцевым была построена более крупная модель инерционного аккумулятора с маховиком весом 320 кг. Этот аккумулятор после зарядки обеспечивал равномерное свечение группы электрических ламп в 1000 свечей в течение часа.

Работы А.Г. Уфимцева по созданию аккумулятора энергии для ветродвигателя приобрели народнохозяйственное значение. Для демонстрации действия нового аккумулятора на практике была построена Курская ветроэлектрическая станция, существующая и по настоящее время. В создании станции участвовал один из крупнейших специалистов страны по аэродинамике проф. В.П. Ветчинкин, который после смерти А.Г. Уфимцева (1936 г.) продолжил его работы по ветроиспользованию.

Маховичная торпеда была разработана английским адмиралом Хауэллом в 1883 г. В этой торпедке маховик играл роль как аккумулятора механической энергии, так и гиросtabilизатора заданного направления движения.

В первом варианте торпеда Хауэлла имела диаметр 35 см и вес 120 кг. Взрывчатка помещалась в носовой части торпеды и весила 20 кг. Вес маховика составлял 45 кг. Маховик разгонялся до скорости 10000 об/мин, на-

копья при этом около 400000 Н·м энергии. Торпеда покрывала расстояние около 500 м со скоростью до 30 км/ч.

В следующем, более усовершенствованном варианте торпеда могла развивать скорость 45 км/ч, проходя путь до 1 км. Разгон производился внешним (паровым) двигателем за 30 с. Эта торпеда имела сигарообразную форму длиной 2,4 м и была обшита медным листом. Примерно в середине торпеды был помещен стальной маховик в виде обода с диском, диаметром около 31 см и толщиной 15 см. Передаточное число привода маховика к гребным винтам составляло 1,2:1. Гребные винты имели регулируемый угол наклона лопастей – он зависел от скорости вращения маховика. Направление движения торпеды корректировалось рулем, связанным с особым маятниковым стабилизирующим устройством, действие которого зависело от поворота торпеды, вызываемого прецессией маховика. В результате торпеда приобретала спиралеобразную траекторию с постепенно уменьшающимся радиусом, что и вело к ее столкновению с атакуемым судном.

В 1888 г. по проекту Хауэлла в Лондоне стали производить торпеды в двух модификациях – диаметром 36 и 46 см. Меньшая имела вес 208 кг, включая 40 кг взрывчатки и 52-килограммовый маховик диаметром 35 см. Торпеда развивала скорость 47 км/ч на расстоянии около 1 км. Большая торпеда при общем весе 460 кг содержала, маховик диаметром около 45 см и весом 132 кг. Маховик разгонялся паровой турбиной Доу до 12000 об/мин. Эта торпеда развивала скорость 60 км/ч на расстоянии около 800 м и 52 км/ч на расстоянии свыше 1 км.

И, наконец, новый вариант торпеды Хауэлла содержит маховик диаметром 45 см и весом 160 кг. При 21 000 об/мин он накапливает энергию до 1060 Нм. Этого хватает, чтобы пройти около 1,5 км при скорости 55 км/ч.

Общим недостатком всех маховичных торпед является то, что при подготовке их к запуску на раскрутку маховика тратится дополнительно около 1 мин – для боевой обстановки это много [5].

При работе электрогенератора с двигателем внутреннего сгорания перегрузка агрегата может вызвать остановку двигателя. Для предотвращения этого ротор генератора снабжают маховиком, кинетическая энергия которого позволяет преодолевать временные перегрузки.

Генератор с двигателем 100 л.с. установлен на самоходном шасси. На валу генератора помещен маховик диаметром около 122 см и весом 1 т. Форма маховика близка к диску равной прочности. Двигатель и маховик соединены гидромуфтой. Номинальный интервал оборотов маховика 2700–3200 об/мин. Сбавляя обороты в этих пределах, маховик выделяет 5000 тыс. Н·м энергии. Гидромуфта служит для обеспечения лучшего разгона маховика двигателем, особенно при старте с места. На полный

разгон затрачивается около 4 мин. Причем только на разгон от 2700 до 3200 об/мин тратится около 1 мин. Выделение энергии происходит в среднем за 5 с. Мощность, развиваемая при этом генератором, около 1000 кВт. Следовательно, наличие маховика позволяет уменьшить мощность двигателя более чем в 10 раз.

Здесь гидромуфта помещена между маховиком и генератором. Маховик разгоняется небольшим мотором до скорости, превышающей номинальную скорость генератора на 40 %. Затем гидромуфта постепенно заполняется рабочей жидкостью и генератор приводится во вращение. Запас скорости позволяет преодолеть кратковременную перегрузку, достигающую 12 000 кет и более чем в 10 раз превышающую мощность разгонного двигателя. Маховик имеет диаметр около 2,5 м, толщину на периферии 25 см и вес 8,4 т. Система обеспечивает в среднем удельную энергоемкость 1 кВт·ч на 1 т веса, отнесенную к напряжению в маховике 10000 Н/см^2 . Вентиляционные потери маховика уменьшены путем помещения его в плотно прилегающий кожух.

Маховики позволяют также преодолевать пиковые сопротивления, возникающие при прокатке металла. Маховик при этом может быть соединен с прокатными вальками как жестко (в старых конструкциях), так и через электропривод (в более новых конструкциях). В энергетическом узле прокатного стана для изготовления алюминиевых листов мотор, разгоняющий маховик, имеет мощность 8000 л.с. Маховик, имеет диаметр 3,6 м, толщину на периферии около 30 см, весит 28 т. При 750 об/мин он накапливает энергию 12 млн кДж. Маховик соединен с четырьмя генераторами, позволяющими развивать пиковую нагрузку 10000 л.с. каждый. Ток от генераторов подается к моторам, вращающим прокатные 144-дюймовые вальки. Цапфы маховика помещены в разъемные подшипники скольжения, позволяющие поднимать маховик непосредственно вверх для снятия и замены втулок [5].

Одним из основных условий успешного запуска самолетов с авианосцев являются большие ускорения и малый путь разбега. Для этой цели на рубежом применяются специальные катапульты, разгоняющие самолет. Инерционный привод такой катапульты оказался наиболее легким, экономичным и дешевым по сравнению с другими типами приводов.

Бензиновый двигатель в 150 л.с. разгоняет маховик диаметром 2,1 м и связан с ним обгонной храповой муфтой. Маховик установлен в массивных опорах, необходимых для восприятия гироскопических усилий от качки корабля. Тяговый барабан лебедки катапульты связан с маховиком через планетарную передачу, встроенную в барабан и 32-дюймовую гидромуфту с регулируемым наполнением. Муфта позволяет развивать крутя-

щий момент 36000 Н·м при оборотах барабана от до 2100 в 1 мин. Возрастание крутящего момента до полной величины происходит примерно за 0,5 с.

Маховик имеет форму, близкую к диску равной прочности, с толщиной на периферии 9 см, а близ центра 15 см и весит 3 т. Момент инерции маховика $1350 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^2$ позволяет накопить около 32 млн Н·м энергии при 2100 об/мин. Энергия, сообщаемая самолету, не превышает 0,9 млн Н·м, что объясняется буксованием гидромуфты и падением оборотов маховика не более чем до 1630 об/мин. Разгонный двигатель восстанавливает эту энергию за 2,5 минут причем за это время трос наматывается на барабан, и новый самолет готовится к запуску. Эта катапульта позволяет производить разгон самолета до 120 км/ч при ускорении 3,25 g.

Другой, более мощный тип катапульты содержит маховик весом 12 т, разгоняемый электродвигателем мощностью 1200 л.с. Эта катапульта позволяет производить разгон самолета Локхид F-80 до 300 км/ч за 4,1 с при пути пробега всего около 100 м или до 400 км/ч при длине пробега 150 м. Катапульта снабжена мощной гидромуфтой и электроприводом [5].

Первой попыткой применения маховика на самодвижущемся экипаже был «маховоз» инженера В.И. Шуберского, предложенный им в 1860 г. Однако принципиальные конструктивные недостатки, связанные в основном с низким уровнем техники того времени, помешали реальному осуществлению этого проекта.

Одной из ранних конструкций маховичного транспорта был также экипаж, построенный Ф.В. Ланчестером вместе с его братом в 1904 г. Принцип действия экипажа Ланчестера примитивен и ясен из приводимой схемы. Энергия маховика экипажа Ланчестера использовалась только для разгона и преодоления подъемов.

Ланчестером же было впервые предложено использовать систему двигатель – маховик – генератор как средство тяги на железной дороге. По этому же принципу построен локомотивный инерционный бустер. Такие бустеры применяются для временного повышения «мощности электросекций в период их разгона и преодоления дорожных сопротивлений. Например, локомотив с мощностью основного силового агрегата 2500 л.с. оборудован бустером мощностью 1000 Вт. Каждый из двух маховиков бустера имеет диаметр 1 м и толщину 17 см. Номинальная скорость маховика 1750 об/мин. Момент инерции роторов $24 \text{ т}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^2$; кинетическая энергия – 420000 Н·м [5].

Инерционный бустер – яркий пример применения маховика в качестве вспомогательного двигателя на транспорте.

Инерционные стартеры были очень распространены лет 30 назад и выпускались такими ведущими фирмами, как Бендикс в США, Ротакс в Англии и др. Впоследствии, когда двигатели стали заводиться легче, инерци-

онный стартер постепенно вышел из употребления. Однако конструкция стартера представляет интерес, так как она характерна для агрегатов, требующих развития значительной мощности при кратковременном включении, и может служить как пусковой двигатель достаточно широкого назначения.

Инерционный стартер представляет собой маховик вилку обода с диском, соединенный через понижающую планетарную передачу, многодисковую фрикционную и кулачковую муфту с валом двигателя. Маховик приводится во вращение заводной ручкой. После разгона маховика включается кулачковая муфта, и вал двигателя раскручивается, благодаря чему двигатель запускается. Фрикционная муфта, включенная постоянно, играет роль предохранительной.

На стартере фирмы Ротакс разгон маховика производится ручкой через заводной вал и планетарный привод с передаточным числом 1:180. Вращению ручки со скоростью 65 об/мин соответствует скорость вращения маховика – 12000 об/мин. При этом маховик накапливает энергию 4800 Н·м. Затем включается кулачковая муфта и вращение маховика, уже через трансмиссию с передаточным числом 150:1, передается на вал двигателя. Крутящий момент, достигающий при этом 180 Н·м, заводит двигатель.

Впоследствии для разгона маховика стали использовать серийные электромоторы, позволяющие достигнуть 10 000 об/мин маховика за 25 с [6].

Маховик, установленный на вертолете, приводил во вращение воздушный винт с регулируемым наклоном лопастей. Во время разгона маховика посторонним источником энергии – мотором – лопасти воздушного винта установлены так, что его подъемная сила равна нулю. Маховик при этом легко и без излишних потерь энергии разгоняется мотором. После отключения разгоняющего мотора лопастям задается необходимый угол атаки, и вертолет совершает вертикальный взлет. По мере сбавления оборотов маховика увеличивается угол атаки винта с сохранением тяги. Когда энергия маховика иссякает, вертолет медленно опускается.

В описанной конструкции маховик применяется для развития кратковременной высокой мощности, необходимой для вертикального старта. Инерционный двигатель оказался легче любого другого двигателя, что важно для работы в таком режиме. «Прыгающий Гиро» – так был назван этот вертолет. Он представляет интерес как устройство, обеспечивающее резкий вертикальный старт летательного аппарата [5].

При сверлении электрической дрелью в сырых местах для человека возникает опасность поражения током. Кроме того, пользование такой дрелью невозможно во взрывоопасных местах, где искрение щеток электродвигателя способно вызвать взрыв. Электрическая или пневматическая дрель во всех случаях требует подвода питания по гибким проводам или

шлангам, а это создает неудобства при работе в отдаленных от источника питания местах.

Ясно, что при работе дрели возникающий реактивный момент действует на работающего с ней человека. Это обстоятельство исключает пользование обычной дрелью в условиях невесомости, где реактивный момент будет вращать самого оператора.

От названных недостатков свободна инерционная дрель, питающаяся энергией раскрученного маховика. Вал маховика соединен со шпинделем (патроном), в котором укреплено сверло, бор, шлифовальный круг или иной инструмент. Маховик раскручивается любым способом от источника питания, а затем дрель переносится к месту работы, где и используется накопленная энергия.

Благодаря значительной продолжительности выбега маховика дрель может быть использована на значительном удалении от места зарядки. При работе дрели на оператора действует только тот ничтожно малый реактивный момент, который создается трением в подшипниках и аэродинамическими потерями. Особенно благоприятны условия для работы инерционной дрели в вакууме, где аэродинамические потери отсутствуют.

Инерционная дрель малогабаритна, но может развивать большие мощности. После зарядки от сети 127 В в течение 1 мин, дрель просверливает 4–5 отверстий диаметром 4 мм в стальном листе толщиной 5 мм или до 100 отверстий в плотном дереве или пластмассе.

При работе с инерционной дрелью нужно учитывать следующую особенность: для установки ее в исходное положение требуется некоторое усилие, преодолевающее гироскопический момент; однако при сверлении дрель прекрасно сохраняет заданное направление [6].

В качестве примера использования инерционного аккумулятора высокой удельной энергоемкости для временного повышения мощности машины уместно привести конструкции скрепера и экскаватора с инерционными аккумуляторами энергии. Эти конструкции существовали, правда, только как экспериментальные, однако их положительные качества дают основание говорить об их несомненной перспективности в дальнейшем, когда культура производства и эксплуатации этих машин будет достаточно высока.

Скрепер представляет собой землеройную машину циклического действия. Рабочий цикл ее складывается в основном из копания, когда требуются максимальные мощность и тяговое усилие машины, и транспортировки груженой и порожней машины, когда потребные мощность и тяговое усилие незначительны. Для преодоления больших сопротивлений при копании грунта обычно используется трактор-толкач, сообщающий машине дополнительное тяговое усилие.

Во Всесоюзном научно-исследовательском институте транспортного строительства (ЦНИИСе) при участии автора был изготовлен опытный скрепер с инерционным аккумулятором, играющим роль вспомогательного двигателя и приводящим во вращение задние колеса скрепера при копании. Тягового усилия, развиваемого при этом, достаточно

для выполнения копания и заполнения ковша скрепера грунтом без помощи толкача. Разгон маховика осуществляется при холостом ходе скрепера и избыточной мощности основного двигателя машины с помощью маломощного серводвигателя или непосредственно от колес [25–29].

Представляет интерес также конструкция силового агрегата одноковшового экскаватора, снабженного муфтой-маховиком. Рабочий цикл экскаватора осуществляется при неравномерной загрузке двигателя по мощности. Муфта-маховик экскаватора накапливает энергию в период неполной загрузки двигателя с последующей отдачей ее при копании грунта. Таким путем удастся существенно повысить эффективность работы одноковшового экскаватора. Муфта-маховик на экскаваторе требует тщательной регулировки для обеспечения более или менее стабильной передачи крутящего момента при буксовании. По этой причине конструкция не получила практического значения.

Циклический характер работы большинства землеройных машин и их неравномерная загрузка по мощности дают основание полагать, что установка инерционных аккумуляторов » целесообразна и на других землеройных машинах, например бульдозерах [5].

В 1945 г. фирма Эрликон начала работы по использованию аккумулярованной механической энергии для движения маховичных автомобилей, которые были названы гиробусами. В 1953 г. фирмой была выпущена серия из 17 таких машин, которые курсировали в Швейцарии, а также в Бельгийском Конго (Киншаса) на трассах протяженностью от 4,5 до 7,7 км.

Для решения рода технологических и конструкторских задач, возникших при изготовлении образцов указанного вида транспорта, фирмой была проведена большая научно-исследовательская и практическая работа. Основные проблемы, потребовавшие решения, касались максимального уменьшения потерь на трение при вращении маховика, обеспечения высоких динамических показателей гиробуса, а также создания простой и надежной электромеханической передачи между маховиком и ведущими колесами машины.

Потери на трение в основном являются вентиляционными потерями и зависят от окружной скорости и величины поверхности вращающегося маховика, расстояния между маховиком и корпусом, а кроме того, определяются плотность и характером движения среды, в которой находится вращающийся маховик.

Эффективным средством снижения потерь на трение является уменьшение окружной скорости. Однако при этом для сохранения необходимой величины накапливаемой энергии потребовалось бы значительно увеличить вес маховика. Поэтому более целесообразным является помещение маховика в корпус, заполненный водородом, который в 14,4 раза легче воздуха и имеет коэффициент теплопередачи в 1,7 раза больший, чем у воздуха. Уменьшение потерь становится еще более ощутимым, если в корпусе маховика, заполненном водородом, создать предварительный вакуум. Применение водорода не только значительно снижает вентиляционные потери, но и способствует эффективному охлаждению отдельных частей электрогироскопического агрегата.

Расчеты, а также экспериментальная проверка показали, что ходовые качества гиробуса могут быть достаточно высокими, если будут выдержаны

Было также установлено, что комфортабельность езды в t этом виде транспорта обеспечивается, если жесткость передних пружин в 1,26 раза больше, чем задних. При этом частота вертикальных колебаний не превышает 90 колебаний в минуту.

При действии внешних нагрузок на гиробус возникает прецессия маховика и гироскопический момент, как показали расчеты, может достигать 800–900 Н·м. Этот момент, а также свободные колебания машины относительно горизонтальной оси могут вызвать значительную нагруженность пружин подвески и подшипников трансмиссии. В связи с этим было установлено, что электрогироскопический агрегат необходимо устанавливать на шасси на упругом основании. Такое устройство должно предохранять трансмиссию машины от высоких ударных нагрузок при езде по неровной дороге, а также ограничивать вынужденную прецессию гироскопического агрегата.

Вес электрогиробуса образца 1953 г. составляет 11 т без нагрузки и 16 т с полной нагрузкой. Он рассчитан на перевозку 70 пассажиров. Электрогироскопический агрегат установлен в центральной части машины под одним из спаренных сидений. Маховик имеет диаметр 1626 мм и вес 1,5 т. Он отлит из хромо-никель-молибденового сплава и непосредственно соединен с валом короткозамкнутого двигателя. Электрогироскопический агрегат заключен в герметический корпус, заполненный водородом. Давление в корпусе равно 0,7 атм. Конфигурация маховика при минимальном весе и максимально допустимой скорости вращения обеспечивает накопление необходимой энергии. В то же время при максимальной скорости вращения (3000 об/мин) напряжение в маховике не превышает 30 % предела прочности материала на растяжение. Отношение полностью нагруженного электрогиробуса к весу маховика составляет 10:1, что, по мнению фирмы, является оптимальным.

Вал собранного электрогироскопического агрегата установлен в 3 подшипниках, один из которых, радиально-упорный, служит для восприятия осевых нагрузок. Интенсивная циркуляция водорода в корпусе обеспечивается вентиляционным напором – он создается вращающимся маховиком, а также центробежной крыльчаткой, укрепленной на валу агрегата. Для улучшения охлаждения ротора двигателя-генератора, а также облегчения циркуляции водорода через агрегат стержни короткозамкнутого ротора выполнены полыми. Для уменьшения вентиляционных потерь корпусу маховика придана обтекаемая форма, а отношение ширины к диаметру составляет всего 0,0175. С целью дополнительного охлаждения узлов электрогироскопического агрегата в конструкцию введена жидкостная система, состоящая из охлаждающей рубашки, радиатора и электровентилятора со скоростью вращений 1500 об/мин. Поглощение влаги, которая может проникнуть в агрегат во время сборки, осуществляется силикагелем, размещенным в двух небольших баллонах, смонтированных в агрегате.

Вес полностью собранного агрегата составляет 2,9 т. Агрегат смонтирован на шасси на четырех упругих подвесках, представляющих собой резиновые блоки с размещенными в них стальными спиральными пружинами. Подвески выполнены достаточно упругими и расположены в плоскости, проходящей через центр тяжести агрегата.

При разгоне маховика до 3000 об/мин накапливаемая им энергия составляет 33–1060 Н·м, или 9 кВт·ч. Полное время вращения маховика с 3000 об/мин до остановки (выбег) составляет 12 часов.

Действительные потери в электрогироскопическом агрегате с учетом потерь на трение в подшипниках примерно в 3 раза больше полученных расчетным путем и составляет 6 л.с. при 3000 об/мин. Последнее обстоятельство обусловлено тем, что в расчетах рассматривались только потери при вращении диска, в то время как имеют место значительно большие потери, вызванные вращением не только маховика сложной конфигурации, но и ротора генератора.

Электроагрегаты гиробуса питаются от городской сети трехфазного тока 500 В с частотой 50 Гц. Для ограничения максимальных значений величин тока до 350 А в электрическую цепь «включаются последовательно сопротивление и параллельно конденсаторы, что улучшает характеристику разгона машины. Ночная зарядка установки производится от трехфазного тока напряжением 220 В, причем число оборотов маховика может быть доведено от 0 до 2500 в 1 мин за 25 мин.

Окончательная зарядка и доведение числа оборотов маховика до 2900–2950 в 1 мин производится у первого пункта питания на маршрутной линии.

При работе генератора-двигателя на тяговые двигатели его обмотка возбуждения питается от конденсаторов. Частотная и магнитная характеристики генератора зависят от числа оборотов маховика. Напряжение, питающее генератор-двигатель, регулируется путем изменения величины емкостного сопротивления, включенного в цепь, что и обуславливает изменение величины крутящего момента. Максимально допустимая величина напряжения ограничивается специальным устройством. Изменение напряжения, питающего генератор, осуществляется рычагом регулятора напряжения/ расположенным на рулевой колонке.

Тяговый агрегат гиробуса состоит из трех тяговых электродвигателей с короткозамкнутыми роторами мощностью 73,6 кВт. Валы двигателей соединены между собой последовательно через одноступенчатые редукторы с передаточными числами 1,34:1. Каждый двигатель может иметь две скорости вращения, что обеспечивает гиробусу 6 скоростей движения от 10 до 50 км/ч.

Изменение скорости вращения двигателей тягового агрегата осуществляется путем изменения числа полюсов, а так же путем изменения схемы включения обмоток статора (треугольник, звезда, двойная звезда). В процессе пуска и эксплуатации всегда работает только один из трех тяговых двигателей.

Для уменьшения скорости и остановки гиробуса применяется рекуперативное торможение, позволяющее увеличить интервал между зарядками и значительно уменьшить износ тормозов. Рекуперативное торможение осуществляется левой ножной педалью, механическое торможение – отдельной ножной педалью.

Для освещения и питания приборов управления и сигнализации используется аккумуляторная батарея с напряжением 12 В. Она заряжается либо во время езды генератором, приводимым во вращение ременной передачей от тягового двигателя, либо на зарядной станции при помощи выпрямителей. Сжатый воздух для тормозной системы подается в баллоны компрессором, действующим от электродвигателя во время стоянки электрогиробуса у питающей станции. Передача вращения от двигателей тягового агрегата на ведущие оси производится карданным валом.

Пункт питания гиробуса представляет собой полую мачту с консолью. Внутри мачты смонтированы дроссели, электромагнитный выключатель и выпрямитель для зарядки аккумуляторной батареи собственных нужд электрогиробуса. На консоли зарядной мачты расположены три питающих контакта. Когда гиробус подходит к пункту питания для зарядки, сто подвижные токоприемники при помощи пневматического устройства поднимаются для соприкосновения с питающими контактами мачты. Одновре-

менно выдвигаются два вспомогательных контакта, которые заземляют электрооборудование гиробуса и приводят в действие основной электромагнитный выключатель питания. Стоимость каждого пункта зарядки даже при наличии понижающего трансформатора составляет всего 20 % стоимости 1 км воздушной контактной сети троллейбуса. Указанно обстоятельство, а также незначительность затрат при эксплуатации, и ремонте гиробуса являются основными преимуществами этого вида транспорта, несмотря на то что первоначальные затраты на постройку троллейбуса таких же размеров меньше. Суммарный к.п.д. гиробуса составляет 60 %.

Было установлено, что при четырех 10-секундных остановках за пробег, равный 1,6 км, средняя скорость гиробуса составляет 22,5 км/ч.

Техническая скорость электрогиробуса на 10 % меньше, чем у троллейбуса. Это вызвано главным образом дополнительными затратами времени на подзарядку маховичного агрегата. При средней скорости электрогиробуса 22,5 км/ч время, затрачиваемое на зарядку маховичного агрегата, составляет около 6,5 с на 1 км пути. На протяжении 8 км без остановок и подъемов скорость вращения маховика снижается с 2950 до 1800 об/мин. Однако в реальных условиях движения отдаваемая маховиком энергия (5,5 кВт·ч) при указанном снижении числа оборотов обеспечивает пробег в 2,5 км. Таким образом, максимально допустимый интервал между зарядными станциями определяется допустимой величиной потери накопленной энергии, т. е. снижением скорости вращения маховика и, значит, уменьшением максимальной скорости гиробуса.

Вес гиробуса должен быть максимально уменьшен. Подстанции для зарядки рекомендуется располагать через 1,2–2 км, что позволяет в течение 40 с восстанавливать запас энергии для последующего движения. Например, в Ивердоне (Швейцария) протяженность маршрута равна 4,5 км. Подстанции находятся на конечных остановках и одна, промежуточная, на линии. Остановки расположены в среднем одна через 400 м, а расход энергии составляет 2,2 кВт·ч на 1 км пути.

Наибольшей экономичности гиробусов удалось добиться в бывшем г. Леопольдвиле (Киншаса – Конго), где расход энергии составил всего 1,5 кВт·ч/км. Это достигнуто благодаря увеличению расстояния между остановками до 1 км при среднем расстоянии между зарядными станциями около 2 км [1–6].

Недавно отделением фирмы Локхид создана аккумуляторная установка, предназначенная для использования на гиротроллейбусах в г. Сан-Франциско. Установка содержит маховик весом 314 кг с вертикальной осью вращения, выполненный из термообработанной стали и имеющий гиперболический профиль. Маховик вращается в герметически закрытом

корпусе, откуда насосом откачивается воздух. На оси маховика установлен электромотор-генератор. Установка, имеющая диаметр 1140 мм и высоту 570 мм, размещается под полом гиротроллейбуса. При питании гиротроллейбуса от основной электросети маховик разгоняется до скорости 20000 об/мин. Кинетическая энергия, запасенная маховиком, достаточна для движения машины с опущенными штангами на расстояние 9,6 км. К концу этого пробега скорость вращения маховика составляет примерно 10000 об/мин. Считается, что эта установка будет более рентабельной, чем применявшаяся в Швейцарии фирмы Эрликон, поскольку подзарядка аккумулятора может производиться на ходу, а в самой установке уменьшены потери мощности. В ближайшие годы предполагается выпустить еще несколько гиротроллейбусов с опытными инерционными аккумуляторами.

Помимо гиробусов, агрегат Электрогиро находит применение на маневровых гиролокомотивах. Маневровый гиролокомотив, построенный фирмой Сентинель (Англия) совместно с фирмой Эрликон питается энергией от двух Электрогиро. Принцип работы этого гиролокомотива аналогичен принципу работы гиробуса, однако есть и некоторые отличия, обусловленные спецификой эксплуатации, железнодорожным ходом, большим весом, малыми скоростями движения.

Принципиально управление гиролокомотивом не отличается от управления гиробусом. Количество и размещение зарядных станций для локомотивов этого типа зависит от условий их эксплуатации.

Гиролокомотивы, использующие инерционные аккумуляторы с электрической трансмиссией, не являются взрывобезопасными. Для обеспечения гарантированной безопасности работы в рудниках со взрывоопасной концентрацией газа или пыли в качестве приводов инерционного аккумулятора должны применяться лишь те, которые не способны вызвать искру или пламя в процессе работы. Такими приводами могут быть механический, гидравлический (статический и динамический) и пневматический.

Как отмечено выше, применение инерционных аккумуляторов на взрывобезопасных агрегатах характеризуется преобладанием механических (а также гидropневмомеханических) трансмиссий над электрическими. В настоящее время Дружковским машиностроительный завод серийно выпускаются шахтные локомотивы-гировозы типа ГР с механической передачей.

Движение гировоза на различных режимах работы осуществляется следующим образом. При зарядке инерционного аккумулятора включается пневмодвигатель, и вращение передается через соединительный вал редуктору зарядки. При работе локомотива передача вращения от маховика к колесам производится через включенные конусную и зубчатую муфты, ко-

ническо-цилиндрические зубчатые передачи и фрикцион, состоящий из двух многодисковых муфт сцепления. Включением фрикционной муфты осуществляется плавный пуск гирозова и движение его на обеих скоростях (первой и второй). Муфты включаются рукояткой скорости, связанной с нажимным диском, перемещающимся по шлицам между муфтами. Включение левой муфты соответствует работе на первой скорости; включение правой фрикционной муфты соответствует второй скорости. Реверсирование гирозова производится переключением рукоятки реверса зубчатой полумуфты, расположенной на шлицах вала реверса между коническими шестернями. Общее передаточное число редуктора на I первой скорости 21,9; на второй – 13,55.

Маховик гирозова представляет собой массивный диск с ободом диаметром 940 мм и весом 1650 кг, изготовленный из стали 40Х. После окончательной механической обработки его подвергают статической балансировке. В отбалансированный маховик запрессовывается вал 1, изготовленный из стали 40ХН. Маховик подвешивается «в крышке 2, опирающейся в верхний торец корпуса 3, при помощи вала и двух шарикоподшипников, заключенных в стакан 4. Верхний подшипник воспринимает радиальную и осевую нагрузки, ограничивая перемещение вала маховика от толчков вверх. Нижний подшипник воспринимает только осевую нагрузку от веса маховика. Оба подшипника соединены с валом по напряженной посадке и прижимаются к уступу вала верхней несущей гайкой через шайбу. Гайка удерживается от самоотвинчивания стопорным винтом, заходящим в паз вала. Между внутренними обоймами подшипников установлена прокладка из декапированной стали, предохраняющая верхний подшипник от переката.

Нижняя часть вала маховика поддерживается роликоподшипником, установленным в стакане 5. Нижний подшипник воспринимает только радиальную нагрузку. Для предотвращения выпадания наружной обоймы подшипника она стопорится кольцом. Нижний стакан 5 стопорится в корпусе болтами и стопорным кольцом. Чтоб смазка не попадала в камеру вращения, в верхнем и нижнем стаканах предусмотрены уплотнения.

Корпус и крышка маховика изготавливаются литыми из стали 35Л. Для уменьшения вентиляционных потерь конфигурация корпуса и крышки соответствует конфигурации маховика. Между ними соблюден необходимый зазор – 10 мм, он контролируется через отверстия 6 и 7; в корпусе и крышке маховика.

Для подключения маховика к редуктору во время зарядки и движения локомотива, а также отключения его от редуктора на стоянках с целью уменьшения потерь энергии предусмотрена конусная муфта. Она может

включаться только при выключенных фрикционных муфтах и нейтральном положении муфты реверса.

Взрывобезопасные гировозы с механической трансмиссией имеют ряд недостатков, основным из которых является ступенчатый привод от маховика к колесам. При этом любое вынужденное изменение режима движения гировоза связано с пробуксовками фрикционных муфт и, следовательно, дополнительными потерями энергии.

Пневматический двигатель, служащий для зарядки инерционного аккумулятора (разгона маховика), имеет очень низкий к.п.д., порядка 0,15–0,2. Это значительно ниже, чем при разгоне маховика специальным асинхронным электродвигателем Электрогирос, к.п.д. которого при полной зарядке равен 0,39, а при частичной подзарядке повышается до 0,7. Кроме того, необходимо учитывать, что инерционный аккумулятор является (кратковременно) источником почти неограниченной мощности, и поэтому в трансмиссии необходимо иметь надежное предохранительное звено. По этим причинам для привода гировозов были применены гидравлические (статическая и динамическая) трансмиссии.

Для изучения возможности применения гидропривода на гировозах изготовлен опытный образец гировоза с гидроприводом ГРГ. Зарядка (разгон маховика) производится при помощи пневмодвигателя с механическим редуктором. После зарядки кинетическая энергия маховика передается через редуктор на вал гидронасоса, который преобразует ее в энергию статического напора рабочей жидкости. Редуктор, прикрепленный к нижней части корпуса маховика, соединяет маховик с пневмодвигателем во время зарядки и с гидронасосом в рабочем режиме. Поршневой гидронасос аксиального типа допускает реверсирование потока рабочей жидкости и имеет следующие параметры: число оборотов 1450 об/мин; производительность 360 л/мин; давление – 50 атм. Он соединен гибкими шлангами высокого давления с высокомоментным гидродвигателем типа ГМТ. Гидродвигатель расположен на одной из ходовых осей гировоза. Обе оси соединены цепной передачей и, таким образом, являются ведущими. В качестве рабочей жидкости используется масло индустриальное 20, или индустриальное 30.

Пуск машины, изменение скорости движения, торможение и реверсирование производятся из кабины машиниста штурвалом, соединенным червячной передачей непосредственно с регулировочной шайбой гидронасоса. Для отключения предусмотрена коническая фрикционная муфта. Аварийное и противоугонное торможение осуществляется ручным колодочным тормозом.

Сравнительные данные гировозов с механической трансмиссией и с гидроприводом уступает механическому гировозу. Однако простота и

удобство управления машиной, поддержание постоянной рабочей скорости, надежность предохранительного звена и возможность частичного рекуперирувания энергии при торможении создают гировозу с гидроприводом некоторые преимущества.

С целью повышения экономичности гировозов были предложены различные его схемы, предусматривающие привод с гидродинамической трансмиссией, с гидротурбиной и некоторые другие. Наиболее перспективным типом гидропривода для гировоза является, по-видимому, передача, работающая по обратимой схеме.

Привод состоит из зарядного двигателя любого типа, редуктора режимов работы, двух гидравлических насосов – двигателей регулируемой производительности: работающего в режиме разрядки, как мотор, и работающего в режиме зарядки, как насос; аккумулятора энергии – маховика с соединительной муфтой. Для временного отключения маховика от трансмиссии. Для создания вакуума в кожухе маховика предусмотрен вакуум-насос, работающий при зарядке от зарядного двигателя. Для управления соединительной муфтой и насосом-двигателем предусмотрены соответствующие механизмы. Основным преимуществом этой схемы является наличие вакуума в камере вращения маховика, что позволяет не только снизить аэродинамические потери для стандартных Маховиков, но и применять совершенные, высокоскоростные маховики, энергоемкость которых в 2–3 раза выше обычных. Однако осуществление подобной работоспособной схемы пока связано с известными трудностями [6].

В заключение следует кратко остановиться на инерционном внутризаводском транспорте. Этот вид транспорта, пока ещё очень несовершенный, получает все большее распространение на различных заводах для межцеховых и внутризаводских перевозок. Выгодно отличаясь от аккумуляторных электрокаров, такие инерционные тележки могут при рациональном использовании дать значительный экономический эффект.

Тележка, разработанная на Казанском компрессорном заводе. Грузоподъемность тележки 10–15 т, вес 5 т. Скорость движения около 25 м/мин. Маховик, разгоняемый электродвигателем до 800 об/мин во время загрузки тележки, обеспечивает длину ее пробега 500–900 м. Несмотря на очевидную простоту такой тележки, годовой эффект от ее применения составил более 3000 руб.

Аналогично действует инерционный тельфер, используемый на некоторых шахтах с взрывоопасной атмосферой. Разгон маховика производится электро- или гидродвигателем.

Следует отметить, что инерционный транспорт еще весьма далек от совершенства. Попытки применения инерционного аккумулятора в качестве

двигателя транспортного средства имеют пока ограниченный успех, поскольку этим совершенно специфичным источником энергии нередко механически заменяется обычный двигатель, что не только приводит к ухудшению работы трансмиссии, но часто влечет за собой потерю ряда ценнейших свойств и возможностей этого аккумулятора. Применение инерционного аккумулятора на том или ином транспортном средстве должно иметь строгое научное обоснование, предполагающее увязку характеристики движения транспортного средства с характеристикой инерционного аккумулятора.

В последнее время в США активизировались работы по инерционным аккумуляторным автомобилям. В частности, в лаборатории прикладной физики университета им. Дж. Гопкинса под руководством доктора Д.В. Рабенхорста разработан силовой агрегат инерционного аккумуляторного автомобиля, способного с одной раскрутки маховика проходить путь до 180 км. Основой этого агрегата служит супермаховик клинового типа.

Электрический мотор-генератор (либо система мотор – насос) при помощи магнитных муфт соединяется с супермаховиком, посаженным в подшипники, покрытые MoS_2 и работающие без смазки. Эти подшипники служат в основном для восприятия динамических гироскопических нагрузок, силу же веса супермаховика целиком воспринимает магнитная подвеска. Весь силовой агрегат помещан в герметичный вакуумный кожух и подвешен в шарнирных подвесках с упорными кольцами, гарантирующими надежность подвески. К раме автомобиля агрегат крепится при помощи амортизаторов. Зарядка инерционного аккумулятора (раскрутка маховика) производится включением мотора в сеть в течение нескольких минут (около 20). Затем ток, вырабатываемый генератором (или масло от насоса), приводит в движение мотор-колеса автомобиля и обеспечивает пробег с достаточно высокой средней скоростью – до 90 км/ч.

Рабочий процесс каждой машины обязательно включает в себя разгоны и замедления. Для машин непрерывного действия они не имеют существенного значения, так как их работа носит характер установившегося режима. К таким машинам относятся различные транспортеры, эскалаторы, многоковшовые экскаваторы, ткацкие станки и др. Что же касается машин циклического действия, то в данном случае разгон и замедление составляют значительную часть рабочего процесса. К таким машинам можно отнести почти все транспортные машины, большинство грузоподъемных и землеройно-строительных машин, металлообрабатывающие машины и др.

Рассматривая два названных процесса – разгон и замедление, можно заметить, что в первом случае происходит накопление кинетической энергии, во втором – ее поглощение. При малых скоростях машин доля кинети-

ческой энергии в общем энергетическом балансе невелика. Однако с повышением скоростей кинетическая энергия машины возрастает, завоевывая преобладающую роль в энергетическом балансе. Такое же явление имеет место при снижении сопротивлений (или повышении общего к. п. д. машины) и уменьшении длины пути цикла.

Ясно, что при одновременном повышении скорости движения, уменьшении расстояния между остановками и сопротивлению движению доля кинетической энергии в общем расходе энергии за цикл увеличивается еще интенсивнее. Между тем следует отметить, что как у машин, служащих средством транспорта, так и у других машин циклического действия скорость движения неуклонно подвывается, сопротивления движению уменьшаются, увеличивается общий к.п.д. Кроме того, у транспортных машин иногда желательное уменьшение расстояния между остановками. Для современных машин циклического действия – автомобилей, троллейбусов, поездов метро, пригородных поездов, мостовых кранов и аналогичных им – при наиболее эффективных циклах на совершение работы тратится примерно 10–30 % суммарной энергии двигателя, а переходит в кинетическую с последующим ее рассеиванием 70–80 %. В будущем, же это соотношение, несомненно, еще более ухудшится. Такое положение приводит к необходимости как постоянного повышения мощности двигателя для обеспечения хороших динамических качеств машины, так и применения устройств, поглощающих кинетическую энергию, различных замедлителей и тормозов. В результате задерживается дальнейшее повышение производительности и экономичности циклических машин.

Использование кинетической энергии циклических машин могло бы обеспечить весьма большой экономический эффект.

Правильная оценка резервов кинетической энергии для различных машин в разных условиях их эксплуатации требует установления особого критерия, который может быть определен при рассмотрении энергетического баланса движущейся машины.

Энергетический баланс движущейся машины в любой отрезок времени можно выразить уравнением:

$$E_c = E_p + E_{\text{кин}},$$

где E_c – полная энергия, затраченная до рассматриваемого момента;

E_p – энергия, затраченная на реактивные сопротивления;

$E_{\text{кин}}$ – кинетическая энергия машины.

При остановке машины накопленная кинетическая энергия расходуется на преодоление реактивных сопротивлений и поглощается тормозами. Отношение энергии E_p , затраченной на реактивные сопротивления, к полной энергии E_c может служить критерием для оценки резерва кинетической энергии в машине в заданных условиях.

На практике кинетическая энергия движущихся машин частично используется путем рационального управления при свободном выбеге с подъемов. При использовании наката кинетическая энергия машины расходуется на преодоление сил сопротивлений на участке, называемом путем выбега или наката.

Ясно, что использование кинетической энергии для преодоления подъемов носит частный характер, так как не всегда на данном отрезке пути имеется соответствующий подъем.

Использование кинетической энергии машины может быть осуществлено также путем соответствующих специальных мероприятий. В том случае, когда большое количество машин связано единой сетью питания (например, электрический транспорт), вероятное число тормозимых машин близко к числу разгоняющихся. Здесь принципиально возможной является отдача в сеть энергии, выделяемой при торможении, и использование ее для разгона других машин. Это может быть осуществлено путем перевода тяговых двигателей в генераторный режим с отдачей выделенной энергии в сеть. Однако, ввиду того что режим замедления до остановки весьма неэффективен применительно к работе генераторов, этот метод позволяет использовать всего несколько процентов кинетической энергии. Торможение до остановки не следует смешивать с торможением при движении под уклон. В последнем случае генераторы работают с большей эффективностью.

Описанный метод для машин с индивидуальным питанием непригоден. Радикальным методом использования кинетической энергии является такой, при котором эта энергия может быть накоплена в аккумуляторе, установленном на самой машине, а затем выделена для использования. Как было отмечено ранее, в настоящее время техника располагает различными видами аккумуляторов энергии. Из них наиболее распространены электрические, тепловые и механические. Для накопления энергии при торможении машины аккумулятор должен обладать специфическими свойствами, которые обусловлены кратковременным и интенсивным характером протекания процесса. Из рассмотрения, по-видимому, следует исключить тепловые аккумуляторы, требующие преобразования механической энергии в тепловую и обратно. Эти процессы, особенно последний, как известно, весьма трудоемки и неэффективны, а также имеют низкий к.п.д.

Электрические (электрохимические) аккумуляторы наиболее распространены в технике. Они обладают высокой удельной энергоемкостью (кислотные порядка 10^5 Дж/кг), способностью сохранять энергию длительное время.

Основным недостатком этих аккумуляторов является их малая удельная мощность как при зарядке, так и при разрядке. Кроме того, для преобразования механической энергии в электрическую и обратно требуется электродвигатель, могущий также играть роль генератора. Однако следует отметить, что электрические аккумуляторы принципиально пригодны для аккумуляции кинетической энергии машин, что отмечено Е.А. Чудачковым.

Наиболее практичными типами аккумуляторов, используемых для указанных целей, являются, по-видимому, аккумуляторы механической энергии – статические и динамические.

Статические аккумуляторы чаще всего представляют собой пружину или иное упругое тело. Процесс перевода кинетической энергии в потенциальную заключается в деформировании упругого тела импульсом силы движущейся массы и фиксации этого тела в деформированном состоянии. Далее, для перевода потенциальной энергии в кинетическую, деформированное тело освобождается, создавая импульс, разгоняющий требуемую массу до скорости, соответствующей затраченной энергии.

Рассмотрим удельную энергоемкость статических и динамических (инерционных) аккумуляторов механической энергии. Для простоты считаем, что при деформировании упругого тела сила возрастает пропорционально деформации и в начальный момент равна нулю.

Небольшие количества кинетической энергии могут быть накоплены в маховике инерционного рекуператора с резиновым упругим звеном. Рекуператор подключается к трансмиссии машины при помощи фрикционной муфты. На первом этапе торможения основная часть энергии аккумулируется в упругом звене в виде потенциальной. Затем, по мере разгона маховика, кинетическая энергия торможения вместе с аккумулированной потенциальной энергией упругого звена накапливается в маховике. Ввиду малой аккумулирующей способности упругого звена такой рекуператор не может применяться при накоплении большого количества механической энергии.

Нужно отметить, что статические аккумуляторы могут накопить большое количество энергии только в том случае, если рабочим телом является газ, так как он обладает малым модулем упругости и высокой деформируемостью (сжимаемостью). Однако при этом имеют место большие потери энергии, вызываемые малым к.п.д. пневмокомпрессоров и пневмодвига-

телей в требуемом режиме работы, а также потерей адиабатического тепла. Это обстоятельство практически исключает возможность применения пневмоаккумуляторов с целью использования кинетической энергии. Из механических аккумуляторов для данной цели более эффективным следует признать инерционный аккумулятор-маховик, накапливающий кинетическую энергию.

Для создания максимальной скорости движения машины при минимальных энергетических затратах необходимо, чтоб энергия, накопленная в маховике, была минимальной. При этом угловая скорость с обеих приведённых маховых масс максимальна. Для остановки машины также практически вполне достаточно, чтоб ее кинетическая энергия не превышала примерно 1 % от суммарной. Момент инерции аккумулятора I_2 в этом случае должен превышать I_1 также примерно в 100 раз. Следовательно, диапазон варьирования момента инерции аккумулятора – порядка 10000. Этим объясняются неудачи применения примитивных конструкций аккумуляторов кинетической энергии с маховиками переменного момента инерции, имевшие место в прошлом. Такие маховики, представляющие собой полые цилиндры, заполняемые жидкостью, сыпучими телами и пр., а также конструкции с раздвижными грузами, могли обеспечить лишь варьирование момента инерции, в тысячи раз меньшее требуемого.

Более реальными представляются конструкции, позволяющие варьирование момента инерции путем изменения передаточного числа привода.

Такая схема инерционного рекуператора была предложена Н.К. Куликовым в 1951 г. Рекуператор Н.К. Куликова представляет собой планетарную коробку передач с маховиком и бесступенчатым вариатором. Этот рекуператор не был осуществлён из-за отсутствия прогрессивной передачи с требуемой характеристикой [6].

Фирмой Кларк разработаны различные варианты рекуперативных тормозов, состоящих из маховиков и планетарных коробок передач.

Автобусный рекуперативный тормоз Гиректа представляет собой четырехскоростную планетарную коробку передач, соединенную солнечной шестерней с двигателем автомобиля, водилом сателлитов – с карданным валом, а венцом – с маховиком, аккумулирующим кинетическую энергию автомобиля совместно с энергией, выделяемой работающим двигателем. При торможении экипажа, связанного трансмиссией с водилом сателлитов, на венец передачи, а следовательно, и на вал маховика действует крутящий момент. Реактивный же момент, который и замедляет автомобиль, действует на вал двигателя. Поэтому двигатель автомобиля не отключается ни при торможении, ни при разгоне.

Рекуперативный тормоз Гиректа целесообразно устанавливать на автомобиль со всеми ведущими осями для привода задних колес. Маховик привода весит 80 кг и вращается с максимальной угловой скоростью до 15000 об/мин. При диаметре маховика 0,57 м окружная его скорость достигает 450 м/с. Форма маховика близка к диску равной прочности. При торможении экипажа маховик разгоняется совместной энергией двигателя и тормозимого автомобиля с 12 до 15 тыс. об/мин. Ускорение при этом достигает 100 об/мин в 1 с. Установленный на автобусе весом 10 т привод Гиректа позволяет производить торможение от 30 до 10 миль в час, а при разгоне, который продолжается около 15 с, он заменяет дополнительный двигатель мощностью 120 л.с. При снижении скорости маховика ниже 12 тыс. об/мин, например при стоянке, оператор может по желанию, непосредственно из кабины соединить маховик с двигателем и разогнать его.

Как уже было отмечено, маховик привода Гиректа ввиду большой скорости вращения помещен в кожух с разреженной атмосферой, для снижения вентиляционных потерь. Воздух из кожуха непрерывно удаляется насосом, питающимся непосредственно от маховика. Благодаря этому разогнанный маховик может вращаться до остановки более недели. После ночной стоянки автомобиля энергии маховика хватает для пуска двигателя. Включение передачи планетарной коробки производится автоматически при помощи электромагнитных муфт.

Следует отметить, что установка рекуперативного тормоза такого типа на автобус позволяет экономить до 50 % топлива при малых расстояниях между остановками.

Фирмой Кларк было также разработано гидромеханическое устройство с маховиком для рекуперативного торможения, называемое Гидректа. Гидректа представляет собой сочетание планетарного привода Гиректа с гидродинамическим трансформатором для повышения плавности и легкости управления. При этом экономические показатели Гидректа несколько ниже, чем Гиректа, что объясняется потерями энергии в гидроприводе.

Маховик привода Гидректа имеет диаметр 0,51 м и весит 64 кг. Его максимальная угловая скорость – 20 000 об/мин. Общее время разгона неподвижного маховика до этих оборотов – 1 мин 40 с.

Как отмечали в дискуссии по поводу приводов Гиректа и Гидректа профессора Висконсинского университета П.С. Майерс и О.Д. Юхара, основным преимуществом экипажей с этими устройствами является весьма интенсивный разгон, обусловленный повышением разгонной мощности при тех же размерах основного двигателя. Например, автомобиль весом около 1200 кг, снабженный двигателем 150 л.с. и устройством Гидректа, позволяет производить разгон с места до 100 км/ч за 4,75 с, а до 145 км/ч – за

11,25 с. Это очень высокие динамические показатели для автомобиля; среднее ускорение его достигало 6 м/с^2 .

Из-за ступенчатого изменения передаточного отношения привода работа рекуператоров кинетической энергии на основе маховиков и планетарных передач не достаточно эффективна. Кинетическая энергия движущейся машины выделяется при ее замедлении, а воспринимается она маховиком при его ускорении. Это вызывает необходимость в соединении трансмиссии машины и маховика бесступенчатой передачей с весьма широким диапазоном интенсивного регулирования передаточного отношения. Кроме того, высокие мощности, протекающие через привод, создают потребность в его высокой удельной мощности и высоком к.п.д. В связи с этим автором были разработаны новые схемы рекуператоров кинетической энергии на основе дискретного ленточного вариатора и маховика. Изменение передаточного отношения дискретного ленточного вариатора основано на изменении диаметров мотков ленты в процессе перематки.

Особенность работы рекуператора заключается в том, что лента в ленточном вариаторе при торможении и разгоне перематывается в разных направлениях. Это обуславливает наличие реверса при применении его на транспортном средстве, движущемся в одном направлении (например, автомобиле). Реверсирование может быть осуществлено различными средствами, как-то коническими шестернями с обгонной муфтой, путем переворота ленточного механизма и др.

При торможении или разгоне необходимо включение сначала обеих кулачковых муфт, а затем фрикционных. После завершения процесса следует выключить вначале фрикционные, а затем кулачковые муфты. Последнее производится автоматически с помощью датчика степени намотки ленты и любой из систем управления автомобиля механической, пневматической, электрической и пр.

Для проверки расчетных данных и работоспособности рекуператора был изготовлен опытный его образец, опробованный как в стендовых условиях, так и на автомобиле УАЗ (автомобиль УАЗ был выбран в качестве экспериментального главным образом благодаря наличию двух ведущих мостов, что облегчило задачу подсоединения рекуператора к трансмиссии).

На стенде с ручным управлением приведенная Масса автомобиля имитировалась дополнительным маховиком, разгоняемым электромотором. Энергия накоплялась в маховике, помещенном в кожух, дискретный вариатор помещался в поворотной каретке.

После стендовых испытаний рекуператор был установлен на экспериментальном автомобиле. Выходной вал рекуператора соединялся с первичным валом раздаточной коробки с помощью глухой муфты. Привод-

ным был передний мост автомобиля, задний мост отключен и карданный Нил снят. Между первичным валом раздаточной коробки и механизмом включения рекуператора находилась упругая муфта. Механизм включения рекуператора – кулачковая муфта с тремя скошенными храповыми зубьями на одной муфте и тремя прямыми зубьями – на другой. Подвижной была муфта с прямыми зубьями. Полумуфта приводилась в движение рычагом с рукояткой. Включался рекуператор вручную. Поворот каретки с ленточным механизмом на 180° в горизонтальной плоскости производился с помощью червячной передачи и вала с рукояткой, выходящей к оператору. Между аккумулятором (маховиком) и вариатором поставлены аналогичные кулачковая и упругая муфты.

Управление рекуператором осуществлялось следующим образом. Автомобилю сообщалась скорость, несколько превышающая 30 км/ч. Затем по сигналу оператора водитель выключал сцепление двигателя и устанавливал рычаг коробки передач в нейтральное положение. Тотчас же после выключения сцепления оператор включал рекуператор с помощью рычага, передвигающего полумуфту первичного вала раздаточной коробки. Автомобиль начинал торможение, сопровождавшееся интенсивным разгоном маховика аккумулятора. В конце торможения, когда щуп автоматического контроля (датчика степени намотки) соприкасался с оголенным участком ленты, срабатывала система автоматического контроля и привод, отключенный от трансмиссии автомобиля, стопорился. Разгон производился аналогично.

Эксперименты, проведенные на автомобиле с рекуперативным тормозом, подтвердили принципиальную возможность применения данной системы рекуперирования кинетической энергии на автомобиле. Несмотря на конструктивные недостатки испытанной системы рекуператора, она доказала удовлетворительные характеристики торможения и разгона. Торможение автомобиля со скорости примерно 30 км/ч, т.е. средней и даже высокой скорости регулярного торможения городских автомобилей, производилось совершенно без участия фрикционных тормозов. Торможение было плавным, без рывков и весьма комфортабельным. Рекуператор в этом случае играл роль замедлителя.

Разгон автомобиля энергией, накопленной при торможении, производился весьма плавно, намного превышая комфортабельность обычного разгона при помощи коробки передач. После разгона автомобиля рекуператором сразу включалась высшая передача. Таким образом, разгон автомобиля осуществлялся без применения низших и промежуточных передач.

Измерение расхода горючего показало, что разгон автомобиля с места до 30 км/час без участия рекуператора требовал 28 см^3 горючего; разгон же

рекуператором и двигателем совместно до той же скорости в тех же условиях требовал всего 16 см^3 горючего – т.е. на каждом разгоне экономилось около 45 % горючего. Эти показатели близки к полученным Р. Кларком на его системе рекуперативного тормоза.

Имеющиеся расчетные и экспериментальные данные позволяют сделать примерный вывод об эффективности применения рекуператора кинетической энергии на городском автобусе.

Рассмотрим характерный цикл движения автомобиля типа ЛАЗ-695. При этом примем среднее расстояние между остановками равным 300 м. Наиболее экономичным в этом случае принят такой цикл движения, при котором автобус разгоняется примерно до 40 км/ч, затем движется накатом и с 30 км/ч начинает торможение. Динамические качества автомобиля позволяют разгон от 0 до 40 км/ч на расстоянии около 150 м. Проведенные эксперименты показывают, что на это уходит в среднем времени 9 с и топлива 188 см^3 . Далее, двигаясь накатом, автобус примерно за 120 м снижает скорость с 40 до 30 км/ч, потратив на это 11 с времени и 6 см^3 топлива при работе двигателя на холостом ходу. Для торможения с 30 км/ч до остановки требуется около 25–30 м пути, 5 с времени. Подсчитав затраты времени и горючего, получаем, что на выполнение описанного цикла расходуется 45 с времени и 200 см^3 горючего. Средняя скорость автомобиля за цикл около 24 км/ч. Эти данные хорошо согласуются с экспериментом.

Рассмотрим теперь предполагаемый цикл движения автомобиля с рекуператором. Ввиду того что вес рекуператора составляет всего около 2 % от веса автомобиля, возрастанием расхода горючего в связи с увеличением сопротивления движению можно пренебречь.

Примем, что торможение производится с максимально допустимой для города скорости – 60 км/ч. Анализ к.п.д. рекуператора на автобусе подобного типа показывает, что после проведения торможения рекуператор в перспективе может разгонять машину до скорости, составляющей около 85 % от величины скорости перед торможением. Поэтому считаем, что автобус разгоняется рекуператором до скорости 50 км/ч.

Исходя из условия комфорта пассажиров и оптимального сцепления колес с дорогой, принимаем путь разгона приблизительно 40–45 м, время разгона – 6,5 с. Далее, на пути около 200 м автобус разгоняется двигателем до 60 км/ч. Данные экспериментов показывают, что на прохождение этого участка пути требуется около $80\text{--}90 \text{ см}^3$ горючего и 14 с времени. Далее следует рекуперативное торможение с 60 км/ч до остановки примерно за 7,5 с на пути около 60 м. Условия стоянки на остановке принимаем те же, что и в предыдущем случае. Так как двигатель заводится самостоятельно при соединении его с трансмиссией разгоняемого автомобиля, работа его

на холостом ходу при торможении и стоянке машины исключается. Подсчет показывает, что при таком цикле расход времени составляет около 33 с, горючего – 80–90 см³. Средняя скорость за цикл – 33 км/ч. Таким образом:

При увеличении средней скорости цикла с 24 до 33 км/ч теоретическая производительность машины может возрасти примерно в 1,4 раза.

Вследствие одновременного увеличения производительности машины и уменьшения расхода горючего затраты горючего на совершение единицы полезной работы сокращаются более чем в 2 раза.

Из-за сокращения продолжительности работы двигателя и работы его преимущественно на оптимальном режиме увеличивается его долговечность.

Вследствие того что пользование обычными фрикционными тормозами предполагается лишь в исключительных случаях (при экстренном или внеплановом торможении), значительно увеличится срок их службы и повысится готовность к действию.

Разгон машины рекуператором без помощи коробки передач уменьшит роль низших передач, что может привести к упрощению трансмиссии автомобиля путем сокращения числа передач в коробке.

Вследствие того что при торможении рекуператором колеса машины кинематически связаны с вращающимся маховиком, их блокировка невозможна даже на самой скользкой дороге. Это свойство рекуперативного торможения повышает устойчивость движения.

Немаловажно и то, что сокращение работы двигателя и расхода горючего значительно снижает выделение вредных выхлопных газов в атмосферу. При этом известно, что выделение вредных газов двигателем при устойчивой его работе значительно меньше, чем при не установившемся режиме – разгоне машины или на холостом ходу. Между тем использование рекуператора устраняет именно последний режим.

В Настоящее время ведутся разработка и испытания рекуператоров для основных типов отечественных городских автомобилей. Общий вид рекуператора для автомобилей типа ЛАЗ-695 с пневматическим управлением. Рекуператор, в демонтированном виде, устанавливается в моторном отсеке автомобиля, справа от двигателя. Он подвешивается на резиновых подушках к измененному правому лонжерону автомобиля и подключается к люку отбора мощности коробки передач или непосредственно к главной передаче карданным валом.

3.4. Пути создания эффективных гиروهодов

Несмотря на многовековую историю маховика, развитие инерционных аккумуляторов до середины XX в. шло чрезвычайно медленно. Повинен в этом был преимущественно низкий уровень техники прошлых веков. Но и сейчас, несмотря на огромные возможности современной техники, совершенство инерционных аккумуляторов оставляет желать большего.

Совершенство инерционного аккумулятора определяется в основном его удельной энергоемкостью и безопасностью, малыми внутренними потерями и удобной характеристикой накопления и выделения энергии.

В настоящее время одним из самых, эффективных инерционных аккумуляторов с монолитным маховиком можно считать устройство Гиректа фирмы Кларк. Определим энергоемкость его маховика.

Окружная скорость маховика достигает 400–450 м/с. Форма – средняя между диском постоянной толщины и равной прочности. При существующих конструкционных материалах нельзя ожидать сколь-нибудь значительного увеличения энергоемкости маховиков. При трехкратном запасе прочности, что необходимо для «монолитных маховиков, предел прочности материала маховика фирмы Кларк достигает 9000 кг/см². Это чрезвычайно высокая прочность для материала с диаметром заготовки свыше 0,5 м. Ясно, что с повышением размеров заготовки из этого же материала прочность ее падает. Между тем энергоемкость маховика фирмы Кларк невелика по сравнению с аккумуляторами иных типов – электрохимические и пневматические аккумуляторы обладают удельной энергоемкостью, которая в 4–10 раз выше.

Внутренние потери в инерционном аккумуляторе фирмы Кларк невелики. Если маховик отечественного шахтного гиروهода полностью гасит свою угловую скорость за 3 часа, маховик фирмы Эрликон – за 12 часов, то маховик фирмы Кларк вращается до остановки около недели. Это достигается прежде всего помещением тела вращения в вакуум. Значительно уменьшено и трение в подшипниках. Средняя потеря энергии вращающимся маховиком фирмы Кларк составляет 0,025 Вт/кг. Данный показатель настолько мал, что его можно считать близким к аналогичному для электрохимических аккумуляторов. Однако и это не предел. Роторы-маховики, подвешенные в магнитном подвесе, имеют потери энергии порядка 1,5–10 кВт/кг при 18 000 об/мин. Хуже всего, пожалуй, обстоит дело с безопасностью быстро вращающихся маховиков. Несмотря на высокий запас прочности, не исключен разрыв маховика. Это может иметь место, например, при аварии транспортного средства с маховиком, случайном превышении угловой скорости маховика и пр. Массивнее осколки, летящие со скоростью около 450 м/с и более, обладают высокой пробивной

способностью и могут нанести большой ущерб. Эта «опасность», связанная с применением маховика, также сдерживает его распространение.

Перейдем к рассмотрению перспективного инерционного аккумулятора. Как уже было отмечено, значительное повышение предела прочности монолитных стальных заготовок для маховиков затруднительно и определяется общим уровнем металлопромышленности. Дальнейшим совершенствованием формы маховика и повышением его окружной скорости без увеличения допустимых напряжений опять-таки невозможно добиться ощутимого увеличения энергоемкости, поскольку у современных маховиков коэффициент рациональности формы очень близок к его предельному значению.

Использование подобных материалов для маховиков (супермаховиков) позволило бы во много раз увеличить их энергоемкость. В этом случае необходимы специальные конструкции маховиков. Маховик, изготовленный из высокопрочной стальной ленты. Лента навита в виде обода и посажена на диск изготовленный из материала с достаточно высоким отношением – и сравнительно низким модулем упругости, например дюралюминия. Между диском и ободом находится упругая прокладка, например из резины или нейлона [1]. При значительных окружных скоростях обода он расширяется в большей степени, чем диск, и может «освободиться». Для предотвращения этого и компенсации полученного зазора и служит упругая прокладка. Витки ленты, кроме последнего, соединены друг

с другом путем склеивания или другим способом, не нарушающим ее прочности, например диффузионной сваркой. Это необходимо для восприятия небольших радиальных напряжений в ободу. Последний виток, имеющий ослабление в виде, например, отверстия, навит свободно, а конец его соединен с мотком вышеупомянутым способом.

При вращении маховика в направлении навивки ленты и превышении допустимой скорости максимальные напряжения испытывает внешний, свободный виток ленты. Разрываясь, он отходит в сторону и под действием центробежной силы прижимается к кожуху маховика, тормозя маховик. Аналогичный результат был достигнут при изготовлении обода маховика (супермаховика) из стекловолокна с эпоксидной связкой. Разрыв такого маховика также безопасен – обод «размочаливается» на тонкие волокна, не способные пробить даже слабый кожух.

Для приведенных выше материалов – ленты, проволоки и высокопрочного волокна из кварца – соответственно удельная электроемкость равна примерно 12000, 24000 и 90000 кГн/кг. Это уже значительно больше, чем в современных и перспективных аккумуляторах других типов. Аналогичные показатели у американских маховиков фирмы Локхид и д-ра Д.В. Рабенхорста.

Для валов с вертикальной осью вращения наиболее удобным и эффективным методом снижения потерь в подшипниках является магнитное подвешивание. В настоящее время магнитное подвешивание используется большей частью в точных приборах.

Первые исследования магнитного подвешивания тел проводились еще Эрншоу и Максвеллом в середине прошлого века, однако ряд вопросов, связанных с магнитным подвешиванием, остался неисследованным по настоящее время. В частности, отсутствуют данные о подвешивании достаточно массивных дисков в поле постоянных магнитов, когда зазоры между ними достаточно малы; мало исследован вопрос о влиянии потерь на вихревые токи, возникающие вследствие нахождения в магнитном поле подвески различных металлических частей. Остается также неисследованным вопрос о применении магнитной подвески с постоянными магнитами для случаев быстрого вращения, что необходимо, например, при подвешивании вращающихся с большой угловой скоростью маховиков инерционных аккумуляторов.

Вследствие того что практически невозможно создание однородного магнитного поля постоянных магнитов, теоретические расчеты вопросов магнитного подвешивания тел не дают удовлетворительных результатов. В связи с этим был исследован процесс вращения дисков (маховиков), подвешенных в магнитном поле на специальных стендах. Диск поддерживается в подвешенном состоянии при помощи кольцеобразных постоянных оксиднобариевых магнитов. Полюса магнитов и зазоры между ними выбраны таким образом, чтобы диск находился в устойчивом равновесии по вертикальной оси. С целью устранения боковых перемещений предусмотрены шарикоподшипники в которых вал диска на скользящей посадке. В процессе испытаний, чтобы избежать заметного влияния вентиляционных потерь, диск разгонялся до скорости, не превышающей 240 об/мин.

Одним из основных факторов эффективного использования инерционных аккумуляторов является рациональный привод от маховика к исполнительному органу, обеспечивающий надлежащую характеристику накопления и выделения Энергии.

Рабочие характеристики обычных маховиков малоприменимы в условиях работы большинства агрегатов и машин.

Наличие инерционных аккумуляторов в приводе машин, за исключением небольшого числа случаев, требует обязательной установки в трансмиссию гибкого звена, например электрических, гидравлических или механических вариаторов либо муфт скольжения. Это значительно снижает эффективность применения инерционных аккумуляторов. Между тем статические аккумуляторы – заводные пружины и преобладают весьма удобной «мягкой» характеристикой накопления и выделения энергии. Однако, ста-

тические аккумуляторы значительно, в сотни раз, менее энергоемки, чем инерционные аккумуляторы того же веса.

Из сказанного можно сделать вывод, что наилучшим образом удовлетворить требованиям, предъявляемым к аккумуляторам механической энергии, может агрегат, по характеристике сходный со статическими аккумуляторами, а по энергоемкости – с инерционными.

Разработана схема аккумулятора центробежной потенциальной энергии, обладающего мягкой характеристикой аккумуляирования и выделения энергии и допускающего регулировку интенсивности протекания процессов на ходу, по удельной энергоемкости близкого к инерционным аккумуляторам [2]. Аккумулятор состоит из вращающегося корпуса, в котором заключены два мотка ленты – внешний моток, прилегающий к цилиндрической части корпуса и внутренний моток, навитый на вал с фиксирующими кассетами. Моток соединен с мотком посредством одной или нескольких ветвей ленты, причем количество их зависит от требуемого крутящего момента на валу и от угловой скорости вращения корпуса. Лента может быть металлической или неметаллической, постоянной или переменной толщины и массы по длине. Последнее обеспечивает необходимый закон изменения крутящего момента на валу. Вал соединяется с корпусом посредством дифференциального механизма с четырьмя степенями подвижности (на чертеже показан механизм с коническими шестернями, однако применимы и механизмы с цилиндрическими шестернями).

Дифференциальный механизм состоит из шестерни, соединяемой с валом посредством муфты сцепления, жесткой или фрикционной; сдвоенной шестерни и сателлитов и, осуществляющих связь между сдвоенной шестерней и шестернями. Водила сателлитов и при необходимости затормаживаются соответственно тормозами и вал может блокироваться с корпусом блокировочной муфтой.

Аккумуляирование энергии осуществляется следующим образом. Количество накопленной энергии будет зависеть только от суммарного угла поворота водила сателлитов. Выделение энергии происходит при вращении водила сателлита в противоположном направлении. Водило сателлита в этом случае соединяется с приемником энергии.

Описанные процессы могут быть осуществлены аналогичным образом при заторможенном водиле сателлита вращением водила сателлита, при этом направления вращений при аккумуляировании и выделении энергии противоположны тем, которые имеют место в первом случае. Это свойство дает возможность как аккумуляировать, так и выделять энергию при любом направлении вращения вала источника или приемника энергии, поочередно вращая водила обоих сателлитов в требуемых направлениях. Кроме того, вращая принудительно водило одного сателлита посторонним источни-

ком энергии, можно изменять интенсивность протекания процессов накопления и выделения энергии.

Накопление и выделение энергии в описанном аккумуляторе происходит следующим образом. При заторможенных водилах обоих сателлитов и корпус вращается вместе с помещенными в него мотками ленты и валом. Для устранения потерь энергии при холостом прокручивании дифференциального механизма вал заблокирован с корпусом при помощи блокировочной муфты, а муфта сцепления, соединяющая механизм с кожухом и валом, выключена.

Для аккумуляирования блокировочная муфта выключается и включается муфта. Затем водило одного из сателлитов растормаживается и приводится в принудительное вращение от источника энергии. Лента при этом перематывается с внешнего мотка на внутренний, преодолевая центробежные силы, стремящиеся перемотать ее в противоположном направлении. Центробежные силы, создаваемые вращающимися витками ленты, зависят от ее ширины и толщины, длины витка и удельного веса материала ленты, а также от угловой скорости вращения витков. Так, например, при четырех витках ленты с весом каждого около 50 г, угловой скорости вращения 628 с^{-1} (6000 об/мин) и расстоянии центра тяжести витка от центра вращения 25 см суммарная центробежная сила достигает 2 г, а крутящий момент на валу при радиусе, равном 10 см, 2000 Н·м. Центробежная потенциальная энергия, накопленная при этом, с перемоткой каждого метра ленты при неизменной центробежной силе равна 20000 Н·м. Если принять ленту изготовленной из стали шириной 10 см и толщиной 0,25 мм, то при тех же остальных параметрах для накопления этой энергии с внешнего мотка на внутренний должно быть переведено около 0,8 кг ленты. Напряжения в ленте при этом не превышают 20000 Н/см^2 , что почти в 10 раз меньше предела прочности ленты. Такой запас прочности дает возможность еще большего повышения энергоемкости аккумулятора.

Процесс выделения энергии происходит аналогично. Лента при этом переходит с внутреннего мотка на внешний.

К.п.д. аккумулятора зависит в основном от потерь энергии на перематывание ленты, потерь в дифференциале и потерь от вращения корпуса, как маховика. К.п.д. описанного дифференциального механизма, определяемый известными методами, примерно равен 0,94-0,96 для цилиндрических пар и 0,9-0,94 для конических. К.п.д. силовых ленточных механизмов, основанных на перемотке ленты, примерно равен 0,97. К.п.д., зависящий от потерь на вращение корпуса как маховика, достаточно велик и для непродолжительных процессов аккумуляирования и выделения энергии может примерно считаться равным единице. Следовательно, ориентировочный к.п.д. описываемого аккумулятора при работе на кратковременных

режимах находится в пределах 0,88–0,94. Для сравнения можно отметить, что пределы к.п.д. спирально-пружинных аккумуляторов 0,6–0,8.

Для многих рабочих процессов машин, как, например пуска в ход, разгона, рекуперативного торможения и других видов не установившегося движения, целесообразно применение маховиков переменного момента инерции. Известны маховики переменного момента инерции, принцип действия которых основан на наполнении пустотелого цилиндра водой, ртутью или другими жидкостями или сыпучими телами. Однако, несмотря на большое количество работ в этой области, работоспособной конструкции еще не создано.

При вращении подобного маховика несущим элементом является сравнительно тонкостенный барабан, основная же масса маховика (жидкое или сыпучее тело) не несет касательных напряжений и прочности не увеличивает. Между тем маховик как аккумулятор кинетической энергии наиболее рационален тогда, когда весь его материал напряжен более или менее равномерно. Поэтому упомянутый маховик обладает весьма малой удельной энергоемкостью. Кроме того, при пуске жидкости во вращающийся барабан в ней возникают турбулентные течения слоев. Ввиду высоких относительных скоростей движения слоев потери кинетической энергии маховика при этом значительны.

Наиболее перспективная область применения маховика переменного момента инерции – аккумулялирование и выделение энергии при не установившихся режимах работы машин, в частности рекуперирование кинетической энергии поступательно движущихся и вращающихся объектов, связанных с неподвижной опорой (т.е. таких, массу которых можно привести к маховой массе на каком-либо валу). Для этой цели разработана конструкция ленточного маховика переменного момента инерции.

Маховик состоит из прочного корпуса, внутри которого помещены два мотка и тяжелой гибкой (например, стальной) ленты. Прочный корпус может быть составлен из не скольких внешних витков ленты, скрепленных между собой аналогично ленточному ободу маховика, полимерным клеем или иным способом. Мотки и намотаны в противоположных направлениях, причем лента составляющая их, связана с корпусом, а также с барабанами и внутренними мотками, на которые она может навиваться в направлении намотки. Мотки намотаны в общем случае произвольным количеством ветвей ленты, однако в целях балансировки желательно их количество свыше одной; на чертеже этих ветвей ленты четыре. Ветви закреплены на корпусе и барабанах симметрично – опять же в целях балансировки.

Барабаны сидят на валу на подшипниках и содержат на свободных концах полумуфты включения. На валу на шлицах посажены другие полумуфты, соединенные с полумуфтами тем или иным известным способом,

например вилкой с рычагом. Одновременно может быть включена только одна муфта. Вал соединен с приведенной маховой массой (трансмиссией транспортного средства, механизмом поворота экскаватора и крана или просто маховиком, подлежащим торможению и разгону).

Лента, из которой навиты мотки, должна быть достаточно упругой, чтобы мотки не теряли устойчивости в неподвижном положении; обычно это условие легко выполняется даже при самой гибкой стальной ленте. При вращении же маховика устойчивость мотка обеспечивается действием центробежных сил. Следует отметить, что благодаря трению между витками ленты только несколько внутренних витков при вращении оказывают давление на последующие (и то лишь в случае, когда внутренний конец ленты освобожден, что бывает редко). Основная же часть ленты при вращении как бы «замоноличена» и является несущей (в смысле прочности на разрыв). Прочный корпус должен, в частности, выдерживать напряжения от действия собственной вращающейся массы. Подобный маховик гораздо прочнее на разрыв (а следовательно, и более энергоемок), чем монолитный маховик. Это в основном объясняется высокой прочностью стальной холодно-катаной ленты (свыше 2000 Н/мм^2).

Устойчивым положением ленты в мотках при вращении является такое, при котором она навита на внешний моток. Любое другое положение ленты в маховике (например, когда лента частично или полностью навита на барабан) является неустойчивым. Переход ленты из неустойчивого положения в устойчивое (с барабана на внешний виток) сопровождается выделением энергии.

Перед включением маховика вся лента находится на внешнем мотке, так как это положение устойчиво и с точки зрения упругости ленты – минимума потенциальной энергии изгиба. Вал, вращается в произвольном направлении. Для торможения маховой массы, связанной с валом, включается полумуфта. Барабан приводится во вращение, и начинается намотка на него ленты. Центробежная сила отбрасывает ленту к периферии, натягивая ее. Крутящий момент на барабан при этом действует противоположно направлению вращения. Реактивный же момент разгоняет внешний моток и связанный с ним корпус. Постепенно угловая скорость маховика превышает угловую скорость тормозимого вала, и начинается перемотка ленты с барабана на внешний моток. Крутящий же момент сохраняет свое направление и продолжает тормозить вал и разгонять маховик. В какой-то момент времени вал останавливается. Это происходит при заведомо завышенных параметрах маховика, при заниженных – перемотка кончается, но вал продолжает вращаться; в частном случае остановка вала совпадает с концом перемотки. Целесообразно, видимо, некоторое завышение энерге-

тических параметров маховика – момента инерции, угловой скорости – по «сравнению с расчетной.

После остановки трансмиссия машины стопорится; может стопориться и непосредственно вал. Лента под действием вращения маховика переходит на внешний моток, после чего полумуфта отключается от полумуфты. Это отключение может производиться и автоматически – посредством кулачковых полумуфт со скошенным «храповым» зубом.

После отключения муфт маховик вращается, накопив в себе кинетическую энергию тормозимой машины. Для разгона машины энергией маховика включается полумуфта. Лента перематывается с внешнего мотка на внутренний и обратно, аналогично предыдущему, но благодаря обратному направлению намотки ленты крутящий момент на барабане разгоняет вал и замедляет вращение маховика. По окончании перемотки ленты муфты отключаются, и машина получает скорость, отличающуюся от скорости перед торможением на величину, зависящую от потерь в трансмиссии машины и ленточном механизме.

Следует отметить, что полной балансировки подобного маховика достичь не удастся. Однако при достаточно точном изготовлении корпуса и применении специальных средств (например, балансировки шарами) можно добиться удовлетворительной уравновешенности.

Быстровращающиеся маховики инерционных аккумуляторов подвержены действию гироскопического эффекта. Этот эффект может играть как положительную роль, способствуя стабилизации положения машины, так и вредную, вызывая дополнительные нагрузки на несущие подшипники и конструкцию в целом. В связи с этим при конструировании инерционных аккумуляторов для движущихся агрегатов на гироскопические воздействия должно быть обращено самое серьезное внимание.

Рассмотрим маховик, быстро вращающийся вокруг оси. Предположим, что вся масса маховика сосредоточена в его ободе на окружности радиуса, на которой она распределена равномерно. Вращение вокруг оси принято называть собственным вращением гироскопа, а скорость этого вращения – угловой скоростью собственного вращения. Вращение вокруг каждой из двух других осей называют прецессией, а скорость этого вращения – угловой скоростью прецессии.

Определим величину момента, необходимого для создания прецессии со скоростью W_p рад/сек. Сначала найдем ускорение какой-либо материальной частицы обода. Произведение массы этой частицы на составляющую ее ускорения, параллельную оси Z , будет равно силе, действующей на эту частицу. Соответствующий момент найдем умножением силы на расстояние частицы от оси Y . И, наконец, чтобы определить общий прецессионный момент, проинтегрируем полученное выражение для элементарного

момента по всей массе обода. Положение частицы d_m может быть установлено при помощи радиуса R , угла собственного вращения φ (производная от φ по времени равна угловой скорости) и угла прецессии Φ (производная от Φ по времени равна угловой скорости прецессии W_p) по следующим уравнениям:

$$\begin{aligned}x &= R \cos \varphi; \\y &= R \sin \varphi \cos \Phi; \\z &= R \sin \varphi \sin \Phi.\end{aligned}$$

Здесь x, y, z – координаты материальной частицы, определяющие ее положение относительно неподвижных в пространстве осей X, Y, Z . Оси маховика повернуты относительно осей X, Y, Z вокруг оси X на угол прецессии Φ .

Колебательное движение оси гироскопа (или его нутация) обусловлено переходом энергии вращательного движения от одной оси кардана подвеса к другой его оси. Оно может существовать неограниченно долго, пока не будет погашено силами трения в подшипниках карданом подвеса или за счет какого-либо другого процесса, способствующего рассеянию энергии. Чтобы амплитуда нутации была минимальной, частота нутации должна быть высокой. Высокая частота нутации наблюдается в тех случаях, когда численное значение кинетического момента H велико по сравнению со значениями моментов инерции подвеса с ротором относительно осей подвеса.

Чтобы определить частоту нутации рассмотрим простой трехстепенный гироскоп. Пользуясь основным законом прецессии, можем записать следующие уравнения.

Для понимания явления нутации может быть полезным следующее объяснение. Приложим относительно оси Y мгновенный момент L_i . Тот момент заставит гироскоп прецессировать вокруг оси X с угловой скоростью W_{pi} , которая будет нарастать от нуля. При этом, вследствие инерции ротора и внутренней рамки карданова подвеса, появится реактивный момент L_2 , действующий в направлении противоположном направлению прецессии. Момент L_0 вызовет прецессию относительно оси Y с нарастающей от нуля скоростью W_{p2} . Из-за инерции рамок подвеса и ротора появится реактивный момент L_3 , который вызовет прецессию относительно оси X со скоростью W_{p3} , противоположной по направлению скорости W_{pi} . В результате всех этих явлений конец оси собственного вращения будет описывать эллипс, а сама эта ось – эллиптический конус. Размеры эллипса зависят от величины моментов инерции, кинетического и приложенного моментов.

При запуске гироскопа явление нутации создает порой немалые затруднения. В начале запуска кинетический момент гироскопа H еще мал вследствие того, что незначительна скорость собственного вращения, а величина момента L_m максимальная. Угол Φ при запуске обычно не равен нулю. Все это обуславливает значительную амплитуду и небольшую частоту возникающих при запуске нутационных колебаний оси собственного вращения. По мере увеличения скорости собственного вращения величина H растет, вследствие чего, повышается частота нутации. Иногда частота нутации достигает значения, равного резонансной частоте конструкции карданова подвеса, возникают механические вибрации, которые могут вывести установку из строя, если это обстоятельство не было учтено при конструировании гироскопа.

Двухстепенный гироскоп может поворачиваться вокруг выходной оси; относительно входной оси он удерживается в заданном положении системой автоматической коррекции. Двухстепенный гироскоп вместе с платформой обеспечивает стабилизацию относительно одной оси. Применяв два или три двухстепенных гироскопа, можно осуществить стабилизацию платформы относительно двух или трех взаимно перпендикулярных осей.

Рассмотрим, как стабилизируется платформа. Стабилизация относительно осей внутренней и наружной рамок осуществляется гироскопами, у которых ось вращения рамки (ось прецессии) перпендикулярна к плоскости платформы, и сервомоторами внутренней и наружной рамок. Платформа изображена в положении, когда ось собственного вращения левого гироскопа параллельна оси внутренней рамки, а правого – оси наружной рамки.

Предположим, что по оси наружной рамки действует возмущающий момент. Согласно закону прецессии он не сможет повернуть платформу, а вызовет прецессию левого гироскопа относительно платформы; правый гироскоп не прореагирует на этот момент. Прецессируя, гироскоп будет отклоняться от своего нормального положения, вследствие чего его датчик угла начнет выдавать сигнал. Этот сигнал через преобразователь координат (о нем будет сказано ниже) и усилитель подается на сервомотор наружной рамки, который начинает прикладывать к ней момент, противоположный возмущающему моменту и все возрастающий по мере возрастания угла прецессии. Когда момент сервомотора уравнивает возмущающий момент, прецессия прекратится. В таком состоянии система будет оставаться до тех пор, пока действует возмущающий момент. Важно, чтобы указанное равновесие наступало при достаточно малом угле отклонения гироскопа от его нормального положения.

Таким образом, возмущающий момент вызывает лишь прецессию гироскопа и не вызывает движения самой платформы. Однако следует заметить, что в наших рассуждениях мы не учитывали нутацию. В действительности же при приложении к платформе внешнего момента одновременно с прецессией возникают и нутационные колебания относительно осей подвеса. Амплитуда и частота этих колебаний определяются кинетическим моментом гироскопа, моментами инерции платформы со всеми ее элементами относительно осей подвеса и динамическими параметрами системы стабилизации. При этом амплитуда колебаний зависит еще и от величины приложенного внешнего момента. Если указанные параметры выбраны правильно, а в случае необходимости приняты еще и некоторые специальные меры, то нутационные колебания платформы будут практически неощутимы. С исчезновением внешнего момента под действием момента сервомотора гироскоп вернется в нормальное положение, при котором сигнал датчика угла, а следовательно, и момент сервомотора обратятся в нуль. Таким образом, платформа стабилизируется путем компенсации возмущающего момента моментом сервомотора. В течение времени, когда момент сервомотора меньше возмущающего момента, избыток последнего компенсируется гироскопическим моментом, развиваемым прецессирующим гироскопом.

Если возмущающий момент будет действовать по оси внутренней рамки, то он вызовет прецессию правого гироскопа, который в этом случае аналогично предыдущему приведет в действие сервомотор внутренней рамки. Значит, при положении платформы, левый гироскоп должен управлять сервомотором наружной рамки, а правый – сервомотором внутренней рамки.

Повернем корпус платформы в азимуте на некоторый угол, не кратный 90° . Теперь оси собственного вращения указанных гироскопов уже не будут параллельны осям внутренней и наружной рамок. Поэтому возмущающий момент, действующий по любой из этих осей, будет вызывать прецессию сразу обоих гироскопов. И, следовательно, если сохранить прежнюю схему управления, то будут включены оба сервомотора, в то время как должен работать только тот, по оси которого действует возмущающий момент. В этом случае требуется определить, по какой оси действует возмущающий момент, на какой сервомотор подать управляющий сигнал и каким он должен быть по величине и знаку. Если же возмущающие моменты действуют одновременно по обеим осям, то необходимо установить, каким должен быть управляющий сигнал для каждого сервомотора. Автоматическое решение этого вопроса обеспечивается так называемым

мым преобразователем координат, который представляет собой поворотный трансформатор, используемый в качестве фазовращателя.

Прецессию левого и правого гироскопов вызывают только моменты, направленные по их осям, которые перпендикулярны друг другу и связаны с платформой. Поэтому прецессия гироскопов, а следовательно, и сигналы их датчиков угла характеризуют моменты, действующие на платформу по этим двум связанным в ней взаимно перпендикулярным осям. Преобразователь координат воспринимает азимутальное положение платформы относительно корпуса прибора и обеспечивает преобразование указанных моментов к осям внутренней и наружной рамок для любого азимутального положения платформы относительно корпуса прибора путем соответствующего преобразования сигналов датчиков угла гироскопов.

Преобразователь координат расположен на внутренней рамке справа от сервомотора. Его статор жестко связан с внутренней рамкой, а ротор получает вращение от платформы через пару шестерен при ее поворотах относительно внутренней рамки.

Стабилизация платформы относительно азимутальной оси осуществляется третьим гироскопом и сервомотором платформы, установленным на внутренней рамке. Входная ось данного гироскопа всегда параллельна азимутальной оси платформы, поэтому он реагирует только на моменты, действующие на платформу относительно ее азимутальной оси.

Рассмотренный способ стабилизации называется силовой гироскопической стабилизацией. Стабилизирующий момент, создаваемый гироскопом, представляет собой гироскопический момент, возникающий при прецессии гироскопа и направленный перпендикулярно к осям прецессии и собственного вращения. Он равен по величине и противоположен по направлению внешнему моменту, действующему на платформу и вызывающему прецессию гироскопа. Гироскопический момент, а следовательно, и стабилизирующее действие на платформу непосредственно самого гироскопа существует только до тех пор, пока существует прецессия. Когда момент сервомотора становится равным по величине возмущающему моменту, прецессия прекращается. С этого момента времени стабилизация платформы будет осуществляться только сервомотором.

Стабилизирующие свойства инерционных аккумуляторов используются в так называемых однорельсовых экипажах. Равновесие этих экипажей поддерживается помещенным в них стабилизирующим гироскопическим устройством [6]. Это свойство гироскопов впервые было применено для стабилизации двухколесного экипажа.

В настоящее время разработан ряд конструкций двухколесных автомобилей с гироскопической стабилизацией. Двухколесные автомобили обладают целым рядом преимуществ по сравнению с четырехколесными.

Как уже было отмечено, гироскопический эффект играет и отрицательную роль, создавая дополнительные нагрузки на несущие элементы конструкции, могущие вызвать их разрушение. Между тем помимо специальных инерционных аккумуляторов энергии на всех транспортных средствах, в том числе и на автомобилях, обязательно имеются вращающиеся маховые массы – детали двигателя, турбины, маховики, колеса и пр. При угловых перемещениях движущейся машины, вследствие гироскопического эффекта, на опоры этих деталей действуют дополнительные усилия, достигающие иногда весьма больших значений.

Измерение величин гироскопических усилий и исследование их влияния на опоры подшипников могут дать материал как для их прочностного расчета, так и для определения влияния гироскопического момента на устойчивость движения той или иной машины. Подобные исследования широко проводятся на водном и воздушном транспорте, где скорости угловых перемещений особенно велики. Для рельсовых шахтных локомотивов подобные исследования были проведены М.И. Щербаковым. Согласно его данным, основным фактором, влияющим на величину гироскопических нагрузок, являются поперечные угловые перемещения экипажа. Амплитуда прецессионных колебаний в этом случае превышает соответствующую, вызываемую продольными колебаниями экипажа, в 3–4 раза. Исследования угловых скоростей перемещения для автомобилей были проведены фирмой Кларк в Англии с помощью специального прибора, разработанного М. Плинтон. Прибор этот состоит из гироскопа, подвешенного в раме с вертикальной осью вращения и прецессирующего под действием колебаний экипажа. Движения прецессии передаются на самописец, записывающий отклонения оси гироскопа на двух лентах, движущихся во взаимно перпендикулярных направлениях.

Полученные данные при исследовании угловой скорости колебаний автомобиля, движущегося со скоростью 40 км/ч, позволили установить, что максимальные поперечные колебания экипажа происходили с угловой скоростью около $8,8 \cdot 10^{-2}$ рад/с. При этом максимальная скорость совместных (продольных и поперечных) колебаний составляла около $8,8 \cdot 10^{-2}$ рад/с. Таким образом, по этим данным можно судить о том, что продольные колебания (галопирование) экипажа совершались с меньшей угловой скоростью. Угловые скорости поворота продольной оси экипажа не исследовались.

К.п.д. инерционных аккумуляторов, как и других механизмов, представляет собой отношение полезно затраченной энергии к суммарной энергии, выделенной за время, в течение которого они находились во включенном состоянии:

$$\eta = \frac{\sum E_{\text{пл}}}{E_0} = \frac{E_0 - \sum E_{\text{пот}}}{E_0} = 1 - \frac{\sum E_{\text{пот}}}{E_0},$$

где $E_{\text{пл}}$ – энергия, затраченная на полезную работу;

$E_{\text{пот}}$ – энергия, затраченная на преодоление сопротивлений вращению;

E_0 – суммарная энергия, выделенная за время работы.

Энергия, необходимая для совершения полезной работы, может быть определена исходя из мощности потребителя и производительности работы. При проектировании инерционного аккумулятора эти параметры должны быть заданы как исходные. Энергия же, затраченная на преодоление сопротивлений вращению, должна быть определена исходя из условий работы инерционного аккумулятора – скорости вращения маховика, среды вращения, веса маховика и др.

Потери энергии в инерционном аккумуляторе складываются в основном из потерь на аэродинамические сопротивления (вентиляционные потери) и на трение в подшипниковых узлах. В различных конструкциях инерционных аккумуляторов величина этих потерь различна. Например, в конструкциях, содержащих быстровращающиеся маховики, помещенные в воздушную среду, величина вентиляционных потерь составляет до 90 % суммарных, а в конструкциях с вращением маховика в вакууме подавляющая часть потерь приходится на подшипниковые узлы. В инерционных аккумуляторах с небольшими вентиляционными потерями (медленновращающиеся маховики в воздушной среде или быстровращающиеся маховики, помещенные в водородную или гелиевую среду) эти два вида потерь примерно равнозначны.

Для перспективных конструкций уменьшение вентиляционных потерь дает более ощутимый эффект, чем снижение потерь в подшипниковых узлах, так как по абсолютной величине первые больше и снижение их достигается более простыми путями. Однако в инерционных аккумуляторах с вакуумной камерой вращения (типа Гиректа) повышение к. п. д. может достигаться только путем снижения потерь в подшипниках.

Вопросу исследования аэродинамических потерь при вращении маховиков в газовой среде посвящено большое количество работ как отечественных, так и зарубежных ученых. В этих работах газовая среда приближенно рассматривается как несжимаемая маловязкая жидкость [1].

Согласно экспериментальным данным мощность, затрачиваемая на вентиляционные потери при вращении диска, определяется выражением

$$N = An^{2,9},$$

где A – коэффициент, зависящий от конструкции диска;

n – число оборотов диска в минуту. Было также установлено, что эта мощность изменяется пропорционально (т.е. по линейному закону) плотности окружающей среды.

Опыты А. Стодолы проводились с гладким диском диаметром около 0,5 м при окружных скоростях менее 100 м/с и с большими зазорами между диском и кожухом.

В настоящее время техника располагает значительным количеством типов аккумуляторов энергии, из которых наиболее распространены электрические и механические (статические и динамические). Кроме этих аккумуляторов энергии в качестве накопителей энергии могут использоваться различные тепловые аккумуляторы – нагретые тела, а также вещества, выделяющие тепло при реакциях. Электрическую энергию можно также накапливать в электростатических аккумуляторах – конденсаторах и электродинамических – индукционных катушках. Необходимо заметить, что последние могут накопить значительное количество энергии и сохранять ее длительный срок в условиях сверхпроводимости.

Ввиду того что наибольший интерес для современной техники представляют первые два вида аккумуляторов, они и будут рассмотрены в сравнении с наиболее распространенными автономными источниками энергии – двигателями внутреннего сгорания (ДВС).

Выше была показана неприменимость пружинных статических аккумуляторов для накопления значительных количеств энергии. Следует отметить, что статические аккумуляторы могут накопить большое количество энергии только в том случае, если рабочим телом является газ, так как он обладает малым модулем упругости и высокой сжимаемостью.

Обычно пневматические аккумуляторы энергии представляют собой баллоны со сжатым газом (воздухом), снабженные соответствующим двигателем (цилиндр с поршнем, диафрагма, турбина и пр.). Наибольшая работа может быть получена от сжатого газа при его адиабатическом расширении [5].

Как можно видеть, электрохимические аккумуляторы обладают преимуществами перед пневматическими в отношении удельной энергоемкости. Помимо этого низкий к.п.д. пневмокомпрессоров и пневмодвигателей, а также потери адиабатического тепла (около 40 % энергии) делают пневматические, аккумуляторы весьма неэкономичными.

Применяются пневмоаккумуляторы чаще всего для стартовых устройств на объектах, где необходима высокая надежность (самолеты, танки и др.), а также на взрывобезопасном транспорте (воздуховозы).

Рассмотрим сравнительную эффективность инерционных и электрохимических аккумуляторов, а также двигателей внутреннего сгорания. В качестве критерия эффективности принята удельная мощность (мощность, отнесенная к массе установки). Это обосновано тем, что начальная стоимость и стоимость эксплуатации инерционных аккумуляторов значительно ниже соответствующих показателей у установок с ДВС и аккумуляторных установок равной мощности. Масса же является нередко решающим фактором при выборе той или иной энергетической установки. Вследствие этого эффективность инерционных аккумуляторов по удельной мощности может в большинстве случаев быть показателем их абсолютной эффективности.

В качестве сравниваемых взяты как самостоятельные энергетические установки – карбюраторные и дизельные ДВС, так и аккумуляторные установки с электродвигателями, постоянного тока (предполагается использование энергий в виде механической), а также некоторые другие виды энергетических источников. С «целью упрощения введено допущение, согласно которому в качестве расчетных масс установок приняты следующие значения:

- для установок с ДВС – сухая масса двигателя без коробки передач, сцепления, радиаторов, баков с горючим, аккумуляторных батарей, пусковых двигателей и других вспомогательных устройств;

- для электрохимических аккумуляторных установок – масса аккумуляторов и электродвигателя;

- для инерционного аккумулятора – масса маховика. Это допущение обосновано тем, что: а) в качестве привода к исполнительному органу могут быть использованы идентичные трансмиссии с близкими друг другу массами; б) все три установки содержат вспомогательные детали, служащие для крепежа, защиты, охлаждения и других целей, точные массы которых могут быть определены при анализе конкретной конструкции, поэтому эти массы у всех установок принимаются приближенно равными.

Ввиду того что к.п.д. трансмиссий всех рассматриваемых установок может быть принят равным и внутренние потери мощности как в инерционных, так и в электрохимических аккумуляторах за время цикла весьма невелики по сравнению с рабочей мощностью, эти факторы при анализе не учитывались.

Следует отметить, что при использовании энергии в виде механической наряду с весом электрических и пневмоаккумуляторов следует учитывать вес соответствующих электро- и пневмодвигателей. На графике

приведены сравнительные весовые данные энергетических установок мощностью 60 л.с. для различной продолжительности работы.

Из приведенного видно, что уже созданные, а тем более перспективные конструкции вполне могут конкурировать с лучшими электрохимическими аккумуляторами с двигателем. Аналогичный вывод можно сделать исходя из сравнительного анализа аккумуляторов энергии, проведенного доктором Д. В. Рабенхорстом (США). Диаграмма удельной энергоемкости различных аккумуляторов (причем здесь даже не учитывается вес электродвигателя!), составленная на основе данных Д.В. Рабенхорста, убедительно свидетельствует о перспективности инерционных аккумуляторов – супермаховиков.

Эффективность инерционных аккумуляторов на транспорте повышает их способность рекуперировать кинетическую энергию при торможении с внутренними потерями не более 5–10 %. Известно, что для некоторых видов транспорта кинетическая энергия составляет значительную часть энергетического баланса. Системы же с электрическими аккумуляторами практически не обеспечивают рекуперации этой энергии (за исключением случаев движения на затяжных спусках). Следовательно, энергоемкость систем с механическими аккумуляторами нужно увеличить на поправочный коэффициент, примерно равный для трамваев и аналогичных рельсовых машин 4; других городских автомобилей – 1,25–1,5. С учетом этого энергетические показатели даже ленточного маховика, соизмеримы с показателями перспективных электроаккумуляторов.

В литературе по электромобилям отмечается, что сравнительно длительный срок зарядки электроаккумуляторов, по-видимому, будет сохранен и в будущем. Инерционные аккумуляторы в этом смысле имеют существенное преимущество, так как срок их зарядки (раскрутки маховика) не лимитирован. Кроме того, электромобиль нельзя считать безвредным в отношении газовой выделений, и в будущем это может вызвать возникновение своих проблем [6].

На основании изложенного можно сделать вывод, что для современного аккумуляторного автомобиля с циклическим режимом работы, с возможностью подзарядки примерно через расстояние до 100 км целесообразно применение инерционной аккумулялирующей системы; при большой дальности пробега можно будет применять основную электрическую систему, или ДВС, а для повышения динамичности автомобиля и рекуперирования энергии торможения – дополнительную инерционную.

Вопрос создания и внедрения электромобиля может быть снят с повестки дня при появлении нового, до настоящего времени неизвестного, источника энергии, не выделяющего вредных газов и имеющего приемлемые технико-экономические показатели. Анализ показывает, что по крайней

мере на городском общественном транспорте будущего инерционная аккумуляторная система может стать этим источником энергии.

Сейчас ученые работают над усовершенствованием восьми типов аккумуляторных батарей с различными материалами электродов и электролита. Каждый тип имеет свои слабые и сильные стороны. Например, традиционные свинцово-кислотные батареи обладают лучшей способностью быстро отдавать электричество при интенсивном разряде, но запасают относительно мало энергии. Также очень важен срок жизни батарей. Ресурс в 500 циклов означает, что примерно через 3 года и 50000 км пробега дорогостоящие аккумуляторы придется менять. Сейчас GM, Toyota, Ford делают ставку на никельметаллгидридные батареи (Panasonic, QM Ovonic), Nissan и другие японские фирмы — на литий-ионные (Sony, Varta). Перспективным представляется комбинированное использование разных типов батарей «в одной упряжке» — одни работают при быстрых разрядах, другие обеспечивают большой запас энергии.

Ведутся работы над конденсаторами и маховиками. Так называемые ультраконденсаторы могут существенно улучшить способность бортовой энергосистемы воспринимать кратковременные пиковые нагрузки. А современные маховики, представляющие собой роторы из композитных материалов, вращающиеся со скоростью до 36000 об/мин в вакуумированном корпусе на магнитных подвесах, могут запасать энергию, которой хватит для 400–600 км пробега. И при этом срок службы десятки лет и масса 60–200 кг.

4. ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРО И ГИРОПРИВОДОВ НА ПОГРУЗЧИКАХ

Высокие темпы развития отраслей экономики, огромный рост грузооборота, непрерывное развитие техники основного производства и задачи повышения производительности труда определили необходимость совершенствования средств и методов перемещения и складирования грузов на базе комплексной механизации и ликвидации тяжелого ручного труда на этих работах.

Большое место в комплексной механизации подъемно-транспортных операций принадлежит автопогрузчикам, которые заменяют частично или полностью ручной труд грузчика, резко повышают производительность труда и значительно снижают трудовые и материальные затраты на перемещение грузов.

Автопогрузчик с набором сменных грузозахватных приспособлений является универсальным средством механизации подъемно-транспортных работ, во многих областях народного хозяйства: в промышленности, на транспорте, в том числе внутризаводском и на складских работах. По сравнению с другими подъемно-транспортными средствами автопогрузчики более компактны, имеют меньший вес и более высокие эксплуатационные показатели.

Автопогрузчик представляет собой подъемно-транспортную машину, выполняющую операции захвата, вертикального и горизонтального перемещения груза и укладки его в штабель или на транспортную машину.

При хорошей организации работ, правильном использовании автопогрузчика и оборудовании его соответствующими грузозахватными приспособлениями почти все операции с различным грузом могут выполняться автопогрузчиком без участия рабочего; в тех случаях, когда участие рабочего необходимо, это не связано с большим физическим напряжением.

Использование автопогрузчиков в отраслях экономики дает возможность:

- механизировать подъемно-транспортные операции, освободить большое число грузчиков от тяжелого физического труда и перевести их на более квалифицированные работы;
- ускорить погрузку, выгрузку, перемещение и штабелирование различных видов грузов;
- значительно снизить стоимость погрузочно-разгрузочных, транспортных и складских работ;
- сократить в несколько раз простои автомобильного транспорта и уменьшить простои железнодорожных вагонов под погрузкой и выгрузкой, особенно тяжеловесных грузов;

- увеличить эффективность использования объема хранилищ и складов за счет увеличения высоты штабелирования;
- создать условия для лучшей сохранности груза и уменьшить потери от порчи его при выполнении различных погрузочно-разгрузочных и подъемно-транспортных операций;
- улучшить условия хранения грузов путем применения наиболее рационального способа укладки их в штабель;
- повысить безопасность выполнения операции погрузки, выгрузки и штабелирования грузов большого веса.

4.1. Классификация погрузчиков

Погрузчиками называют подъемно-транспортные машины, применяемые для захвата свободно лежащих штучных или для зачерпывания насыпных грузов, подъема и перемещения их со склада в транспортные средства или из последних на склад. По виду перегружаемых грузов их можно разделить на погрузчики для штучных и погрузчики для насыпных грузов. Главным классификационным признаком является вид основного захватного погрузочного органа, конструкция которого зависит от способа захвата насыпного груза: нижнего, бокового или верхнего.

Способ нижнего захвата (рис. 4.1,а) характеризуется горизонтальным внедрением рабочего органа в штабель с последующим отрывом части насыпного груза при движении рабочего органа вверх. Его применяют в погрузчиках для зачерпывания насыпного груза из высоких штабелей.

Способ бокового захвата (рис. 4.1,б) характеризуется подгребанием насыпного груза путем кругообразного движения рабочего органа. Его применяют в погрузчиках для зачерпывания малоабразивных грузов из невысоких штабелей и уборки снега из валиков.

Способ верхнего захвата (рисунок 4.1,в) характеризуется движением рабочего органа сверху вниз для отрыва от штабеля части насыпного груза. Этот способ используют в погрузчиках для подборки насыпного груза из очень мелких штабелей (например, с полотна строящейся автомобильной дороги, из куч и т.п.).

У погрузчиков для перегрузки штучных грузов в качестве захватного рабочего органа применяют вилы 1 (рис. 4.2, а) из двух: толстых и широких полос, согнутых под прямым углом. Поэтому такие погрузчики называют вилочными. Штучный груз, подхваченный и поднятый на вилах погрузчика, транспортируется к месту укладки.

Для зачерпывания насыпных грузов способом нижнего захвата применяют одно- и многоковшовые погрузчики. У одноковшовых погрузчиков черпающим органом является ковш 2 (рис. 4.2, б).

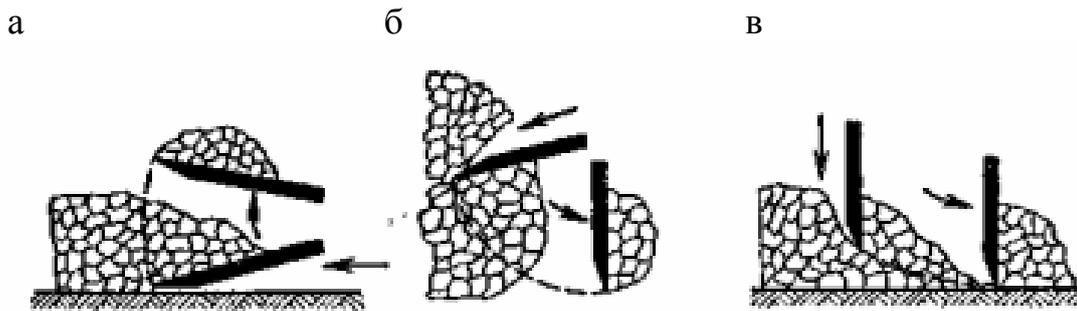


Рис. 4.1. Способы захвата насыпного груза из штабеля рабочими органами погрузчиков:
 а – нижний захват; б – боковой захват; в – верхний захват

Шарнирно подвешенный на подъемной стреле. С движением всего погрузчика в сторону штабеля ковш заполняют насыпным грузом, поднимают и с передвижением всего погрузчика транспортируют к месту разгрузки. У многоковшовых погрузчиков черпающими органами являются ковши цепного элеватора 3 (рис. 4.2,в) и ковши, размещенные на вращающейся около трубчатой стрелы трубе 4 (рисунок 4.2,г) или на вращающемся колесе 5 (рис. 4.2,д). Последние два погрузчика называют роторными погрузчиками. У многоковшовых и роторных погрузчиков ковши с насыпным грузом поднимаются и разгружаются на ленточный конвейер, с помощью которого прямо или через другой конвейер груз подается в транспортные средства.

Для зачерпывания насыпного груза способом верхнего захвата применяют скребковые погрузчики, у которых рабочим органом является короткий скребковый конвейер 6 (рис. 4.2,е). Насыпной груз нагребается скребками на ленточный конвейер для загрузки автомобилей-самосвалов.

По способу бокового захвата различают погрузчики с парными нагребными лапами 7 (рис. 4.2,ж) или рифлеными дисками. 11 (рис. 4.2,з). Погрузчики с тем или другим рабочим органом в принципе могут иметь одинаковое самоходное шасси на гусеничном или колесном ходу.

Рычажный механизм подгребающих лап 7 (см. рис.4.2, ж) является частью механизма четырехзвенника. Каждая лапа примерно в середине имеет шарнир, вертикальная ось которого эксцентрично расположена на вращающемся диске 8. Лапы совершают качательные движения в плоскости наклонной приемной плиты 9, называемой лопатой. С движением погрузчика в сторону штабеля лопата врезается в основание штабеля, нагребные лапы отрывают часть насыпного груза из штабеля, перемещают ее по верху лопаты на скребковый конвейер 10 для подачи груза в транспортные средства.

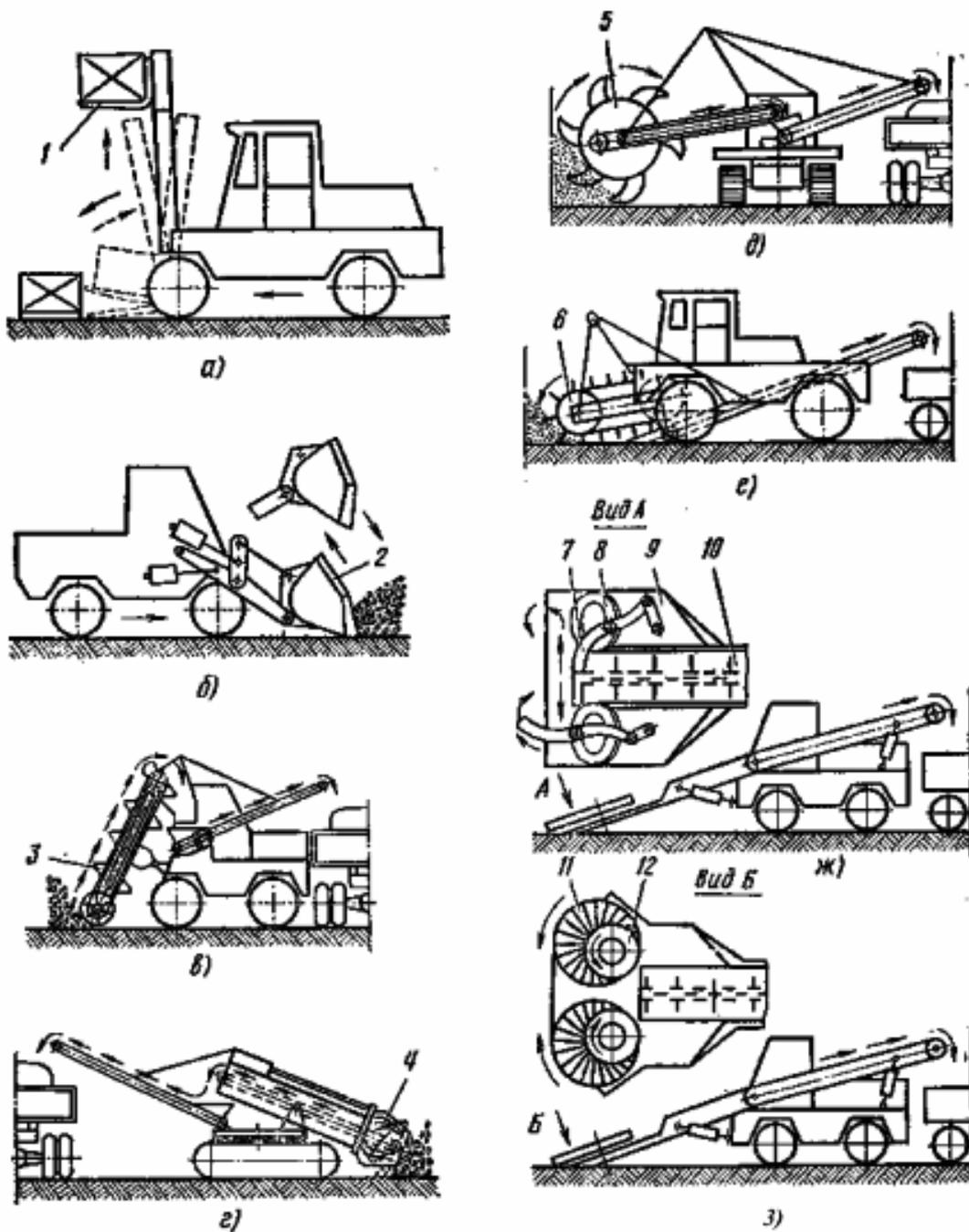


Рис. 4.2. Конструктивные схемы погрузчиков:

а – вилочного; б – одноковшового; в – многоковшового; г, д – роторных; е – скребкового; ж – с нагребными лапами; з – с подгребными дисками

В механизме нагребания с рифлеными дисками 11 (рис. 4.2, з) каждый из них эксцентрично посажен относительно оси вращающихся дисков 12. При вращении последних в разные стороны, как показано стрелками на рис. 4.2,з, рифленые диски нагребают насыпной груз на скребковый конвейер.

По характеру рабочего процесса погрузчики бывают периодического (циклического) (рис. 4.3–4.4, 4.8) и непрерывного действия (рис. 4.5–4.7, 4.9); по виду ходового оборудования – гусеничные или колесные; по виду привода – с двигателем внутреннего сгорания или электрическим.

Вилочными погрузчиками называют самоходные подъемно-транспортные машины с вертикальным телескопическим грузоподъемником и подвешенными на нем грузовыми вилами.

В конструкции вилочных автопогрузчиков сочетаются механизм вертикального гидравлического подъемника с транспортной самоходной машиной на пневматическом ходу или массивных шинах. Поднимают и опускают груз с помощью грузоподъемника. Он может быть установлен спереди или сбоку самоходного шасси; в первом случае вилочные погрузчики называют фронтальными, а во втором – боковыми. Те и другие бывают с приводом от двигателя внутреннего сгорания или электрическими (на постоянном токе с питанием от электробатарей). Первые называют автопогрузчиками, а вторые – электрическими вилочными погрузчиками.

Вилочные погрузчики своими колесами опираются на дорожное покрытие теоретически в трех или четырех точках, поэтому их часто называют трехопорными (трехколесными) или четырехопорными (четыреколесными). Трехопорную ходовую схему применяют у электропогрузчиков грузоподъемностью менее 1 т при небольших скоростях движения, когда при малых проездах у складов или в вагоне разворачиваться погрузчик должен буквально на месте. Для этого третье – заднее колесо делают часто не только управляемым, но и приводным. При больших нагрузках на колеса, сравнительно высоких скоростях движения и повышенных требованиях к устойчивости с поднятым грузом применяют только четырехколесные автопогрузчики.

Автопогрузчики в основном предназначены для выполнения подъемно-транспортных работ с тарно-штучными грузами:

- при загрузке и разгрузке грузовых автомобилей, железнодорожных платформ, морских судов (работа в трюмах), самолетов;
- при работе на грузовых дворах железнодорожных станций,
- а также на территории морских и речных портов, в открытых с применением нейтрализаторов для отработавших газов, устанавливаемых в глушители, и закрытых складах, а также цехах заводов и фабрик.

Кроме того, их используют на монтаже промышленного оборудования и для выполнения вспомогательных работ в строительстве, а в некоторых случаях для погрузки насыпных грузов при работе с ковшем. Дальность транспортирования грузов может достигать до 500 м, а иногда и больше, если это целесообразно. Они могут работать на горизонтальных площадках (с уклоном не более 2°) с твердым дорожным покрытием (асфальтобетон-

ное, цементобетонное и булыжное), а также с естественным уплотненным покрытием (при хорошем отводе поверхностных сточных вод) и температуре окружающего воздуха 40 °С. В пределах рабочей площадки, а также на расстоянии транспортирования груза по условиям безопасности скорость движения с грузом может достигать до 10 км/ч, а при перегонах без груза – до 30–35 км/ч. Возможный преодолеваемый ими уклон не менее 8° на длине до 40 м.

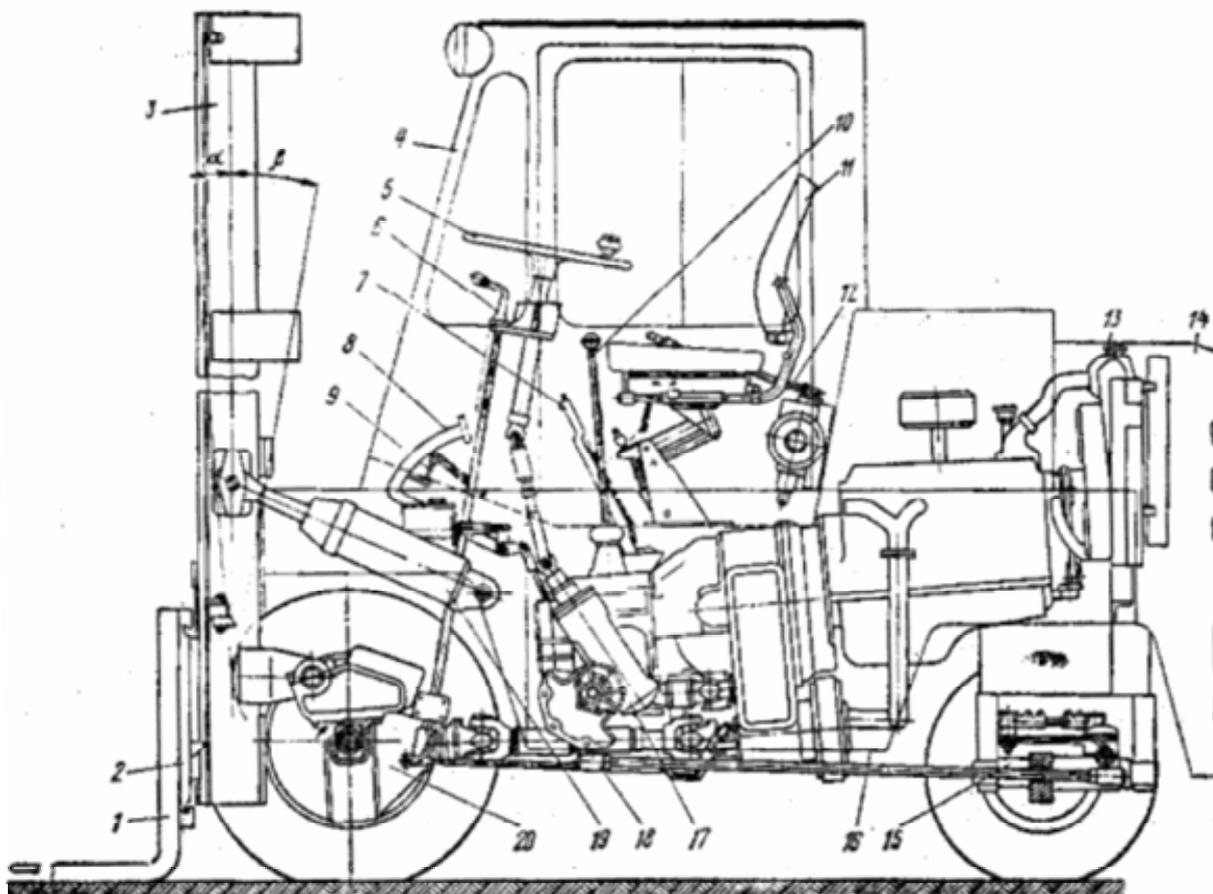


Рис. 4.3. Фронтальный автопогрузчик грузоподъемностью 3,2–5 т:
 1 – грузовые вилы; 2 – подъемная каретка; 3 – грузоподъемник; 4 – кабина;
 5 – рулевое управление; 6 – рычаг управления механизмом обратного хода;
 7 – рычаг стояночного тормоза; 8 – тормозная педаль; 9 – педаль управления
 подачей топлива; 10 – рычаг переключения передач; 11 – сиденье; 12 – рычаг
 гидрораспределителя; 13 – двигатель внутреннего сгорания; 14 – противовес;
 15 – задняя подвеска; 16 – рама; 17 – гидроусилитель рулевого управления;
 18 – продольная рулевая тяга; 19 – гидравлический цилиндр наклона;
 20 – передний ведущий мост

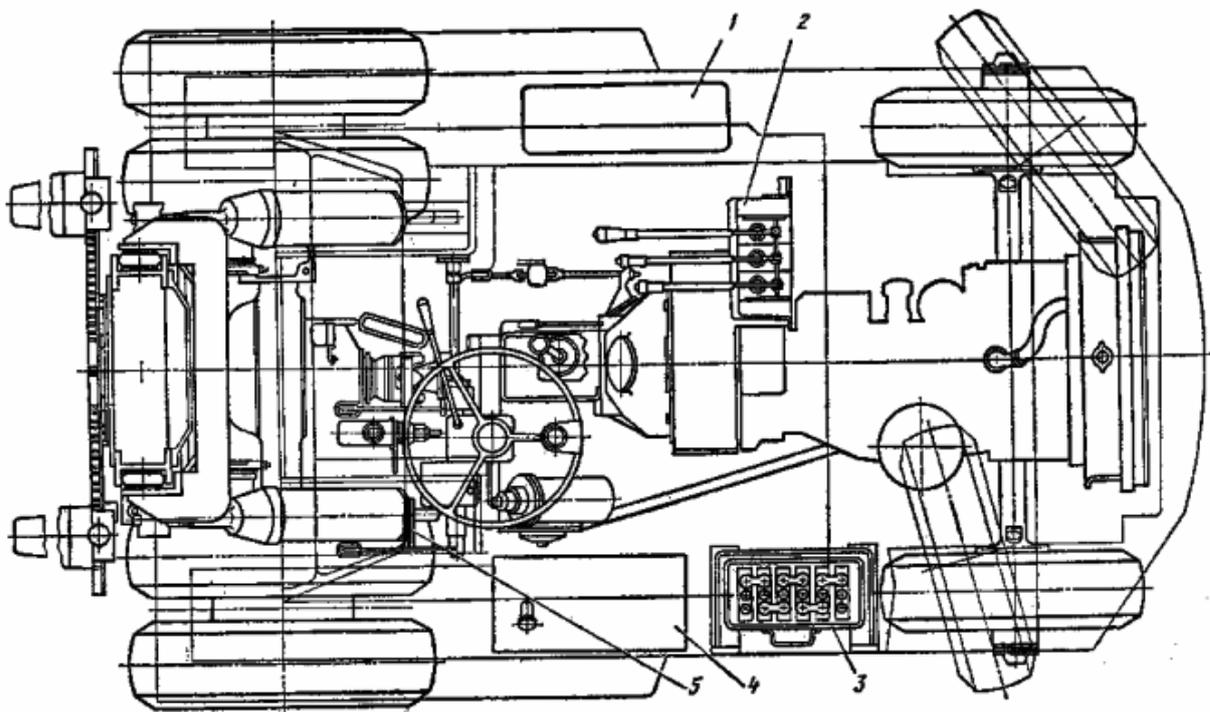


Рис. 4.4. Фронтальный автопогрузчик грузоподъемностью 3,–5 т:
 1 – масляный бак; 2 – гидрораспределитель; 3 – аккумуляторная батарея;
 4 – топливный бак; 5 – педаль выключения сцепления

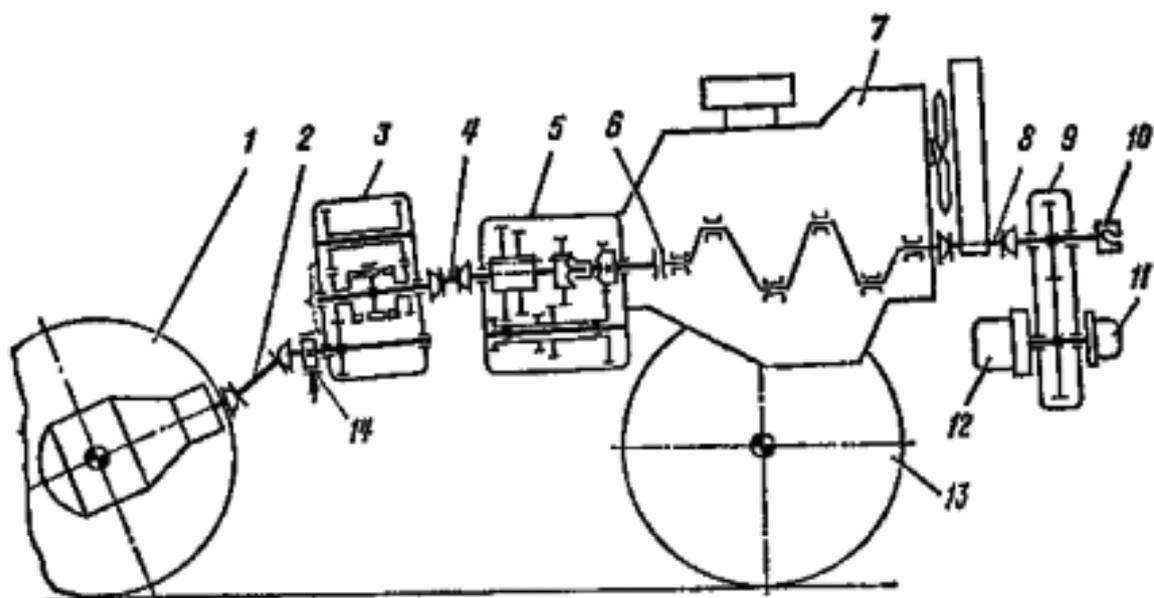


Рис. 4.5. Кинематическая схема автопогрузчика

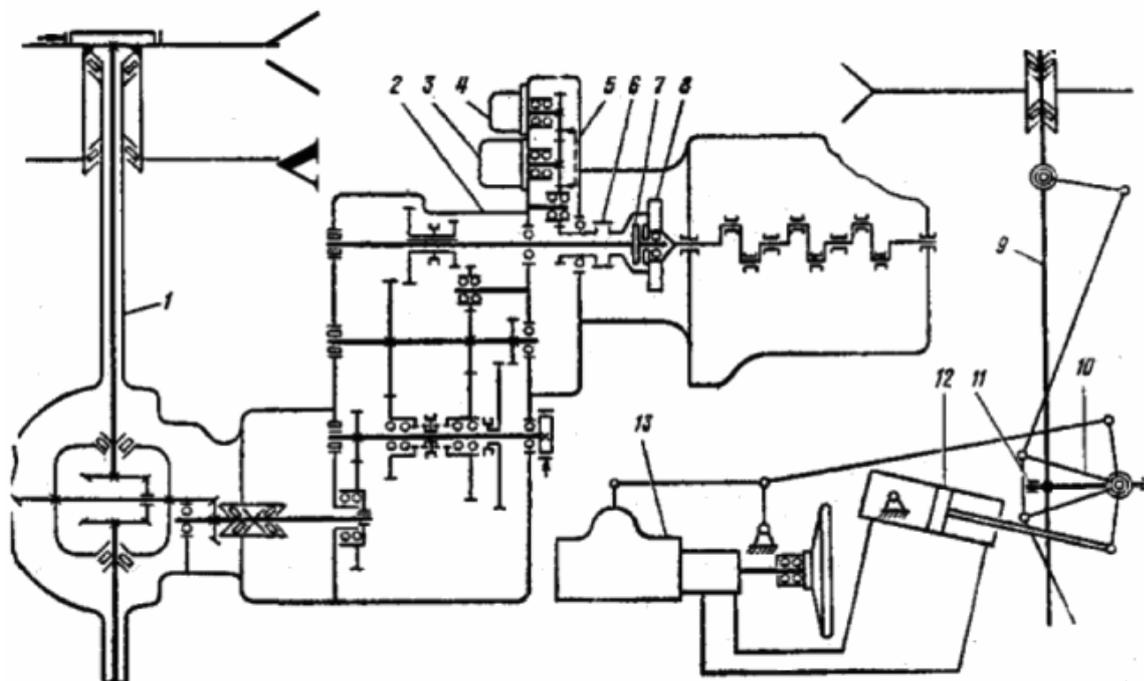


Рис. 4.6. Кинематическая схема автопогрузчика

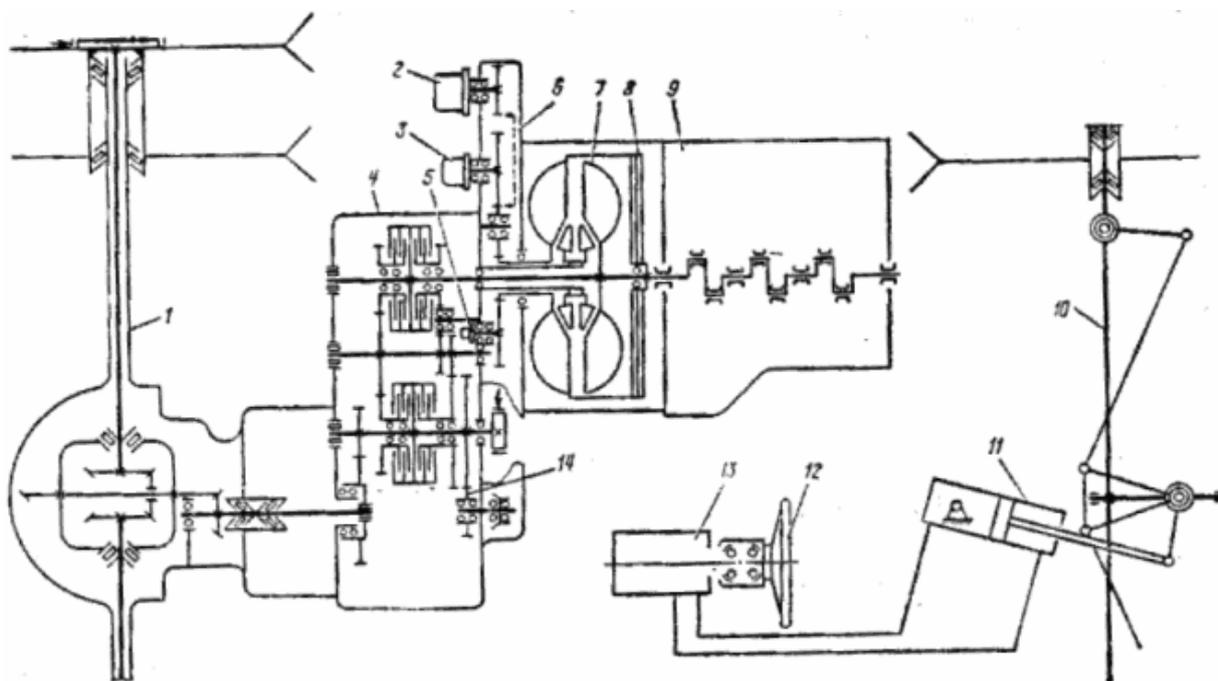


Рис. 4.7. Кинематическая схема малогабаритных автопогрузчиков с гидромеханической трансмиссией

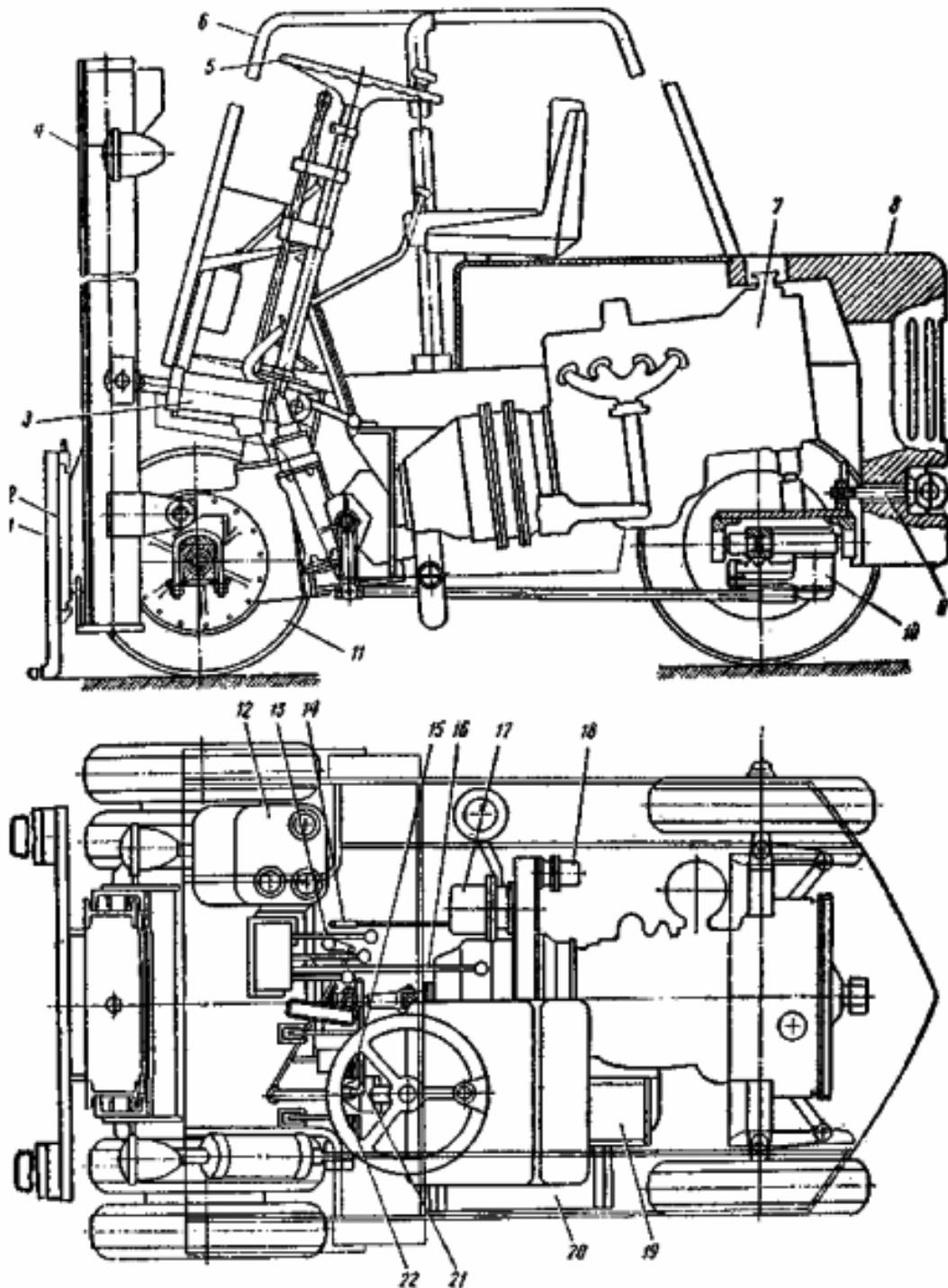


Рис. 4.8. Фронтальный автопогрузчик грузоподъемностью 1 т:
 1 – грузовые вилы; 2 – подъемная каретка; 3 – цилиндры наклона грузоподъемника; 4 – грузоподъемник; 5 – рулевое колесо; 6 – навес; 7 – двигатель;
 8 – противовес; 9 – буксирное устройство; 10 – задняя подвеска;
 11 – передний мост; 12 – масляный бак; 13, 14, 16, 21 – рычаги управления гидрораспределителем, стояночным тормозом, коробкой передач и механизмом обратного хода; 15, 22 – педали сцепления и тормоза; 17, 18 – насосы;
 19 – аккумуляторная батарея; 20 – топливный бак

каменного угля при обслуживании котельных. Форма обычных ковшей для автопогрузчиков довольно многообразна. Учитывая, что работа ковшей у автопогрузчиков примерно такая же, как у одноковшовых погрузчиков, целесообразно воспользоваться для них формой ковшей, хорошо отработанной у последних.

Двухчелюстные ковши изготавливают только для автопогрузчиков грузоподъемностью 3,2 и 5 т соответственно с ковшами грузоподъемностью 2300 и 3500 кг и объемом 1,4 и 1,8 м³.

Стрелу укосину применяют вместо вил на автопогрузчике для погрузочно-разгрузочных работ с разными штучными грузами фасонной конфигурации, которые трудно перегружать с помощью грузовых вилок. Кроме того, ее применяют при ремонтных работах и монтаже разного оборудования.

Клещевой захват применяют на автопогрузчиках грузоподъемностью 3,2 и 5 т для погрузочно-разгрузочных работ и штабелирования лесных материалов – дров и пакетов досок.

Универсальный захват для цилиндрических грузов применяют для транспортирования и штабелирования автопогрузчиков цилиндрически по форме грузов: рулонов бумаги, бочек, машинного оборудования в виде барабанов и т.п. С его помощью изделие защемляется между лапами и может кантоваться в вертикальной плоскости для штабелирования груза вертикально или горизонтально.

Поворотная каретка в вертикальной плоскости или кантователь предназначена для транспортирования металлической стружки, скрапа, битого стекла и других отходов производства, собранных в металлические короба и ящики. Иногда ее применяют также для перевозки жидких грузов с опрокидыванием тары в нужном месте. В этом случае к дну емкостей прикрепляют скобы, в которые входят грузовые вилы.

Штыревой захват предназначен для транспортирования и складирования кольцеобразных по форме грузов. Стержень штыревого захвата выполняют из трубы, которую приваривают к плите и устанавливают на подъемной каретке.

Многоштыревой захват предназначен для захвата и транспортирования в горизонтальном положении бочек, рулонов мешков и т.п. Такой же конструкции применяют многоштыревой захват для группового транспортирования и укладки в штабель коротки трубчатых изделий: керамических, бетонных и асбоцементных труб и т.п. В отверстия их просовывают штыри.

Специализированные захваты для бочек применяют для транспортирования и штабелирования их в горизонтальном или вертикальном положениях. Бочки зажимают между лапами захвата и, если нужно, кантуют в вертикальной плоскости на угол более 90°.

Электропогрузчики являются наиболее распространенными универсальными подъемно-транспортными машинами, предназначенными для механизации погрузочно-разгрузочных и внутрискладских операций со всевозможными тарно-штучными грузами, а также грузами в пакетах и на поддонах. Использование в конструкции электропогрузчиков в качестве силовых агрегатов электродвигателей позволяет эксплуатировать их преимущественно в закрытых помещениях (закрытые склады, цехи, вагоны и др.). Поскольку питание электродвигателей током в этих машинах осуществляется, как правило, от аккумуляторной батареи, устанавливаемой на погрузчике, электропогрузчики иногда называют аккумуляторными.

Электропогрузчики отличаются высокой маневренностью и широким диапазоном операций (захват груза, подъем его и перемещение, штабелирование, освобождение груза, погрузка груза на автомобиль и в вагоны, выгрузка их и др.), что обеспечивает возможность их применения в самых разнообразных эксплуатационных условиях.

У большинства моделей электропогрузчиков на колесах, изготавливаемых, как правило, небольшого диаметра, предусмотрены литые шины. Для работы электропогрузчиков на складах и погрузочно-разгрузочных площадках необходимо иметь твердое (бетонное или асфальтобетонное) и ровное покрытие пола. Кроме того, для зарядки аккумуляторных батарей электропогрузчиков на погрузочно-разгрузочных пунктах должны быть зарядные станции, оборудованные соответствующими выпрямителями тока.

В конструкциях отечественных электропогрузчиков для питания электродвигателей применяют аккумуляторные батареи, составленные из щелочных железоникелевых аккумуляторов емкостью от 300 до 500 А·ч с номинальным напряжением от 24 до 40 В. В зарубежных моделях электропогрузчиков нередко используют кислотные аккумуляторные батареи.

Общая конструктивная схема обычного электропогрузчика предусматривает наличие следующих основных узлов и агрегатов: рамы шасси, выполненной в виде несущего кузова; ведущего переднего моста, заднего управляемого моста; грузоподъемника; электродвигателя передвижения; электродвигателя грузоподъемного механизма; гидравлического привода, состоящего из насоса, гидравлического распределителя, двух цилиндров наклона грузоподъемника, цилиндра подъема каретки, масляного бака и арматуры; рулевого управления; аккумуляторной батареи; аппаратуры управления.

Грузоподъемник с телескопической рамой и кареткой для крепления рабочих приспособлений шарнирно укреплен на поперечной вилке рамы кузова между передними ведущими колесами. При помощи двух гидравлических цилиндров грузоподъемник может наклоняться вперед до 3 и назад до 10°.

Основным грузозахватным рабочим органом электропогрузчиков являются вилы, предназначенные для работы преимущественно с пакетными грузами на поддонах. В отдельных случаях электропогрузчики оборудуют безблочной стрелой, грейфером, штырем и т. п., а также сталкивателем, приводимым в действие от гидравлической системы.

Ведущие колеса электропогрузчика оборудуют колодочными тормозами с двумя независимыми приводами – гидравлическим, действующим от ножной педали, и механическим, который приводится в действие от ручного рычага. Приведение в действие тормозов автоматически разрывает цепь управления электропривода и двигатель ведущего моста прекращает работу.

Схема гидравлического привода показана на рис. 4.10.

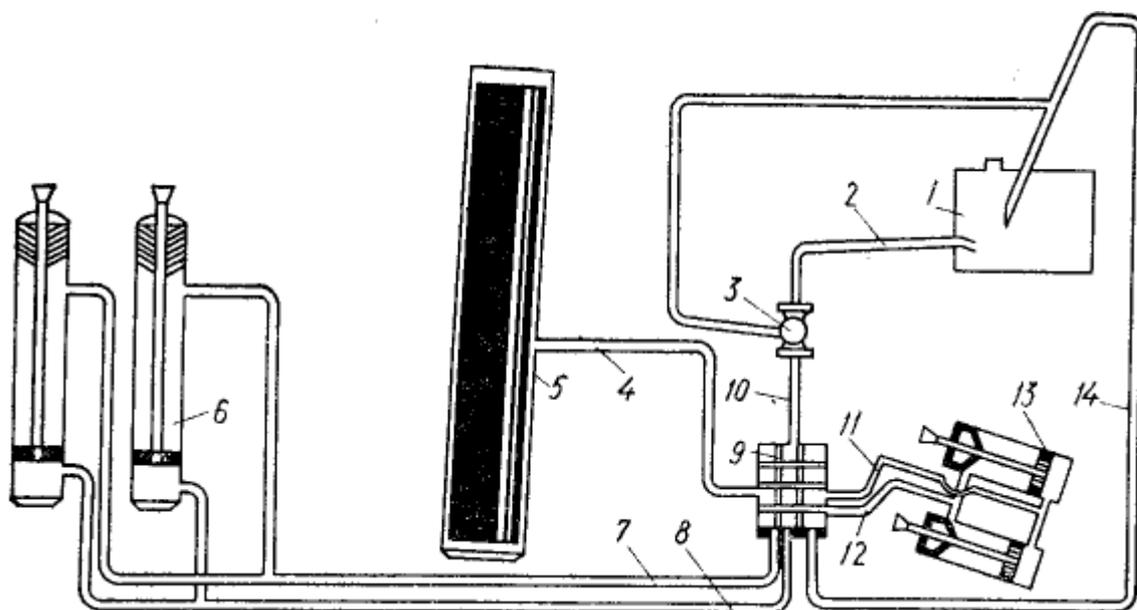


Рис. 4.10. Схема гидравлического привода электропогрузчика:
 1 – бак; 2, 4, 7, 8, 10, 11, 12, 14 – шланг; 3 – насос; 5 – цилиндр подъема;
 6 – цилиндр рабочих приспособлений; 9 – распределитель;
 13 – цилиндр наклона грузоподъемника

Из бака 1 веретенное масло по гибкому шлангу 2 засасывается насосом 3. От насоса по шлангу 10 масло поступает к гидравлическому распределителю 9 золотникового типа, откуда по шлангу 4 – в цилиндр 5 подъема, по шлангам 11 и 12 – в цилиндры 13 наклона грузоподъемника, по шлангам 7 и 8 – в цилиндры 6 рабочих приспособлений (сталкиватель, грейфер). Из цилиндров масло возвращается в бак через гидравлический распределитель и гибкий шланг 14. Управление гидравлическим распределителем и рабочим оборудованием электропогрузчика осуществляется при помощи рычагов, выведенных к рабочему месту водителя.

Электропогрузчики 4015М и ЭП-0,5 грузоподъемностью 500 кг смонтированы на трехколесном шасси с ведущим и управляемым задним колесом, обеспечивающим их высокую маневренность.

Грузоподъемник у погрузчика 4015М выполнен с выдвижной внутренней рамой и сконструирован в трех исполнениях: с высотой подъема вилок 1,8, 2,8 и 4,5 м. У погрузчика ЭП-0,5 грузоподъемник обеспечивает подъем вилок на высоту 2,8 м.

Регулирование скорости передвижения погрузчиков бесступенчатое, обеспечивается наличием угольно-масляного контролера.

Водители управляют погрузчиками при помощи рулевого колеса, рукоятки регулирования скорости и рычагов управления гидравлическим распределителем.

Электропогрузчик 4015М, кроме вилок, укомплектован безблочной стрелой с крюком, боковыми захватами, сталкивателем груза грейфером и кантователем, позволяющим поворачивать груз вокруг продольной оси на 180°. Погрузчик поднимает вилы на высоту 1400 мм без увеличения габаритной высоты погрузчика.

Обе модели погрузчиков могут быть использованы для погрузки и выгрузки различных штучных грузов, в том числе в пакетах, малогабаритных контейнерах и пр., на автомобили не только с уровня грунта, но и с заездом непосредственно на платформу (если склады оборудованы рампами или специальными эстакадами).

Электропогрузчики 4004 грузоподъемностью 750 кг являются наиболее распространенными в нашей стране. Выпуск их был освоен в двух модификациях с высотой подъема вилок 1600 мм (модель 4004) и 2800 мм (модель 4004А).

Погрузчики 4004 и 4004А предназначены для погрузки и разгрузки штучных и сыпучих грузов в автомашины и другие транспортные средства, а также для перемещения на небольшие расстояния и укладки грузов в штабеля.

Погрузчики удобны для работы в закрытых помещениях и на площадке с твердым гладким покрытием.

Погрузчики 4004 и 4004А являются самоходными универсальными подъемно-транспортными машинами. Отличаются между собой только конструкцией рамы грузоподъемника и гидравлического цилиндра подъема груза.

Погрузчики изготавливаются с электродвигателями, питающимися от щелочной железоникелевой аккумуляторной батареи, и являются наиболее безопасными в пожарном отношении при работе в закрытых и складских помещениях.

В механизмах тяги и подъема грузов применены два электродвигателя постоянного тока. Установка этих электродвигателей обеспечивает независимость действия указанных механизмов.

Грузоподъемный механизм погрузчика приводится в действие гидравлической системой с лопастным насосом.

Ведущие колеса – передние; задние колеса – управляемые.

Грузоподъемный механизм вместе с телескопической рамой и кареткой для крепления сменного рабочего оборудования смонтирован на раме шасси между передними ведущими колесами. Посредством двух гидравлических цилиндров наклона рама грузоподъемника может отклоняться вперед при заборе груза и назад – при его транспортировке.

На каретку грузоподъемника могут устанавливаться вилки, сталкиватель груза, безблочная стрела, захват для сыпучих материалов (грейфер) и боковой захват.

Сменное рабочее оборудование (приспособления) крепят на каретке грузоподъемника при помощи несложных захватов, замена одного приспособления другим осуществляется просто.

Погрузчик оборудован колодочными тормозами, действующими на ведущие колеса, с двумя независимыми приводами: гидравлическим (ножным) и механическим (ручным).

Рычаги и педали управления сконцентрированы на посту управления у места водителя.

Продольная устойчивость погрузчиков обеспечивается расположением аккумуляторной батареи под задним мостом и противовесом, укрепленным за задней стенкой кузова.

Электропогрузчики ЭП-103 и ЭП-106 выпускают взамен электропогрузчиков 4004. Грузоподъемность их – 1 т. Конструкции электропогрузчиков почти одинаковые: у электропогрузчика ЭП-103 литые шины, а у электропогрузчика ЭП-106 – пневматические шины.

Обе модели могут быть оборудованы одним из трех грузоподъемников, позволяющих поднять груз на высоту 1,8, 2,8 и 4,5 м. При этом свободная высота подъема груза (без увеличения габарита электропогрузчика по высоте) равна 200 мм.

Кроме того, каждая модель может изготавливаться (по особому заказу) с грузоподъемником (специальным), с помощью которого груз поднимается на высоту 1,4 м без увеличения габаритных размеров и на высоту 2,8 м при выдвинутой раме.

В зависимости от высоты подъема груза электропогрузчикам присвоены индексы: ЭП-103-1,8; ЭП-103-2,8; ЭП-103-4,5; ЭП-103-2,8 спец; ЭП-106-1,8; ЭП-106-2,8; ЭП-106-4,5; ЭП-106-2,8 спец.

Электропогрузчики с низким подъемом груза предназначены для погрузки и разгрузки крытых железнодорожных вагонов, для штабелирования грузов на высоту до 1,8 м в цехах заводов и складах.

Электропогрузчики с высоким подъемом груза предназначены для подъема, транспортировки и штабелирования грузов соответственно на высоту до 2,8 и 4,5 м.

Электропогрузчик может комплектоваться сталкивателем груза, безблочной стрелой, кареткой смещения, штырем, кареткой поворотной (в горизонтальной плоскости), боковым захватом, кантователем, предохранительной рамкой.

Сменное оборудование в комплектность электропогрузчика не входит и поставляется только по отдельному заказу.

Электропогрузчики ЭП-103 и ЭП-106 предназначены для погрузочно-разгрузочных работ, штабелирования и транспортирования грузов при температуре от -30 до $+40^{\circ}$ в закрытых помещениях и на открытых площадках с твердым и ровным покрытием.

При температуре ниже -10° рекомендуется начинать работы в отапливаемых помещениях. Источником энергии электропогрузчика служит щелочная железоникелевая аккумуляторная батарея напряжением 40 В, емкостью 300 а-ч.

Грузоподъемный механизм приводится в действие гидравлической системой с шестеренчатым гидравлическим насосом.

Два электродвигателя постоянного тока механизмов движения и грузоподъемного обеспечивают независимость действия этих механизмов.

Основными узлами электропогрузчика являются: рама шасси, выполненная в виде несущего корпуса, ведущий мост, грузоподъемный механизм, задний мост, гидравлический привод, электрооборудование, рулевое управление, тормозное устройство.

Передние колеса электропогрузчика ведущие, задние – управляемые. К корпусу в передней части крепится ведущий мост. Задняя часть корпуса опирается на балку заднего моста через две полуэллиптические рессоры.

Грузоподъемный механизм с телескопической рамой и кареткой для установки рабочих приспособлений шарнирно укреплен на корпусе между передними ведущими колесами. С помощью двух гидравлических цилиндров рама грузоподъемника может наклоняться вперед при захватывании груза и назад при его транспортировке. Каретка грузоподъемника подвешена на пластинчатой цепи, переброшенной через гладкий ролик, установленный на головке плунжера цилиндра подъема. Цепь одним концом прикреплена к каретке, а другим – к корпусу цилиндра. На каретку грузоподъемника могут устанавливаться различные сменные рабочие приспособления: вилки, сталкиватель груза, поворотная каретка и др.

Электропогрузчик оборудован ножным гидравлическим тормозом, действующим на ведущие колеса, и ручным механическим тормозом, который действует на вал двигателя передвижения.

Приведение в действие гидравлического и механического (стояночного) тормозов автоматически разрывает цепь управления электропривода и двигатель передвижения прекращает работу.

Управляемые колеса поворачиваются на требуемый угол посредством руля автомобильного типа, маятникового рычага, установленного на балке заднего моста, и системы тяг – продольной рулевой тяги и поперечных рулевых тяг «разрезной» трапеции.

Рычаги и педали управления электропогрузчиком сконцентрированы на посту управления у места водителя. С правой стороны рулевой колонки расположены педали гидравлического тормоза и управления командоконтролером. Справа от водителя крепится рычаг ручного тормоза.

Переключатель изменения направления движения находится справа от рулевой колонки. Переднее положение ручки переключателя соответствует переднему ходу электропогрузчика, при переводе ручки назад включается задний ход.

Грузоподъемным механизмом электропогрузчика управляют с помощью гидравлического распределителя, установленного на передней панели.

Продольная устойчивость электропогрузчика обеспечивается расположением аккумуляторной батареи и противовеса над задним мостом.

Электропогрузчики КВЗ-0,2 и КВЗ-0,4 предназначены для различных погрузочно-разгрузочных работ на базах и складах, в цехах и на подъездных путях.

Электропогрузчик транспортирует, поднимает и укладывает штучные и тарные грузы весом до 1,5 т.

Электропогрузчик представляет собой четырехколесную самоходную машину, имеющую механизм для подъема и наклона груза, и захватное приспособление (вилы).

Захватное приспособление легко снимается; оно может быть заменено ковшом, крановой стрелой или другим специальным устройством.

Источником энергии для электропогрузчика служит аккумуляторная батарея 500 А-ч напряжением 30/12 В.

Электропогрузчик с аккумуляторной батареей может работать в закрытых помещениях, при транспортировке химических продуктов, он безопасен в пожарном отношении.

Взамен электропогрузчиков КВЗ-02 и КВЗ-04 в настоящее время выпускают электропогрузчики ЭП-201 и ЭП-202 грузоподъемностью 2,0 т. Конструкции этих погрузчиков одинаковы, если не считать, что электропо-

грузчик ЭП-201 снабжается пневматическими шинами, а электропогрузчик ЭП-202 – массивными.

Под сиденьем водителя установлен блокировочный нормально открытый контакт, размыкающий цепь управления в том случае, если водитель не занял места на машине.

В передней части погрузчика на шарнирах установлен грузоподъемный механизм с кареткой для закрепления сменных грузозахватных устройств.

По желанию потребителя погрузчик комплектуют приспособлениями для подъема грузов на высоту 1,8; 2,8 и 4,5 м. Основное исполнение электропогрузчика рассчитано на высоту подъема 2,8 м.

Универсальность погрузчика обеспечивают сменные грузозахватные приспособления: кантователь, боковой захват, вилочный захват, многостыревой захват, штырь, стрела, каретки бокового смещения и ковш.

Сменное оборудование поставляется по заказу.

Электропогрузчики ЭП-301 грузоподъемностью 3 т конструктивно устроены так же, как и электропогрузчики ЭП-201.

4.2. Патентный поиск приводов погрузчиков

Патент №2367439. Двигатель с кинетическим аккумулятором

Изобретение относится к области машиностроения, а именно к двигателям с аккумулятированием кинетической энергии. Техническим результатом является повышение эффективности работы двигателя. Сущность изобретения заключается в том, что двигатель состоит из основания, вращающегося кольца, приводного редуктора, соединительной муфты, вала привода, понижающего редуктора и приборов контроля. На основании закреплена опорная ось вращающегося кольца и опора промежуточной шестерни приводного редуктора. На одном конце вала привода установлена муфта разгонная, на другом конце вала привода установлен понижающий редуктор. При включении приводного двигателя последний через разгонную муфту и двухступенчатый редуктор первоначально раскручивает вращающееся кольцо до установленного верхнего предела угловой скорости вращения, накапливает кинетическую энергию, и приводной двигатель отключается. Мощность от вращающегося кольца передается на трансмиссию транспортного средства. При снижении угловой скорости вращения вращающегося кольца до установленного нижнего предела включается приводной двигатель, который дораскручивает вращающееся кольцо до верхнего предела угловой скорости вращения и отключается, далее процесс повторяется.

Кинетическая энергия является наиболее распространенной энергией, с которой мы постоянно сталкиваемся в повседневной жизни, практически

мало изучена, забыта и не используется. Потенциал этой энергии огромен и в применении безграничен, не требует больших затрат на создание на ее базе двигателей на кинетической энергии, которые могут составить серьезную конкуренцию современным двигателям, другим силовым установкам, работающим на углеводородном или биологическом топливе, экологически чистый. Современные технологии позволяют изготовить любые детали указанного двигателя.

Основу двигателя на кинетической энергии составляет тело вращения цилиндрической формы, в данном случае кинетическое кольцо небольшой массы и габаритов, с высоким моментом инерции, которое может накапливать большой заряд кинетической энергии и передавать часть этой энергии в виде работы на трансмиссию автомобиля, другого транспортного средства. Кинетическая энергия кинетического кольца обладает рядом важнейших свойств: при ее угасании или торможении производит работу, что позволяет осуществлять отбор части этой энергии путем рекуперации для привода машин и механизмов; механическая энергия приводного двигателя, передаваемая кинетическому кольцу при его первоначальном раскручивании до установленного верхнего предела угловой скорости вращения, и последующих дораскручиваниях, изменяет величину потенциала массы кинетического кольца при возрастании угловой скорости его вращения, если скорость увеличивается, то потенциальная энергия кинетического кольца (его инертность) уменьшается, в то же время, возрастает «напряженность» массы кинетического кольца, которая возрастает пропорционально этой «напряженности» и создает заряд кинетической энергии (аналогично автомобилю – чем больше скорость, тем меньше требуется мощности двигателя на движение автомобиля). В результате сумма потенциальной и кинетической энергий остается постоянной, что соответствует требованиям Закона сохранения энергии. Следовательно, масса (момент инерции) является определяющим элементом в кинетическом аккумуляторе. Предлагаемый двигатель с кинетическим аккумулятором преобразует механическую энергию приводного двигателя в заряд кинетической энергии кинетического кольца, осуществляет отбор путем рекуперации части этой энергии, которая производит работу по приведению в действие машин и механизмов, электрогенераторов и др.

Устройство двигателя на кинетической энергии (рис. 4.11) состоит из основания 1, кинетического кольца 2, опорного вала 3, двухступенчатого редуктора 4, вала 5 привода, муфты 6 разгонной, компенсатора 7 мощности, понижающего редуктора 8, приводного двигателя 9, кожуха 11. Основание 1 представляет собой стальную сварную конструкцию, на которой установлен опорный вал 3, консоль 12. Кинетическое кольцо 2 установлено на опорном валу 3, на двух подшипниках 13, с торца закреплена малая ци-

линдрическая шестерня 14 редуктора 4. Опорный вал 3 установлен на двух радиальных подшипниках 15 и одном упорном подшипнике 16, в гнездах 17 основания 1. Редуктор 4 привода состоит из пары цилиндрических шестерен 14 и 18 и пары конических шестерен 19 и 20, большая цилиндрическая шестерня 18 установлена на консоли 12, на подшипнике 21 и жестко соединена с малой конической шестерней 19, большая коническая шестерня 20 установлена и закреплена на валу 5 привода. Вал 5 привода установлен на подшипниках 22 в гнездах 23 основания 1. Муфта 6 разгонная соединяет вал 5 привода с приводным двигателем 9. Компенсатор 7 мощности установлен на валу 5 привода, соединен с понижающим редуктором 8 и выполняет частично функции вариатора. Приводной двигатель 9 установлен на раме 24 транспортного средства и производит первоначальное раскручивание через приводной редуктор 4, кинетическое кольцо 2 и дальнейшее его дораскручивание в процессе работы системы через определенные промежутки времени. Трансмиссия 10 транспортного средства. Кожух 11.

Работа двигателя с кинетическим аккумулятором. В исходном положении кинетическое кольцо 2 находится в состоянии покоя, то есть не вращается. При включении приводного двигателя 9 муфта 6 соединяется с валом привода 5 и через шестерни редуктора 4 раскручивает кинетическое кольцо 2 до установленного верхнего предела угловой скорости вращения, последнее аккумулирует максимальный заряд кинетической энергии, и приводной двигатель 9 отключается. С этого момента кинетическое кольцо 2 вращается свободно от приводного двигателя и передает часть заряда кинетической энергии через редуктор 4 на вал 5 привода. Энергия производит работу, вращает вал 5 и через компенсатор 7 мощности передает усилие энергии на трансмиссию 10 транспортного средства. Через определенное время часть заряда кинетической энергии расходуется, и угловая скорость вращения кинетического кольца 2 снижается. Достигнув нижнего предела угловой скорости вращения, автоматически включается приводной двигатель 9, который дораскручивает кинетическое кольцо 2 до верхнего предела угловой скорости его вращения, кинетическое кольцо накапливает максимальный заряд кинетической энергии и приводной двигатель отключается. Далее процесс повторяется. Двигатель с кинетическим аккумулятором может быть выполнен с одноступенчатым редуктором, состоящим из двух конических шестерен 25 и 26, шестерня 25 жестко соединена с кинетическим кольцом 2, муфта 6 разгона установлена на валу коробки передач 29, шестерня 26 установлена на валу 5 привода с муфтой 30, на конце вала 5 установлен компенсатор 7 мощности с механизмом заднего хода 31 и соединены с трансмиссией 10 транспортного средства. Расчетное время движения автомобиля на одном заряде энергии может составлять более двух часов, величина заряда зависит от момента инерции данного кинетическо-

го кольца 2 и скорости его вращения. На дораскручивание кинетического кольца 2 затрачивается несколько десятков секунд, и транспортное средство останавливать для этих целей не обязательно. Двигатель с кинетическим аккумулятором прост по конструкции, экологически чистый, устанавливается, предпочтительно, под кузовом, на рамы многих грузовых автомобилей и не требует конструктивных изменений рам и агрегатов, с которыми будут сочленены их механизмы и агрегаты.

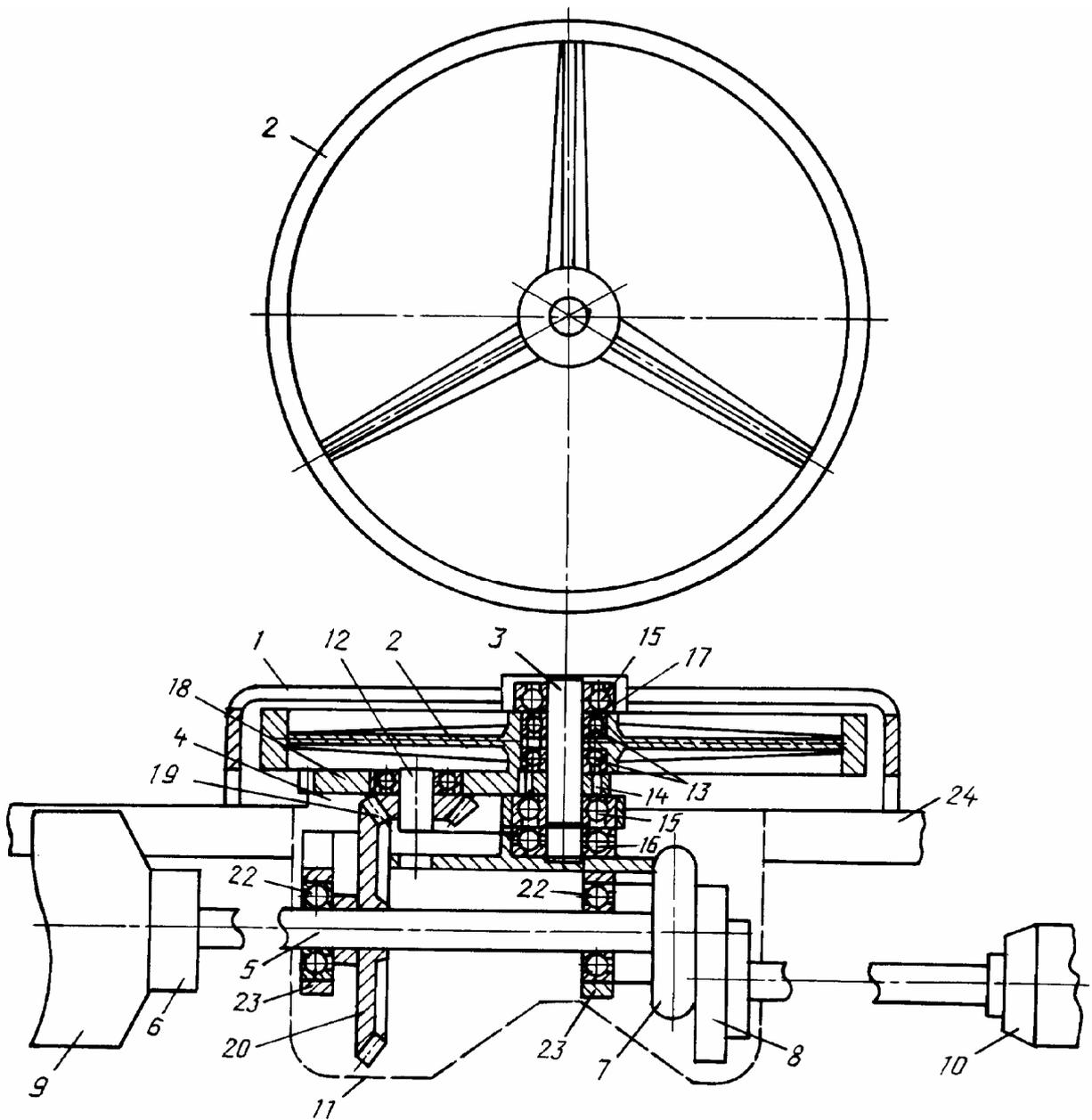


Рис. 4.11. Двигатель с кинетическим аккумулятором

Двигатель с кинетическим аккумулятором технологичен в изготовлении, может быть различной мощности и широкого применения. Расход топлива приводного двигателя по расчету составляет около 2 л в день для автомобиля типа ЗИЛ с штатным двигателем внутреннего сгорания. Кинематическая схема двигателя с кинетическим аккумулятором может быть подключена параллельно к штатной кинематической схеме трансмиссии автомобиля.

Формула изобретения:

Двигатель с кинетическим аккумулятором, состоящий из привода, сочлененного с маховым агрегатом, отличающийся тем, что двигатель состоит из основания сварной конструкции, вращающегося кольца, приводного редуктора, соединительной муфты, вала привода, понижающего редуктора, приборов контроля, на основании закреплена опорная ось вращающегося кольца и опора промежуточной шестерни приводного редуктора, вращающееся кольцо установлено на опорной оси на радиально-упорных и на опорном подшипнике, размещенных в основании, с торца вращающегося кольца закреплена малая цилиндрическая шестерня приводного редуктора, приводной редуктор двухступенчатый, с парой цилиндрических и парой конических шестерен, малая цилиндрическая шестерня находится в зацеплении с промежуточной цилиндрической шестерней, установленной на подшипнике консоли основания и жестко соединена с малой конической шестерней, большая коническая шестерня приводного редуктора установлена на валу привода и находится в зацеплении с малой конической шестерней, вал привода установлен на подшипниках в гнездах основания, на одном конце вала привода установлена муфта разгонная, на другом конце вала привода установлен понижающий редуктор, при включении приводного двигателя, последний через разгонную муфту и двухступенчатый редуктор, первоначально раскручивает вращающееся кольцо до установленного верхнего предела угловой скорости вращения, накапливает кинетическую энергию, и приводной двигатель отключается, отбор мощности от вращающегося кольца производится путем рекуперации, передается на трансмиссию транспортного средства, при снижении угловой скорости вращения вращающегося кольца до установленного нижнего предела включается приводной двигатель, который дораскручивает вращающееся кольцо до верхнего предела угловой скорости вращения и отключается, далее процесс повторяется.

Двигатель с кинетическим аккумулятором по п.1, отличающийся тем, что он имеет механизм заднего хода, муфта разгона установлена на коробке передач, а кинематическая схема подключена параллельно штатной кинематической схеме трансмиссии автомобиля.

Патент №241511. Способ увеличения гироскопического момента и устройство для его осуществления

Изобретение относится к области энергетики и транспорта. Способ увеличения гироскопического момента направлен на увеличение радиуса момента инерции за счет уменьшения расстояния между центрами тяжести грузов вдоль оси вращения. Форма грузов в виде крыльев создает дополнительно к центробежной силе аэродинамическую силу. Устройство, реализующее способ увеличения гироскопического момента, представляет собой центробежный аккумулятор кинетической и потенциальной энергий, обладающий большой величиной гироскопического момента и энергоемкости. Это достигается за счет принудительного создания прецессии концов его оси вращения с угловой скоростью, равной угловой скорости этой оси вращения, расположения и траектории перемещения подвижных грузов, выполненных в форме аэродинамических крыльев. Изобретение позволяет увеличить гироскопический момент, удельную энергоемкость аккумулятора и уменьшить удельную его массу.

Прототипом данного изобретения являются центробежные маховичные аккумуляторы энергии.

Под воздействием на вращающиеся аккумуляторы внешними силами, создающими прецессию их осей вращения, возникает сила сопротивления, называемая гироскопическим моментом.

Эти свойства маховика используют для стабилизации положения в пространстве различных устройств, в частности навигационных приборов, относительно оси вращения земли.

Устройство (рис. 4.12) содержит: корпус 1; катушку 2 с направленной вверх осью вращения 3, на которой размещены упругие аккумуляторы энергии 4. Ось 3 оперта на карданов шарнир 5, через который связана с корпусом 1. Пару подобных между собой рычагов 6 с грузами 7. Рычаги 6 кинематически связаны между собой с возможностью синхронного поворота их относительно своих осей 8, закрепленных на противоположных сторонах катушки 2. Шкивы 9, тросы 10, двигатель 11, генератор 12, антифрикционные покрытия или устройства. Аккумуляторы энергии 4 выполнены в виде упругих лент, которые в противоположных направлениях намотаны на ось катушки 2 и закреплены на ней одним концом, а противоположным концом через шкивы 9 независимо связаны с рычагами 6 посредством тросов 10. Грузы 7 выполнены в виде аэродинамических крыльев.

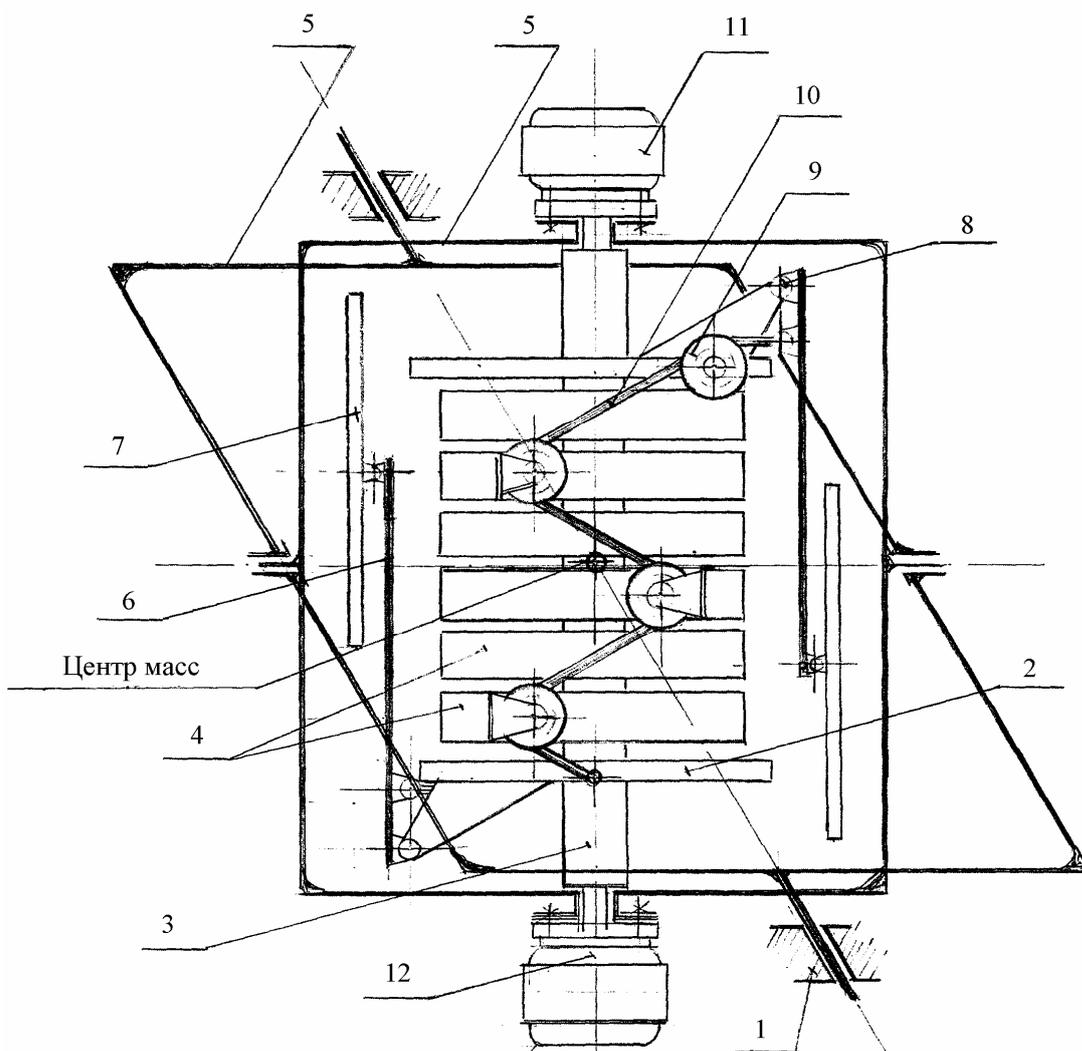


Рис. 4.12. Способ увеличения гироскопического момента и устройство для его осуществления

Работа устройства осуществляется следующим образом.

Центробежный аккумулятор энергии приводят во вращательное движение двигателем 11. Возникающей центробежной силой переменной величины синхронно поворачивают подвижные рычаги 6 с грузами 7 аэродинамической формы, изменяя величину радиуса момента инерции центров тяжести грузов 7.

Возникает переменный по величине гироскопический момент, который создает:

- во-первых, прецессию обоих концов оси 3 центробежного аккумулятора с угловой скоростью, равной угловой скорости этой оси, а вершины конусов, очерчиваемых концами оси 3, располагаются в центре тяжести центробежного аккумулятора;

- во-вторых, внутри тел упругих аккумуляторов энергии 4 возникает переменное по величине напряжение растяжения, передаваемое от рычагов 6 через шкивы 9 и тросы 10.

При этом с увеличением радиуса момента инерции расстояние вдоль оси 3 между центрами тяжести грузов 7 уменьшается.

Аэродинамическая форма грузов 7 создает дополнительную к центробежной силе аэродинамическую силу.

Формула изобретения:

Способ увеличения величины гироскопического момента центробежного аккумулятора энергии, заключающийся в том, что с началом вращательного движения центробежного аккумулятора возникающей центробежной силой подвижные рычаги с грузами синхронно поворачиваются, изменяя величину радиуса момента инерции центров тяжести этих грузов, что приводит к возникновению переменного по величине гироскопического момента, создающего, во-первых, прецессию оси вращения с угловой скоростью, равной угловой скорости самой оси вращения, а вершины вообразимых конусов, очерчиваемых концами оси вращения, располагаются в центре тяжести центробежного аккумулятора, во-вторых, внутри тел упругих аккумуляторов энергии возникает напряжение растяжения, отличающийся тем, что с увеличением радиуса момента инерции расстояние между центрами тяжести грузов вдоль оси вращения уменьшается, а форма грузов в виде крыльев создает дополнительно к центробежным аэродинамическую силу.

Устройство содержит корпус, катушку, на которой размещены упругие аккумуляторы энергии, катушка осью вращения оперта на Карданов шарнир, через который связана с корпусом, пару подобных между собой рычагов с грузами, рычаги кинематически связаны между собой с возможностью синхронного поворота их относительно своих осей, закрепленных на противоположных сторонах катушки, шкивы, тросы, двигатель, генератор, антифрикционные покрытия и ролики, отличающееся тем, что аккумуляторы упругой энергии, выполненные в виде упругих лент, попарно в противоположных направлениях спирально намотаны на ось катушки и закреплены на ней своими концами диаметрально противоположно; через шкивы групп противоположно намотанных лент пропущены тросы, посредством которых каждая лента в группе независимо связана с рычагом, грузы на рычагах выполнены в форме аэродинамических крыльев, расположенных противоположно-симметрично друг к другу.

Патент №2108876. Кинетический аккумулятор

Изобретение относится к области электротехники и электроэнергетики, позволяет повысить технико-экономические показатели преобразования энергии и обеспечить гарантированное энергоснабжение потребителей. Отличительной особенностью предложения является, то что в герметичном корпусе, в котором создан глубокий вакуум, на радиально-осевой самоцен-

трирующей с ограничителями осевого и радиального перемещения магнитной опоре, служащей одновременно ступицей ободкового супермаховика, навитого и высокопрочных нитей, установлен вертикально явнополюсный якорь дисковой униполярной машины электромагнитного возбуждения с центральным и периферийным термоэлектромиссионными управляемыми токосъемами. При этом самоцентрировка ротора обеспечивается конусообразной формой магнитной опоры, ограничители осевого и радиального перемещения выполнен в виде опорно-упорных подшипников на основе твердых самосмазывающихся материалов, анод центрального термоэmissionного токосъема охлаждаем, а нагреваемые катоды с сеточными управлением периферийных токосъемов и катушка возбуждения разделены охлаждаемым экраном. Указанное конструктивное исполнение обеспечивает режимы зарядки и разрядки, а также необходимую длительность хранения энергии в дежурном режиме при максимальных показателях удельной энергоемкости и экономичности.

Сущность изобретения заключается в том, что в герметичном корпусе, в котором создан глубокий вакуум, на радиально-осевой самоцентрирующей с ограничителями осевого и радиального перемещения магнитной опоре, служащей одновременно ступицей ободкового супермаховика, навитого из высокопрочных нитей, установлен вертикально явнополюсной якорь дисковой униполярной машины электромагнитного возбуждения с центральным и периферийным термоэmissionными управляемыми токосъемами. При этом самоцентрировка ротора обеспечивается конусообразной формой магнитной опоры, ограничители осевого и радиального перемещения выполнены в виде опорно-упорных подшипников на основе твердых самосмазывающихся материалов, анод центрального термоэmissionного токосъема охлаждаем, а нагреваемые катоды с сеточным управлением периферийных токосъемов и катушка возбуждения разделены охлаждаемым экраном из немагнитного материала.

Сущность изобретения поясняется чертежом, на котором показан продольный оси вращения ротора разрез КАЭЭ в варианте совмещения диска якоря с подвижной частью магнитопровода.

КАЭЭ состоит из герметичного корпуса 1 с силовыми входом 2, выходом 3 и управленческими 4 электрическими выводами. Внутри корпуса 1 на радиально-осевой магнитной опоре 5 вертикально закреплен вал 6.

Магнитная опора 5 состоит из подвижной 5а и неподвижной 5б частей; представляет собой два конусообразных диска постоянных магнитов из сплавов редкоземельных металлов и кобальта, намагниченных вдоль оси и встречно.

В общем случае при необходимости магнитная опора 5 будет состоять из расчетного количества пар подвижных и неподвижных 5б дисков до

полного уравнивания веса подвижных частей КАЭЭ, самоцентрировка которых обеспечивается конусообразной формой дисков 5а и 5б.

Подвижный диск 5а магнитной опоры одновременно может служить ступицей ободкового супермаховика 7, навитого из высокопрочных нитей, например, стекловолокна, бора, кевлара, графита, кварца, полимеров и т.д.

Массивный обод, навитый из сверхпрочных волокон, обеспечивает высокую плотность накопленной энергии и безопасный (безосколочный) выход из строя в случае превышения предельно допустимой скорости вращения маховика.

На валу 6 насажен или вытаскивается заодно якорь 8 униполярной машины, состоящей из статорного магнитопровода 9, катушки возбуждения 10, периферийного термоэмиссионного (бесконтактного) токосъема 11 с сеточным управлением 12 и центрального токосъема 3, работающего по принципу термоэмиссионного генератора. При этом подвижный катод К центрального токосъема 3 нагревается токами высокой частоты от неподвижной обмотки 13, а анодом А служит охлаждаемый скатан 14, изолированный от корпуса 1 и статора 9 униполярной машины.

Неподвижный катод одного или нескольких периферийных токосъемов 11 может нагреваться прямыми токами накала.

Поскольку магнитная опора 5 обладает сравнительно малой жесткостью, для исключения разрушения ротора при случайном толчке, якорь 8 выполнен цилиндрическим совмещенным с магнитопроводом с возможностью значительного осевого перемещения вверх и вниз до упоров 15 и незначительного горизонтального перемещения до упоров 16, служащих ограничителями осевого и радиального перемещения.

Для целей электромагнитного удержания (и возвращения) якоря 8 в нормальное среднее положение служит и явнополюсное его исполнение за счет серединной кольцевой выточки 17.

Ограничители осевого 15 и радиального 16 перемещения представляют собой подшипники скольжения с твердой смазкой, поскольку жидкие смазки в вакууме не работоспособны.

В качестве твердой смазки могут быть использованы различные композиции с наполнителями из дисульфида молибдена или более термостойкого дисульфида вольфрама, который выдерживает температуру до 3000 °С.

Как известно минимальная рабочая температура катодов К и 11 должна быть 700–800 °С.

Для защиты катушки возбуждения 10 от теплоизлучения катода 11 периферийного токосъема служит экран 18, который может быть выполнен в виде водяного канала охлаждения.

Внутри корпуса 1 создается разряжение порядка 10^{-7} мм.рт. ст. В среде столько разряженного газа электроны распространяются практически бес-

препятственно, а нужная величина снимаемого тока нагрузки обеспечивается расчетной площадью нагреваемого катода.

Важной особенностью термоэмиссионного токосъема является независимость потерь в нем от скорости вращения якоря 8. Кроме того, если анод охлаждать, то возможно получение прироста, а не падение напряжения в таком скользящем/контакте.

Для обеспечения неизменности принятого расположения катодов и анодов в зарядном и разрядном циклах принят электромагнитный способ создания рабочего магнитного потока Φ , полярность которого в этом случае легко изменить направлением тока в обмотке возбуждения 10, т.е. режим работы (зарядный или разрядный) при неизменном направлении вращения якоря 8 определяется направлением регулируемого в широких пределах тока в обмотке возбуждения 10.

Питание якоря 8 постоянным или переменным (бесконтактный токосъем работает выпрямителем при постоянном потенциале управляющей сетки 12) током через вывод 2 периферийного токосъема и вывод 3 центрального токосъема (поверхность А) при наличии накала катодов и магнитного потока возбуждения обусловит по закону электромагнитных сил разгон ротора и накопление энергии в маховике 7.

Дежурный режим характеризуется отключением нагрева катодов периферийного и центрального токосъемов и снятием тока возбуждения. При этом все виды потерь в КАЭЭ будут отсутствовать, что обеспечит необходимую длительность хранения энергии.

Возобновление питания нагреваемых катодов, управляющей сетки 12 и перемена направления тока в обмотке возбуждения 10 обусловят разрядный режим работы КАЭЭ.

При этом ЭДС, развиваемая униполярным генератором, будет пропорциональна скорости вращения якоря 8 и пронизывающего его магнитного потока, а характер и величина управляющего потенциала сетки по нелинейному закону обусловит характер и величину выходного напряжения.

Несмотря на то, что в принципе ограничений в получении нужной единичной мощности и энергоемкости нет, в общем случае описанную конструкцию надо рассматривать как элемент, последовательно-параллельное соединение которых позволит получить любой диапазон по энергоемкости, напряжению, току и, следовательно, мощности.

Формула изобретения:

Кинетический аккумулятор электрической энергии преимущественно для систем электроснабжения потребителей, содержащий корпус, маховиковый накопитель энергии, зарядно-разрядный электромагнитный орган и систему управления режимами работы, отличающийся тем, что в герметичном корпусе, в котором создан глубокий вакуум, на радиально-осевой

самоцентрирующей с ограничителями осевого и радиального перемещения магнитной опоре, служащей одновременно ступицей ободкового супермаховика, навитого из высокопрочных нитей, установлен вертикально явно-полюсный якорь дисковой униполярной машины электромагнитного возбуждения с центральным и периферийными термоэмиссионными управляемыми токосъемами, при этом самоцентрировка ротора обеспечивается конусообразной формой магнитной опоры, ограничители осевого и радиального перемещения выполнены в виде опорно-упорных подшипников на основе твердых самосмазывающихся материалов, анод центрального термоэмиссионного токосъема охлаждаем, а нагреваемые катоды с сеточным управлением периферийных токосъемов и катушка возбуждения разделены охлаждаемым экраном.

4.3. Привод подъемно-транспортного средства для внутрихозяйственных целей

Существующая система электропривода электропогрузчика (рис. 4.13) состоит из двух аккумуляторных батарей (8), коммутационного оборудования и мотор-колес.

Нами предлагается усовершенствовать данную конструкцию посредством установки вертикального инерционного электро-генератора (7) совместно с 2 аккумуляторными батареями (8), коммутационной аппаратурой и контроллером (5).

В исходном положении кинетическое кольцо находится в состоянии покоя, то есть не вращается. При включении приводного двигателя 8 муфта соединяется с валом привода и через шестерни редуктора раскручивает кинетическое кольцо до установленного верхнего предела угловой скорости вращения, последнее аккумулирует максимальный заряд кинетической энергии, и приводной двигатель отключается. С этого момента кинетическое кольцо вращается свободно от приводного двигателя и передает часть заряда кинетической энергии через редуктор на вал привода. Энергия производит работу, вращает вал и через компенсатор мощности передает усилие энергии на трансмиссию транспортного средства. Через определенное время часть заряда кинетической энергии расходуется, и угловая скорость вращения кинетического кольца снижается. Достигнув нижнего предела угловой скорости вращения, автоматически включается приводной двигатель, который дораскручивает кинетическое кольцо до верхнего предела угловой скорости его вращения, кинетическое кольцо накапливает максимальный заряд кинетической энергии и приводной двигатель отключается. Далее процесс повторяется. Расчетное время движения автомобиля на одном заряде энергии может составлять более двух часов, величина заряда зависит от момента инерции данного кинетического кольца и скорости его вращения.

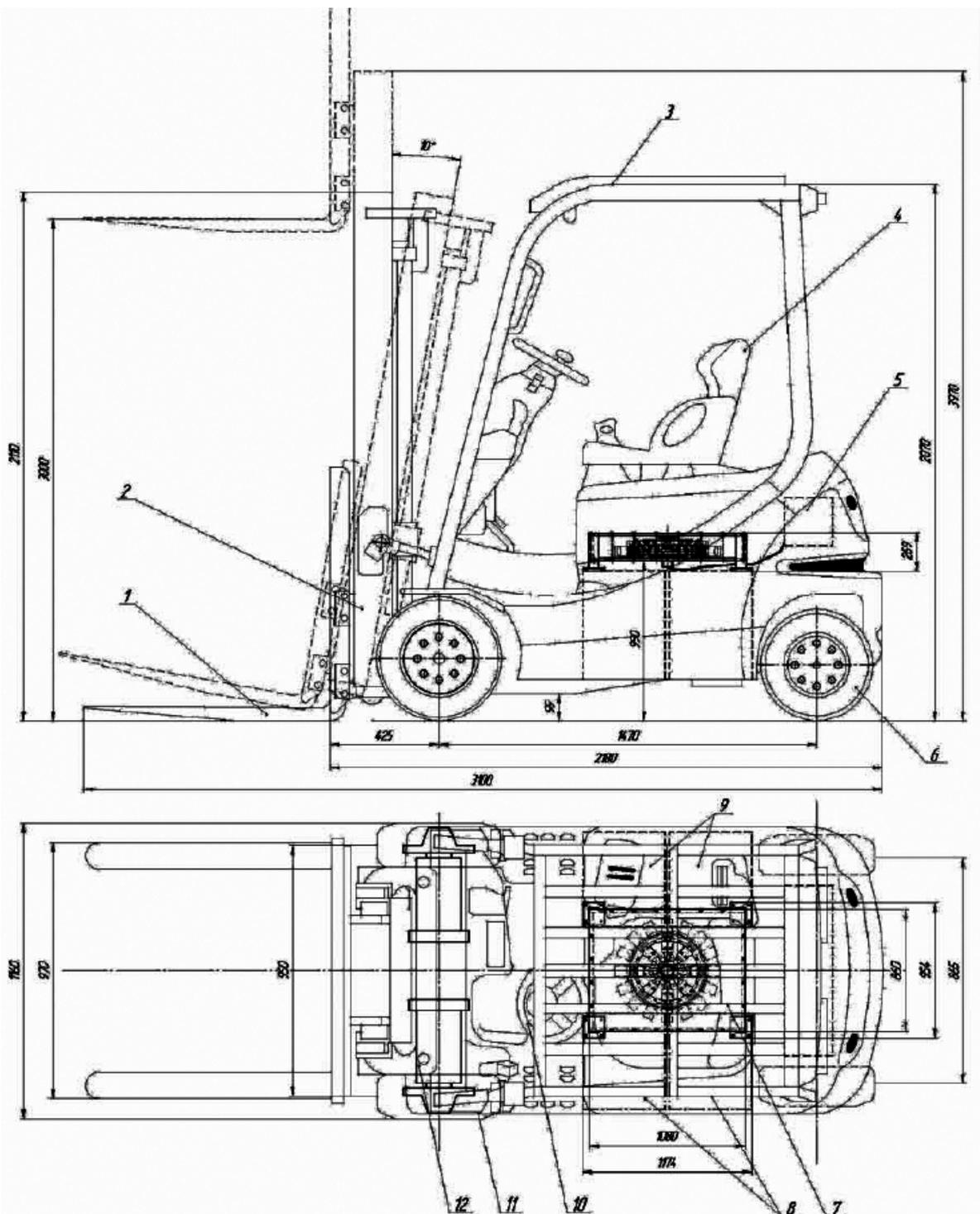


Рис. 4.13. Схема привода электропогрузчика:

1 – грузовые вилы; 2 – подъемная каретка; 3 – навес; 4 – место оператора; 5 – контроллер; 6 – колесо; 7 – инерционный электро-генератор; 8, 9 – аккумуляторные батареи; 10 – рулевое колесо; 11 – ведущее колесо; 12 – передний мост

На дораскручивание кинетического кольца затрачивается несколько десятков секунд, и транспортное средство останавливать для этих целей не обязательно.

5. РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ АВТОМОБИЛЯ С ТЯГОВЫМ ЭЛЕКТРОГИРОПРИВОДОМ

5.1. Обзор современных и перспективных систем тягового электропривода автомобилей

В последнее время перед человечеством встал ряд проблем, связанных с загрязнением атмосферного воздуха и снижением запасов нефти и газа, что в свою очередь привело к необходимости создания транспортного средства – экологически чистого автомобиля. Несмотря на последние достижения, технология создания и эксплуатации электромобилей развита недостаточно. Основным ограничением при эксплуатации электромобилей является небольшой пробег и значительное время зарядки аккумуляторной батареи.

Разработки по данному вопросу, как в нашей стране, так и за рубежом, ведутся в нескольких направлениях:

1) чистые электромобили (рис. 5.1,а), в которых нагрузка от аккумуляторных батарей 1, через блок управления 2 подводится к тяговому электродвигателю 3 и далее крутящий момент передается трансмиссии 4 и ходовой части;

2) чистые гиromобили (рис.5.1,б), в которых для передачи крутящего момента к ходовой части транспортного средства используется энергия, запасенная в маховике 5;

3) комбинированные схемы:

– наиболее широко исследуются схемы (рис. 5.1,в), в которых для подзарядки аккумуляторных батарей 1 используются двигатель-генераторные установки (на основе двигателя внутреннего сгорания б);

– гибридная схема (рис. 5.1,г), где для вращения маховика 4 используется двигатель внутреннего сгорания б (около 40 % номинальной мощности).

Каждой из приведенных схем присущи недостатки, не позволяющие конкурировать с существующими автомобилями, которые приводятся от двигателя внутреннего сгорания.

Основными недостатками электро- и гиromобилия являются ограниченный запас хода, значительная масса аккумуляторных батарей (0,25–0,45 полной массы электромобилия, в зависимости от типа аккумуляторных батарей) и маховика (0,1 полной массы гиromобилия).

Комбинированные схемы электро- и гиromобилей с двигателем внутреннего сгорания оказались более работоспособными, массовый выпуск которых налажен в нашей стране и за рубежом. Применение таких комбинированных схем приводит к снижению загрязнения окружающей среды, но проблема решается лишь частично.

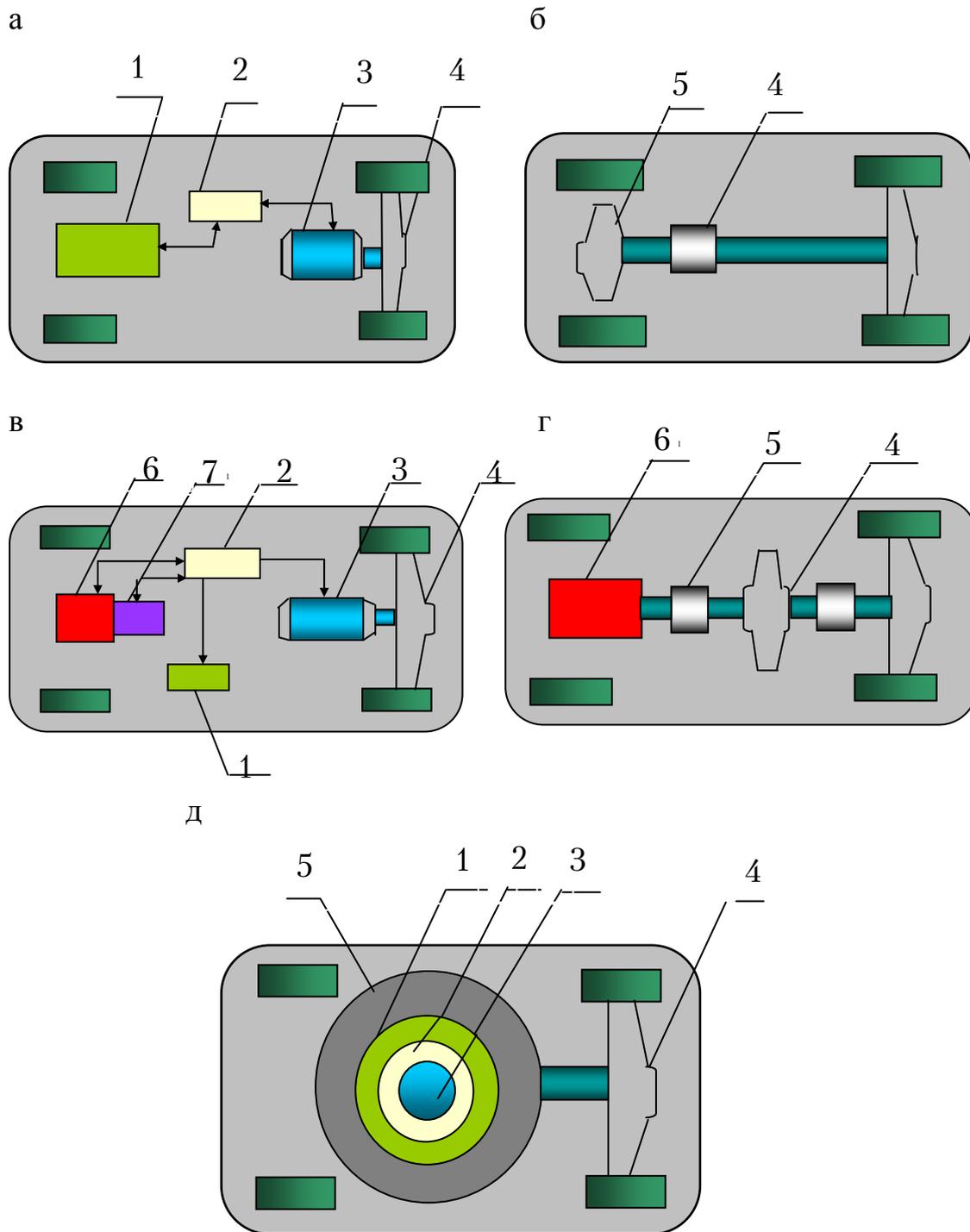


Рис. 5.1. Схемы электро- и гибридных автомобилей:

- а – чистые электромобили; б – чистые гибридные автомобили; в – гибридная схема;
- г – комбинированная схема; д – электрогибридный автомобиль; 1 – аккумуляторная батарея;
- 2 – блок управления; 3 – тяговый электродвигатель; 4 – трансмиссия;
- 5 – маховик; 6 – двигатель внутреннего сгорания; 7 – генератор

И только третья комбинированная схема, которая включает маховик, электродвигатель и аккумуляторную батарею не нашла применения, так

как приводит к значительному увеличению веса транспортного средства. Этот недостаток устраняется путем объединения трех агрегатов в один (рис. 5.1,д), т.е. электродвигатель 3 и аккумуляторная батарея 1 выполняют роль маховика, в результате получаем преимущества электро- и гиромобиля.

Простое объединение и механическая передача крутящего момента с помощью трансмиссии ограничивает дальнейшее совершенствование привода транспортного средства, в направлении увеличения частоты вращения аккумулятора энергии, а соответственно и запаса хода транспортного средства.

Для увеличения запаса хода, предлагается привод электрогиромобиля (рис. 5.2) состоящий из аккумулятора энергии 1, аккумуляторных батарей 2, блока управления 3 и мотор-колес 4.

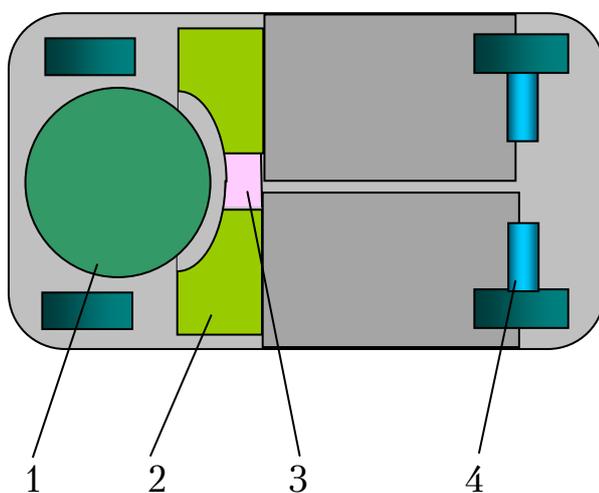


Рис. 5.2. Привод электрогиромобиля:
1 – аккумулятор энергии; 2 – аккумуляторная батарея;
3 – блок управления; 4 – мотор-колесо

В предлагаемом электрогиромобиле увеличение частоты вращения аккумулятора энергии 1 позволит снизить его массу. При этом возникает необходимость вынести часть аккумуляторных батарей 2 за пределы аккумулятора энергии. Применение бесконтактной подачи электроэнергии позволит значительно увеличить надежность работы привода электрогиромобиля.

Аккумулятор энергии (рис. 5.3) состоит из вакуумированного корпуса 1, к которому крепится магнитный подвес 8 и ось 7, к подвешенной части 9 магнитного подвеса крепится корпус ротора 10, в котором размещены аккумуляторные батареи 3, блок управления 2, магнитный подшипник 6 и обмотки 4 мотора-генератора. К оси 7 крепятся обмотки 4 статорной части мотора-генератора.

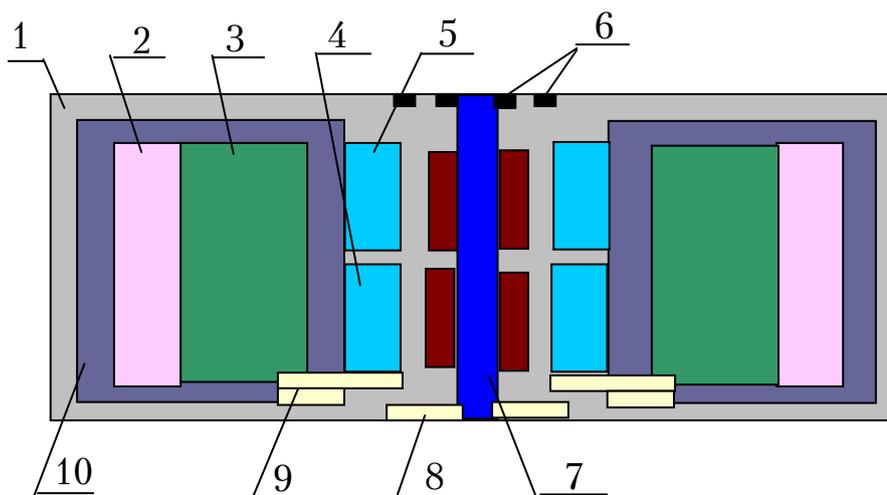


Рис. 5.3. Аккумулятор энергии:

- 1 – вакуумированный корпус; 2 – блок управления; 3 – аккумуляторная батарея; 4 – нижний электродвигатель-генератор; 5 – верхний электродвигатель-генератор; 6 – подшипник; 7 – неподвижная ось аккумулятора энергии; 8 – нижняя часть магнитного подвеса; 9 – верхняя часть магнитного подвеса; 10 – корпус маховика

Привод транспортного средства работает следующим образом.

Перед началом движения транспортного средства производится зарядка аккумуляторных батарей, затем раскручивается аккумулятор энергии до максимальной частоты вращения, посредством мотора-генератора аккумулятора энергии от внешнего источника питания. Транспортное средство готово к работе. Энергия, накопленная в маховике преобразуется мотором-генератором аккумулятора энергии в электроэнергию и передается через блок управления к тяговому мотору-генератору, таким образом, происходит снижение энергии накопленной в маховике. Для вращения аккумулятора энергии, используется энергия, запасенная в аккумуляторных батареях, которая подается мотору-генератору, работающему в данный момент, в двигательном режиме. Для движения транспортного средства в этот момент используется энергия от аккумуляторной батареи. По окончании подкручивания аккумулятора энергии, мотор-генератор работает в генераторном режиме и подпитывает аккумуляторные батареи и мотор-генератор.

Для достижения максимального технико-экономического эффекта при внедрении в конструкцию транспортного средства мотор-колес необходим комплексный подход к оценке последней. Переход с традиционной системы тягового электропривода на систему мотор-колесо требует серьезных изменений конструкции транспортного средства, способствующих уменьшению его массы и повышению эксплуатационной надёжности. Предполагается использование современных и перспективных компонентов (узлов и агрегатов), а также методик проектирования с тем, чтобы спроектирован-

ное мотор-колесо удовлетворяло техническим требованиям, предъявляемым к нему, по завершении процесса проектирования и доводки, в течение 10–15 лет эксплуатации.

При движении транспортного средства под уклон и при вынужденном торможении происходит рекуперативное торможение, сохраняющее до 20 % энергии. Тем самым при неизменной массе привода транспортного средства энергоёмкость его значительно увеличивается.

В предлагаемом электрогиромобиле увеличение частоты вращения аккумулятора энергии позволит снизить его массу, увеличить запаса хода, уменьшению массы аккумулятора энергии, снижению вредных выбросов в атмосферу. Применение бесконтактной подачи электроэнергии приведет к увеличению надежности работы привода электрогиромобиля, снижению шума работы привода.

На современном этапе развития применение экологически чистых автомобилей ограничено. В тоже время для снижения загрязнения в местах наибольшего скопления автомобилей, а также для внутрихозяйственных перевозок применение электромобилей актуально.

Мотор-колесо – исполнительный механизм системы тягового электропривода колёсного транспортного средства. В мотор-колесе осуществляется преобразование электрической энергии, отбираемой из контактной сети, аккумуляторной батареи, электрохимического генератора или вырабатываемой двигатель-генераторной установкой, в механическую энергию, реализуемую при движении транспортного средства.

Мотор-колесо представляет собой отдельный агрегат, конструктивно объединяющий в ограниченном монтажном объёме следующие элементы исполнительного механизма:

- тяговый электродвигатель;
- механическую передачу, состоящую из редуктора и механизма соединения вала электродвигателя с ведущим звеном редуктора;
- колесо, состоящее из шины, обода, диска и ступицы;
- опорные подшипники колеса;
- механический тормоз с соответствующим приводом;
- элементы уплотнения полостей редуктора, подшипников колеса, а иногда и полости мотор-колеса;
- элементы механизма подвески мотор-колеса к раме транспортного средства;
- элементы системы поворота (для управляемых мотор-колёс).

Характерная особенность мотор-колеса – рациональная компоновка, при которой электродвигатель полностью или частично размещён внутри обода непосредственно у колеса, а также сведены к минимуму число и размеры деталей механической передачи.

Предпосылки к применению в городском транспорте (автобусе и автобусе с электрической передачей) тягового электропривода по системе мотор-колесо заключаются в следующем:

- снижение общей массы электропривода;
- снижение числа деталей и узлов механической передачи, ведущее к повышению КПД и надёжности;
- возможность бесступенчатого регулирования силы тяги (по сравнению с механической передачей автомобилей);
- улучшение планировки салона за счёт снижения уровня пола до 360 мм и менее (в сочетании с независимой подвеской);

Основным недостатком этого типа электропривода является повышенная масса неподрессоренных частей. Однако при использовании независимой подвески и электродвигателя с высокой удельной мощностью можно добиться снижения массы до уровня массы неразрезного ведущего моста с механической передачей.

5.2. Концепция автомобиля с тяговым электроприводом системы мотор-колёсо

В тоже время это приводит к необходимости создания новой независимой подвески для городских автомобилей (рис. 5.4). Новая подвеска рассчитана на осевую нагрузку 7,5 т и занимает намного меньше места: ширина одной стороны составляет всего 900 мм. Подвеска оборудуется дисковыми тормозами и может использоваться на машинах шириной до 2,55 м. При этом собственный вес оси на 100 кг меньше по сравнению с балочной. Результаты стендовых и дорожных испытаний подтвердили, что надёжность и долговечность новой подвески не вызывает сомнений. Визуальное изучение представленного фотоматериала позволило прийти к выводу, что, несмотря на значительную осевую нагрузку, детали подвески имеют небольшие сечения и массу. Подвеска выполнена по классической схеме на двойных поперечных рычагах с упругими пневмоэлементами и телескопическими амортизаторами.

Также существует задняя независимая подвеска городского автомобиля с мотор-колёсами и электрической передачей (рис. 5.4, а). Подвеска выполнена по классической схеме, однако электродвигатели мотор-колёс сильно выступают внутрь из монтажного объёма обода, поэтому ширина монтажного пространства одного мотор-колеса составляет 800 мм, а ширина прохода в салоне в зоне задней подвески не превышает 900 мм, что затрудняет планировку салона. Вышеупомянутая конструкция сравнивается с перспективной разработкой вариоколеса, представляющего собой вариатор, размещённый в монтажном пространстве обода и приводимый от

внешнего источника механической энергии (рис. 5.4 б). Ширина монтажного пространства одного вариоколеса составляет 650 мм, а ширина прохода в зоне задней подвески достигает 1200 мм.

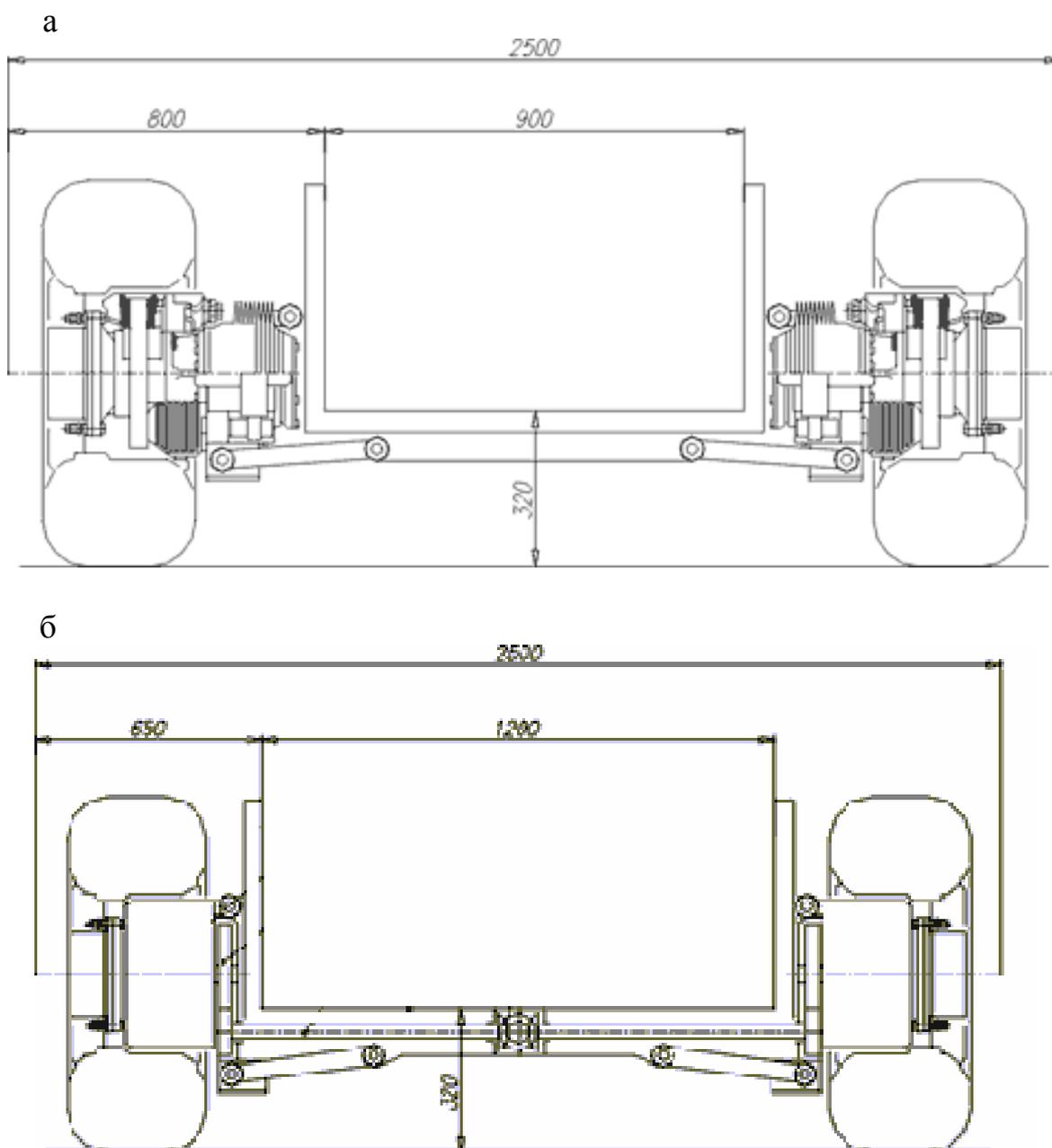


Рис. 5.4. Задняя независимая подвеска для городского автомобиля с мотор-колёсами (а); задняя подвеска с вариоколёсами (б)

Для достижения максимального технико-экономического эффекта при внедрении мотор-колес в конструкцию автомобиля необходим комплексный подход к оценке последней. Переход с традиционной системы тягового электропривода на систему мотор-колесо требует серьезных изменений конструкции автомобиля, способствующих уменьшению его массы и по-

вышению эксплуатационной надёжности.

В настоящей работе предполагается использование современных и перспективных компонентов (узлов и агрегатов), а также методик проектирования с тем, чтобы спроектированное мотор-колесо удовлетворяло техническим требованиям, предъявляемым к нему, по завершении процесса проектирования и доводки, в течение 10–15 лет эксплуатации.

Расчёт узлов и агрегатов следует по возможности производить с использованием различных САПР с тем, чтобы сократить время вычислений и повысить их точность. В настоящей работе использованы программы SRDaS для расчёта тягового электродвигателя и ShaftPlus5 для механической передачи. Подготовка конструкторской документации производилась в среде проектирования КОМПАС 3D. Мотор-колесо выполнено не в привычном виде плоских чертежей, а в частично параметрической твердотельной модели в соответствии с современными стандартами трёхмерного проектирования.

Под компоновкой мотор-колеса понимают последовательность расположения его элементов в монтажном объёме, ограниченном посадочным диаметром шины, габаритным размером по ширине транспортного средства и пространства с внутренней стороны мотор-колеса. Основная задача, возникающая при компоновке, заключается в размещении всех необходимых элементов мотор-колеса в ограниченном монтажном объёме с обеспечением доступа к тем элементам, которые требуют осмотра и обслуживания в процессе эксплуатации.

Компоновка мотор-колеса оказывает большое влияние на его конструктивные и эксплуатационные свойства, в частности, на осевой размер и массу. Поиск рациональной компоновки является тем этапом проектирования мотор-колеса, на котором принимают принципиальные решения, вводящие последующий процесс конструирования агрегата в определённые и достаточно узкие границы с точки зрения выбора тех или иных частных конструктивных решений. Конструкторская проработка отдельных узлов мотор-колеса лишь развивает принятое компоновочное решение.

Для современных методов рациональной компоновки мотор-колёс характерно уменьшение до минимума свободных полостей в монтажном объёме. В подавляющем большинстве новых разработок чётко выражена тенденция к уменьшению осевого размера мотор-колеса, хотя есть и отдельные исключения.

Анализ современных конструкций мотор-колес, систем тягового электропривода и компонентов шасси транспортных средств позволил сделать следующие выводы:

1. Основное распространение имеют две основные кинематические схемы – безредукторная с тихоходным многополюсным электродвигателем, и с быстроходным электродвигателем и редуктором. Первая схема

конструктивно проще, но имеет большую удельную массу в силу того, что двигатель существенно недоиспользуется по мощности. Поэтому для проектируемого мотор-колеса выбрана схема с быстроходным электродвигателем и редуктором.

2. Требованиям, предъявляемым к тяговому электродвигателю, в наибольшей мере удовлетворяет вентильно-индукторный привод, представляющий систему синхронной индукторной машины, полупроводникового инвертора и системы управления с обратной связью по положению ротора;

Серьёзной проблемой при компоновке мотор-колеса является размещение механического тормоза. В проектируемой конструкции выбран барабанный тормозной механизм с гидравлический приводом.

Для максимального использования преимуществ мотор-колёс выбрана независимая подвеска на двойных поперечных рычагах со стабилизатором поперечной устойчивости и продольно расположенными торсионами в качестве упругих элементов. Применение торсионной подвески позволяет уменьшить осевой размер мотор-колеса с подвеской в сборе. Хотя упругие характеристики торсионной подвески меньше подходят автобусу, чем пневматической, применяя торсионы с прогрессивной характеристикой и используя механизм регулировки угла предварительной закрутки торсионов, можно достичь максимально близких показателей. При этом отпадает необходимость в сложной и недостаточно надёжной пневмосистеме (при использовании гидропривода тормозов с электроусилителем).

Характеристики мотор-колеса во многом зависят от применяемого типа колёс и шин. В последнее время наметилась тенденция к переходу от двускатной ошиповки заднего моста автомобилей к односкатной с применением сверхширокопрофильных шин. Компания Bridgestone в 2001 году выпустила на рынок сверхширокопрофильную шину серии GREAT EC специально для городских автомобилей. Шина имеет размерность 435/45R22,5 и монтируется на цельном дисковом колесе размерностью 13''R22,5. Для мотор-колеса актуален наибольший монтажный объём внутри колесного обода, поэтому существующие промышленные образцы непригодны. Однако уровень технологии колёсной промышленности позволяет в кратчайшие сроки освоить производство колёс с нужным вылетом при наличии потребности. Для разрабатываемого мотор-колеса требуется вылет +175 мм. Крепление колеса выполнено в соответствии со стандартом DIN 74361 T3.

Анализ литературы показывает, что в мотор-колёсах используются четыре основных типа электропривода:

- двигатель постоянного тока с последовательным возбуждением;
- асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором и преобразователем частоты (ПЧ);
- синхронный двигатель с постоянными магнитами и ПЧ;

– синхронный двигатель с пассивным ротором, электромеханической редукцией и ПЧ (вентильно-индукторный привод).

В современных конструкциях мотор-колёс двигатель постоянного тока и асинхронный уступили место синхронным. В конструкциях мотор-колёс с наибольшей удельной мощностью применяются синхронные двигатели торцевого исполнения с постоянными магнитами. Однако мощные постоянные магниты изготавливаются с применением редкоземельных металлов и имеют большую стоимость, а также подвержены размагничиванию под действием вибрации.

Вентильно-индукторные двигатели (ВИД) наиболее целесообразно использовать в качестве электропривода механизмов, в которых по условиям работы требуется осуществление регулирования в широком диапазоне частоты вращения. Примером здесь могут быть электроприводы станков с числовым программным управлением и промышленных роботов.

Эффективность использования ВИД существенно повышается, если необходимость регулирования частоты вращения сочетается с тяжелыми условиями работы, как это имеет место быть в электроприводах для металлургии, горнодобывающей промышленности и подвижного состава электрического транспорта.

В промышленности есть большой класс устройств и механизмов, использующих нерегулируемый электропривод, где энергетическая эффективность существенно возрастает при использовании регулируемого электропривода. К таким устройствам, прежде всего, относятся компрессоры, насосы и вентиляторы. Использование здесь ВИД является весьма перспективным.

ВИД представляет собой относительно новый тип электромеханического преобразователя энергии. Поэтому его продвижение на рынке происходит достаточно медленно. Однако уже сейчас многие электротехнические фирмы мира либо рассматривают возможность серийного выпуска ВИД, либо уже производят его. Так например,

– английская фирма Allenwest изготавливает общепромышленные электроприводы мощностью 7,5–22 кВт;

– фирма Jeffery Diamond выпускает электроприводы мощностью 5–200 кВт для горно-добывающей промышленности;

– американская фирма Magna Physics серийно производит электроприводы мощностью 10–1500 Вт;

– итальянская фирма Sicme Motor совместно с SRDL выпускает серию приводов RELU–SPEED мощностью 9–140 кВт с частотой вращения 3000 об/мин;

– Emerson Electric Co ежедневно выпускает 2000 стиральных машин, в которых используются эти двигатели;

– АМС совместно с NEC/Densai (Япония) выпускает ВИД для электрического транспорта.

За последние десять лет доля применения ВИД в регулируемом электроприводе возросла в восемь раз и достигла 8 %. По всей видимости, эта цифра будет расти.

ВИД обладает следующими достоинствами:

- простота и технологичность конструкции индукторной машины (ИМ);
- низкая себестоимость;
- высокая надежность;
- высокая ремонтпригодность;
- низкие потери в роторе;
- минимальные температурные эффекты;
- низкий момент инерции;
- возможность работы на больших частотах вращения;
- возможность работы в агрессивных средах;
- высокая степень утилизации;
- возможность оптимального управления процессом электромеханического преобразования энергии для конкретного нагрузочного устройства;
- высокие массо-габаритные и энергетические характеристики;

Недостатки ВИД:

- высокий уровень шумов и вибраций;
- плохое использование стали;
- работа возможна только совместно с преобразователем частоты;
- значительные отходы при штамповке;
- пониженная электросовместимость с сетью из-за высокого содержания высших гармоник в токах обмоток.

Принимая во внимание такие преимущества как высокая надежность, низкая себестоимость, возможность оптимального управления процессом электромеханического преобразования энергии и высокие массо-габаритные и энергетические характеристики, что наиболее актуально для тягового привода мотор-колёс, данный тип электропривода выбран для проектируемого мотор-колеса.

Анализ современных тенденций в проектировании городского транспорта на пневматическом колёсном ходу показывает, что основные конструктивные мероприятия направлены на снижение массы и расхода энергии на движение, а также на снижение трудоёмкости технического обслуживания и увеличение сервисных интервалов.

Применение независимой задней подвески позволит снизить уровень пола до 360 мм, что позволит сэкономить около 20 % массы кузова автомобиля. В традиционных конструкциях кузовов пол имеет значительную

толщину, и вносит значительный вклад в крутильную жёсткость кузова. Переход на тонкий пол влечёт повышение нагрузки на боковины и крышу кузова. Современные технологии позволяют создать лёгкую, прочную, жёсткую и легкоборную модульную конструкцию кузова. Модульная конструкция мотор-колеса в сочетании с модульной конструкцией кузова значительно упростят процесс сборки автомобиля, поскольку рычаги подвески можно предварительно собирать на подрамнике, и устанавливать заднюю подвеску в сборе на собранный отдельно кузов.

При постановке задачи проектирования была поставлена цель исключить из конструкции автомобиля громоздкую и ненадёжную пневмосистему. Учитывая, что на большинстве автомобилей пневмосистема служит для привода тормозов и регулирования дорожного просвета задней пневмоподвеской, потребовалось найти возможные способы выполнения этих функций другими системами.

Тормозная система является важнейшим с точки зрения безопасности элементом автомобиля. Основным оценочным критерием эффективности тормозной системы является тормозной путь при заданных нагрузке, скорости движения автомобиля и состоянии дорожного покрытия. Тормозной путь определяется коэффициентом сцепления колеса с дорогой, максимальным тормозным усилием, развиваемым тормозными механизмами (и тяговым двигателем в тормозном режиме), а также законом изменения тормозного усилия во времени, т.е. временем срабатывания. Пневматический привод тормозов характеризуется наличием инерционного передаточного звена (воздуха в магистралях) с большой постоянной времени, что приводит к большему на 0,2...0,5 с по сравнению с гидравлическим приводом запаздыванию тормозного усилия, что эквивалентно приросту тормозного пути на 3...8 м со скоростью 60 км/ч. Использование гидропривода тормозов на тяжёлых транспортных средствах затрудняется созданием усилителя, однако на автобусе это представляется возможным по причине работы тягового электродвигателя в режиме рекуперативного торможения с отдачей значительной электрической мощности.

Поэтому в конструкцию автомобиля с мотор-колесами целесообразно заложить гидравлический привод тормозов с электрическим усилителем. Усилитель можно выполнить четырёхканальным, по числу колёс. При селективном коэффициенте усиления по разным каналам электроусилитель сможет выполнять функцию антиблокировочной системы тормозов.

Пневмоподвеска традиционной конструкции обеспечивает высокую плавность хода, бесшумность демпфирования колебаний и регулируемым дорожным просветом. Учитывая, что нагрузка на заднюю ось порожнего и полностью загруженного автомобиля различается на 80 %, система регулирования дорожного просвета необходима. Торсионная подвеска, предла-

гаемая для автомобиля с мотор-колесами, позволяет регулировать дорожный просвет путем изменения угла первичной закрутки торсионов. Каждое мотор-колесо опирается на кузов через пару одинаковых продольных торсионов: основным и регулировочным. Угол закрутки регулировочного торсиона можно изменять с помощью электропривода с самотормозящейся передачей большого передаточного соотношения (например, волновой или однозаходной червячной). Несущая способность подвески таким образом можно менять на 100 %.

Таким образом, из конструкции автомобиля полностью исключена пневматическая система.

На легковых автомобилях в настоящее время получил широкое распространение электропривод усилителя рулевого управления. Единственным серьёзным сдерживающим фактором является ограниченная мощность автомобильной электросети (в связи с ограниченной мощностью генератора и низким номинальным напряжением). Наличие контактной сети облегчает решение задачи для автомобиля, поэтому в предлагаемой концепции рулевое управление оснащено электромеханическим усилителем.

Значительное распространение в автомобилестроении получило мультиплексированное электрооборудование, позволяющее значительно снизить массу жгутов проводов, упростить их монтаж, повысить надёжность и расширить возможности добавления нового оборудования. Применительно к автобусу и грузовому автомобилю, сильно насыщенному всевозможными электрическими схемами, рассматриваемое решение весьма актуально.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Следует отметить, что в настоящее время во всех странах мира ведутся работы по созданию эффективного аккумулятора энергии для автомобиля будущего. Это обусловлено как токсичностью продуктов сгорания горючего, образующихся при работе автомобильных двигателей, так и дефицитностью нефти, запасы которой ограничены. Перспективные инерционные и электроаккумуляторы, могли бы явиться удобным и экономичным источником энергии для городских автомобилей, и транспорта для внутрихозяйственных целей.

Основной задачей в монографии ставилась выработка концепции автомобиля ближайшего будущего с учётом изменяющихся требований к подвижному составу и широким использованием современных технологий. Как показывает зарубежный опыт, выработанная в рамках исследования концепция автомобиля хорошо согласовывается с современными тенденциями создания автономного транспорта (электро- и гиромобилей).

В монографии рассмотрены как типичные конструкции электро и гидроприводов для различных машин и механизмов, наряду с известными конструкциями, уже давно применяемыми в технике, представлены новые, наиболее передовые системы. Прослежено историческое развитие электро и гидроприводов.

В результате исследования обоснована возможность снижения массы и расхода электроэнергии с одновременным снижением себестоимости изготовления тягового электрогидропривода. Результаты выполненного исследования могут быть использованы студентами при выполнении курсовых и дипломных работ и проектов, а также использовать полученную информацию в производстве, а также преподавателями и аспирантами высших технических учебных заведений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А.С. СССР № 1354508. Электропривод автономного транспортного средства / Я.Б. Донин, В.С. Болтянский, Т.Я. Андриянова. – Б.И. №1, 1988.
2. Акимов С.В. Электрооборудование автомобилей [Текст]: учебник для вузов / С.В. Акимов, Ю.П. Чижков. – М.: ЗАО КЖИ «За рулем». 2001. – 384 с.
3. Электричество смотрит нам в лицо [Текст] / Л. Голованов // Авто-ревью. – 1997. – № 10. – С. 20–22.
4. Гулия, Н.В. Рекуперативный тормоз, авт. свид. № 171607, БИ, 1965, № 11.
5. Гулия, Н.В. Рекуперативный тормоз, авт. свид. № 193874, БИ. – № 7.
6. Гулия, Н.В. Инерционные аккумуляторы энергии. Изд-во ВГУ, Воронеж, 1973. – С. 90–91.
7. Долин, П.А. Основы техники безопасности в электроустановках [Текст] / П.А. Долин. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 424 с.
8. Дунаев, П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин [Текст]: учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. – М.: Высш. шк., 1985 – 416 с.
9. Колпаков, А. SKiiP – интеллектуальные силовые модули IGBT фирмы SEMIKRON [Текст] / А. Колпаков // «Компоненты и технологии». 2003. – №1.
10. Конструкция автомобиля. Шасси [Текст] / под общ. ред. А.Л. Карунина. – М.: МАМИ, 2000. – 528 с.
11. Кузнецов В.А. Вентильно-индукторные двигатели [Текст]: учеб. пособие / В.А. Кузнецов, В.А. Кузьмичев. – М.: Изд-во МЭИ, 2002.
12. Топливные системы современных и перспективных двигателей внутреннего сгорания [Текст]: учеб. пособие / В.В. Лянденбургский, А.М. Белоковыльский, А.А. Грабовский, В.В. Салмин, П.И. Аношкин. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 324 с.
13. Лянденбургский, В.В. Проблемы и перспективы создания электромобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.А. Грабовский, А.И. Проскурин // Тез. докл. 4-я Междунар. науч.-практ. конф. – М.: Московский государственный автомобильно-дорожный ин-т (технический университет), 2000.
14. Лянденбургский В.В. Анализ и перспективы развития систем тягового электропривода транспортных средств [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.В. Федосков, А.В. Барарайкин // Грузовик., М.: 2012. – С. 2-3.
15. Лянденбургский, В.В. Привод электрогиромобиля [Текст]: сб. ст. / В.В. Лянденбургский, А.А. Грабовский, А.И. Проскурин // V Междунар. науч.-техн. конф. «Точность и надежность технологических и транспортных систем». – Пенза, 1999.

16. Лянденбургский, В.В. Проблемы создания электромобиля / Лянденбургский В.В., Проскурин А.И., Грабовский А.А. // II межрегиональная науч.-практ. конф. Экологичность техники и технологии производственных комплексов. – Пенза, 1999.

17. Лянденбургский, В.В. Перспективный электромобиль [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.И. Проскурин, А.А. Грабовский // «Актуальные проблемы современного строительства». Материалы XXX Всерос. науч.-техн. конф. – Пенза, 1999

18. Петрушов, В.А., Мощностной баланс автомобиля [Текст] // В.В. Московкин, А.Н. Евграфов. – М.: Машиностроение, 1984. – 160 с.

19. Петрушов, В.А. Мощностной баланс автомобиля [Текст] / В.А. Петрушов, В.В. Московкин, А.Н. Евграфов. – М.: Машиностроение, 1984. – 160 с.

20. Росс, Твег. Системы впрыска бензина. Устройство, обслуживание, ремонт [Текст]: практ. пособие / Росс Твег. – М.: Изд. «За рулем», 1996. – 144 с.

21. Сайт компании Bridgestone. URL: <http://www.bridgestone.com/>

22. Сайт компании SEMIKRON. URL: <http://www.semikron.com>

23. Сайт компании подразделения ALCOA по производству колёс URL: <http://www.alcoawheels.com/>

24. Сайт ОАО «Каскод». URL: <http://www.kaskod.ru/>

25. Сайт ОАО «Тролза». URL: <http://www.trolza.ru/>

26. Салмин, В.В. Топливные системы современных и перспективных двигателей внутреннего сгорания [Текст]: учеб. пособие / В.В. Салмин, В.В. Лянденбургский, А.М. Белоковильский, П.И. Аношкин А.А. Грабовский. – Пенза: Пенз. гос. универ. арх. и строит., 2006. – 252 с.

27. Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBM PC [Текст]: пер. с англ. / под ред. У. Томпкина. – М.: Мир, 1992. – 592 с.

28. Соснин, Д.А. Автотроника [Текст]: учеб. пособие / Д.А. Соснин. – М.: «Солон-Р», 2001. – 373 с.

29. Соснин, Д.А. Новейшие автомобильные электронные системы [Текст]: учеб. пособие / Д.А. Соснин, В.Ф. Яковлев. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 240 с.

30. Федоров, О.В. Основы технико-экономического выбора электроприводов промышленных установок [Текст]: моногр. / О.В. Федоров, Э.Л. Карпова. – Н. Новгород: изд-во НГУ, 1991. – 164 с.

31. Ютт. В.Е. Электрооборудование автомобилей [Текст]: учебник для студентов вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 2000. – 320 с.

32. Диагностика электронных систем автомобиля [Текст]: учеб. пособие / В.Ф. Яковлев. – М.: «СОЛОН-Пресс». 2003. – 272 с.

33. Яковлев, А.И. Конструкция и расчёт электродвигатель-колёс [Текст] / А.И. Яковлев. – М.: «Машиностроение», 1981. – 191 с.
34. Brown, G.W. Analysis of 104 Eastern Iowa Motor Vehicle Casualty accidents. In: Proceedings of the Third Triennial Congress on Medical and Related Aspects of Motor Vehicle Accidents. Ann Arbor, Michigan: Highway Safety Research Institute 1971, pp. 216–218.
35. Inderka, R., De Doncker R.W. Power Converter Technology for EV Traction Drives. Institute for Power Electronics and Electrical Drives Aachen University of Technology, 2000. pp. 123–128.
36. Integrated silicon pressure sensor manifold absolute pressure sensor on-chip signal conditioned, temperature compensated and calibrated. Motorola technical data, MPX4100A/D. 2000. pp. 16–19.
37. Rompe K., HeiBing B. «Möglichkeiten zur Bewertung der Fahreigenschaften». In: K. Rompe (Editor), «Bewertungsverfahren für die Sicherheit von Personenkraftwagen». Köln: Verlag TÜV Rheinland 1984, pp. 243–265.
38. Ronald K. Jürgen Automotive electronics handbook. – McGraw-Hill, Inc., 1999.
39. Van Zanten A.T., Krauter A.L, «*Optimal Control of the Tractor-Semitrailer Truck*», Vehicle System Dynamics, 7 (1978), pp. 203–231.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Листинг программы «Сигнализатор ресурсосбережения» program Signaliz

```
uses
Forms,
AvtoMain in 'AvtoMain.pas' {FormAvtoMain},
AvtoModul in 'AvtoModul.pas' {DataModule1: TDataModule},
AvtoOne2 in 'AvtoOne2.pas' {FormAvtoOne2},
AvtoVoditeli in 'AvtoVoditeli.pas' {FormAvtoVoditeli},
AvtoSpravka in 'AvtoSpravka.pas' {FormAvtoSpravka},
AvtoAtribut in 'AvtoAtribut.pas' {FormAvtoAtribut},
AvtoPut_List in 'AvtoPut_List.pas' {FormAvtoPut_List};
{$R *.RES}
begin
Application.Initialize;
Application.CreateForm(TFormAvtoMain, FormAvtoMain);
Application.CreateForm(TDataModule1, DataModule1);
Application.CreateForm(TFormAvtoVoditeli, FormAvtoVoditeli);
Application.CreateForm(TFormAvtoOne2, FormAvtoOne2);
Application.CreateForm(TFormAvtoSpravka, FormAvtoSpravka);
Application.CreateForm(TFormAvtoAtribut, FormAvtoAtribut);
Application.CreateForm(TFormAvtoPut_List, FormAvtoPut_List);
Application.Run;
end.
unit AvtoMain;
interface
uses
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
ExtCtrls, TeeProcs, TeEngine, Chart, Series, StdCtrls, Spin,
ComCtrls, ToolWin,
Buttons, DBChart, jpeg, DBCtrls, Grids, DBGrids, DBTables, ToolEdit,
Math, CurrEdit,
Menus ;
Const
ro=0.73; {плотность бензина}
Emd=44.4; {Энергосодержание бензина}
type
TFormAvtoMain = class(TForm)
```

```

MainMenu1: TMainMenu;
N1: TMenuItem; N2: TMenuItem; N3: TMenuItem; N4: TMenuItem;
N5: TMenuItem; N6: TMenuItem; N8: TMenuItem; N9: TMenuItem;
N7: TMenuItem; N10: TMenuItem; N20: TMenuItem; N21: TMenuItem;
N23: TMenuItem;
Panel1: TPanel; Panel2: TPanel; Panel4: TPanel; Panel5: TPanel;
Panel6: TPanel;
Chart1: TChart; DBChart5: TDBChart;
Series1: TPieSeries; BarSeries9: TBarSeries; BarSeries11: TBarSeries;
DBChart6: TDBChart; DBChart7: TDBChart; DBChart1: TDBChart;
Series2: TBarSeries; Series3: TBarSeries; BarSeries7: TBarSeries;
BarSeries8: TBarSeries;
Label7: TLabel; Label5: TLabel; Label6: TLabel; Label8: TLabel;
Label9: TLabel; Label10: TLabel; Label11: TLabel; Label12: TLabel;
Label13: TLabel; Label14: TLabel; Label15: TLabel; Label16: TLabel;
Label17: TLabel; Label18: TLabel; Label1: TLabel; Label2: TLabel;
Label19: TLabel; Label20: TLabel;
ComboBox1: TComboBox; ComboBox2: TComboBox;
DateTimePicker2: TDateTimePicker; DateTimePicker1: TDateTimePicker;
N11: TMenuItem; N12: TMenuItem;
Chart2: TChart; Chart3: TChart; Chart4: TChart;
Series4: TBarSeries; Series5: TBarSeries; Series6: TBarSeries;
Series7: TBarSeries; Series8: TBarSeries; Series9: TBarSeries;
Button1: TButton;
procedure N4Click(Sender: TObject);
procedure N6Click(Sender: TObject);
procedure N10Click(Sender: TObject);
procedure N8Click(Sender: TObject);
procedure N23Click(Sender: TObject);
procedure N21Click(Sender: TObject);
procedure FormActivate(Sender: TObject);
procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
function SumRasxod(Stroka:string):real;
procedure AvtoPererasxod;
procedure ComboBox1Click(Sender: TObject);
procedure OneAvtoRasxod(Nom:integer);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure Create_Alias(MyAlias:string);
private

```

```

{ Private declarations }
public
{ Public declarations }
end;
var
FormAvtoMain: TFormAvtoMain;
Period:integer;
T_KMAll,UdRasxodAll,UdRasxodAllNorma,RasxodAll,RasxodAllNorma:
array[1..366] of real;
implementation
uses AvtoOne2, AvtoDvigateli, AvtoVoditeli, AvtoSpravka,
AvtoAtribut, AvtoPut_List, AvtoModul;
{$R *.DFM}
procedure TFormAvtoMain.N4Click(Sender: TObject);
begin
FormAvtoSpravka.ShowModal;
end;
procedure TFormAvtoMain.N6Click(Sender: TObject);
begin
FormAvtoDvigateli.ShowModal;
end;
procedure TFormAvtoMain.N10Click(Sender: TObject);
begin
FormAvtoVoditeli.ShowModal;
end;
procedure TFormAvtoMain.N8Click(Sender: TObject);
begin
FormAvtoOne2.ShowModal;
end;
procedure TFormAvtoMain.N23Click(Sender: TObject);
begin
FormAvtoAtribut.ShowModal;
end;
procedure TFormAvtoMain.N21Click(Sender: TObject);
begin
FormAvtoPut_List.ShowModal;
end;
procedure TFormAvtoMain.FormActivate(Sender: TObject);
var L,i,code:integer;
Y,Reit:real;

```

```

param1:string;
begin
Create_Alias('dbAvto_S');
for i:=1 to Trunc(DateTimePicker2.Date)-Trunc(DateTimePicker1.Date)+1 do
begin
RasxodAll[i]:=0;
RasxodAllNorma[i]:=0;
UdRasxodAll[i]:=0;
UdRasxodAllNorma[i]:=0;
T_KMAll[i]:=0;
end;
DataModule1.Table5.Open;
AvtoPererasxod;
With Series1 do
begin
Clear;
AddPie(SumRasxod('Расход горючего-факт'),'Факт',clTeeColor);
AddPie(SumRasxod('Расход горючего -норма'),'Норма',clTeeColor);
end;
OneAvtoRasxod(0);
with DataModule1.Query2 do
begin
If Active then Close;
SQL.Clear;
SQL.Add('Select * from PUTLIST where PUTLIST."Дата" between
"+DateToStr(DateTimePicker1.Date)+" and"+ Date-
ToStr(DateTimePicker2.Date)+"");
Prepare;
Open;
for i:=1 to Trunc(DateTimePicker2.Date)-Trunc(DateTimePicker1.Date)+1 do
begin
First;
while Eof=False do
begin
If (FieldName('Дата').AsDateTime=Trunc(DateTimePicker1.Date)+i-1)
and
(FieldByName('Расход горючего -норма').AsFloat<>0) then
begin

```

```

RasxodAll[i]:=RasxodAll[i]+FieldByName('Расход горючего-
факт').AsInteger;
RasxodAllNorma[i]:=RasxodAllNorma[i]+FieldByName('Расход горючего
-норма').AsFloat;
T_KMAll[i]:=T_KMAll[i]+FieldByName('Всего тонно-км').AsFloat
end;
Next;
end;
if T_KMAll[i]<>0 then
begin
UdRasxodAll[i]:=RasxodAll[i]/T_KMAll[i];
UdRasxodAllNorma[i]:=RasxodAllNorma[i]/T_KMAll[i];
end
else
begin
UdRasxodAll[i]:=0;
UdRasxodAllNorma[i]:=0;
end;
end;
end;
With Series4 do
begin
Clear;
for i:=1 to Trunc(DateTimePicker2.Date)-Trunc(DateTimePicker1.Date)+1
do
AddBar(RasxodAll[i],DateToStr(Trunc(DateTimePicker1.Date)+i-
1),clTeeColor);
end;
With Series5 do
begin
Clear;
for i:=1 to Trunc(DateTimePicker2.Date)-Trunc(DateTimePicker1.Date)+1 do
AddBar(RasxodAllNorma[i],DateToStr(Trunc(DateTimePicker1.Date)+i-
1),clTeeColor);
end;
With Series6 do
begin
Clear;
for i:=1 to Trunc(DateTimePicker2.Date)-Trunc(DateTimePicker1.Date)+1 do

```

```

    AddBar(UdRasxodAll[i],DateToStr(Trunc(DateTimePicker1.Date)+i-
1),clTeeColor);
    end;
    With Series7 do
    begin
    Clear;
    for i:=1 to Trunc(DateTimePicker2.Date)-Trunc(DateTimePicker1.Date)+1
do
    Add-
Bar(UdRasxodAllNorma[i],DateToStr(Trunc(DateTimePicker1.Date)+i-
1),clTeeColor);
    end;
    With Series8 do
    begin
    Clear;
    for i:=1 to Trunc(DateTimePicker2.Date)-Trunc(DateTimePicker1.Date)+1 do
    Add-
Bar(UdRasxodAll[i]*ro*Emd,DateToStr(Trunc(DateTimePicker1.Date)+i-
1),clTeeColor);
    end;
    With Series9 do
    begin
    Clear;
    for i:=1 to Trunc(DateTimePicker2.Date)-Trunc(DateTimePicker1.Date)+1 do
    Add-
Bar(UdRasxodAllNorma[i]*ro*Emd,DateToStr(Trunc(DateTimePicker1.Date)+
i-1),clTeeColor);
    end;
    end;
    function TFormAvtoMain.SumRasxod(Stroka:string):real;
    begin
    Result:=0;
    DataModule1.Table5.First;
    while DataModule1.Table5.Eof=False do
    begin
    If (DataMod-
ule1.Table5.FieldName('Дата').AsDateTime>=DateTimePicker1.Date) and
(DataMod-
ule1.Table5.FieldName('Дата').AsDateTime<=DateTimePicker2.Date) then

```

```

Result:=Result+DataModule1.Table5.FieldName(Stroka).AsFloat;
DataModule1.Table5.Next;
end;
end;
procedure TFormAvtoMain.AvtoPererasxod;
var otnoshenie:real;
i,j:integer;
begin
i:=0; j:=0;
ComboBox1.Clear; ComboBox2.Clear;
DataModule1.Table5.First;
while DataModule1.Table5.Eof=False do
begin
If (DataMod-
ule1.Table5.FieldName('Дата').AsDateTime>=DateTimePicker1.Date) and
(DataMod-
ule1.Table5.FieldName('Дата').AsDateTime<=DateTimePicker2.Date) then
begin
if DataModule1.Table5.FieldName('Расход горючего -
норма').AsFloat<>0 then
otnoshenie:=DataModule1.Table5.FieldName('Расход горючего-
факт').AsInteger/DataModule1.Table5.FieldName('Расход горючего -
норма').AsFloat
else otnoshenie:=0;
If otnoshenie>1 then
begin
omboBox1.Items[i]:=DataModule1.Table5.FieldName('Госномер
автомобиля').AsString+'-'+DataMod-
ule1.Table5.FieldName('Дата').AsString;
inc(i);
end;
If otnoshenie=0 then
begin
ComboBox2.Items[j]:=DataModule1.Table5.FieldName('Госномер
автомобиля').AsString+'-'+
DataModule1.Table5.FieldName('Дата').AsString;
inc(j);
end;
end;
end;
end;
end;

```

```

DataModule1.Table5.Next;
end;
end;
procedure TFormAvtoMain.FormClose(Sender: TObject; var Action:
TCloseAction);
begin
Series1.Clear; Series2.Clear; Series3.Clear; Series4.Clear; Series5.Clear;
Series6.Clear; Series7.Clear; Series8.Clear; Series9.Clear;
BarSeries11.Clear; BarSeries9.Clear; BarSeries7.Clear; BarSeries8.Clear;
DataModule1.Table5.CLOSE; DataModule1.Query1.CLOSE;
DataModule1.Query2.CLOSE;
end;
procedure TFormAvtoMain.ComboBox1Click(Sender: TObject);
begin
OneAvtoRasxod(ComboBox1.ItemIndex);
end;
procedure TFormAvtoMain.OneAvtoRasxod(Nom: integer);
var L: byte;
begin
L:=Length(ComboBox1.Items[Nom]);
Label7.Caption:=Copy(ComboBox1.Items[Nom],1,L-11);
Label8.Caption:=Copy(ComboBox1.Items[Nom],L-11+2,10);
DataModule1.Table5.First;
while DataModule1.Table5.Eof=False do
begin
If (DataModule1.Table5.FieldName('Дата').AsString=Label8.Caption) and
(DataModule1.Table5.FieldName('Госномер
автомобиля').AsString=Label7.Caption) then
begin
Label14.Caption:=DataModule1.Table5.FieldName('Расход горючего-
факт').AsString;
Label15.Caption:=DataModule1.Table5.FieldName('Расход горючего -
норма').AsString;
Label16.Caption:=DataModule1.Table5.FieldName('Перевезено всего,
Т').AsString;
Label17.Caption:=DataModule1.Table5.FieldName('Пробег общий
авто').AsString;
Label18.Caption:=DataModule1.Table5.FieldName('Пробег с грузом
авто').AsString;
end;
end;

```

```

DataModule1.Table5.Next;
end;
with DataModule1.Query1 do
begin
If Active then Close;
SQL.Clear;
{Params[0].AsDateTime:=DateTimePicker1.Date;
Params[1].AsDateTime:=DateTimePicker2.Date;}
SQL.Add('Select * from PUTLIST where (PUTLIST."Госномер
автомобиля"="'+Label7.Caption+'"') and (PUTLIST."Дата" between
"'"+DateToStr(DateTimePicker1.Date)+"'" and"'"+ Date-
ToStr(DateTimePicker2.Date)+"'"));
Prepare;
Open;
end;
DBChart1.Title.Text[1]:=Label7.Caption;
With Series3 do
begin
Clear;
ParentChart:=DBChart1;
DataSource:=DataModule1.Query1;
XLabelsSource:='Дата';
XValues.ValueSource:= 'Дата';
YValues.ValueSource:= 'Расход горючего -норма';
CheckDatasource;
end;
With Series2 do
begin
Clear;
ParentChart:=DBChart1;
DataSource:=DataModule1.Query1;
XLabelsSource:='Дата';
XValues.ValueSource:= 'Дата';
YValues.ValueSource:= 'Расход горючего-факт';
CheckDatasource;
end;
DBChart7.Title.Text[1]:=Label7.Caption;
With BarSeries11 do
begin
Clear;

```

```

ParentChart:=DBChart7;
DataSource:=DataModule1.Query1;
XLabelsSource:='Дата';
XValues.ValueSource:= 'Дата';
YValues.ValueSource:= 'Перевезено всего, Т';
CheckDatasource;
end;
DBChart6.Title.Text[1]:=Label7.Caption;
With BarSeries9 do
begin
Clear;
ParentChart:=DBChart6;
DataSource:=DataModule1.Query1;
XLabelsSource:='Дата';
XValues.ValueSource:= 'Дата';
YValues.ValueSource:= 'Пробег общий авто';
CheckDatasource;
end;
DBChart5.Title.Text[1]:=Label7.Caption;
With BarSeries7 do
begin
Clear;
ParentChart:=DBChart5;
DataSource:=DataModule1.Query1;
XLabelsSource:='Дата';
XValues.ValueSource:= 'Дата';
YValues.ValueSource:= 'LitrT_KMQ1';
CheckDatasource;
end;
With BarSeries8 do
begin
Clear;
ParentChart:=DBChart5;
DataSource:=DataModule1.Query1;
XLabelsSource:='Дата';
XValues.ValueSource:= 'Дата';
YValues.ValueSource:= 'LitrT_KM_NormaQ1';
CheckDatasource;
end;
end;

```

```

procedure TFormAvtoMain.FormCreate(Sender: TObject);
begin
  Period:=7;
  DateTimePicker2.Date:=Date{DateToStr(Date)};
  DateTimePicker1.Date:=Date-Period{DateToStr(Date)};
end;
procedure TFormAvtoMain.Create_Alias(MyAlias:string);
var
  AParams: TStringList;
  Dir: string;
begin
  Dir := ExtractFilePath(ParamStr(0)) + MyAlias; //Путь к базе.
  AParams := TStringList.Create;
  if not Session.IsAlias(MyAlias) then //Проверка существования
псевдонима dbBaza
  begin
    Session.AddStandardAlias(MyAlias, Dir, 'PARADOX');
    Session.SaveConfigFile;
  end
  else
  try
  begin
    AParams.Clear;
    AParams.Add('PATH=' + Dir);
    Session.ModifyAlias(MyAlias, AParams);
    Session.SaveConfigFile;
  end;
  finally
    AParams.Free;
  end;
end.
unit AvtoModul;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  DB, DBTables;
type
  TDataModule1 = class(TDataModule)

```

Table1: TTable;
 DataSource1: TDataSource;
 Table1GosNomer: TStringField; Table1ZavNimer: TStringField;
 Table1InvNomer: TStringField; Table1GodVipuska: TStringField;
 Table1DataVvoda: TStringField; Table1Cena: TFloatField;
 Table1Ctoimost: TFloatField; Table1MarkaDvig: TStringField;
 Table1ZavNomerDvig: TStringField; Table1GodVipDvig: TStringField;
 Table1FIO: TStringField; Table1Brigada: TSmallintField;
 Table1Podrazdelen: TStringField; Table1NomerKr: TSmallintField;
 Table1NomerKRDvig: TSmallintField; Table1Marka: TStringField;
 Table2: TTable; Table3: TTable; Table4: TTable; Table5: TTable;
 DataSource2: TDataSource; DataSource3: TDataSource;
 DataSource4: TDataSource; DataSource5: TDataSource; DataSource6:
 TDataSource;
 Query1: TQuery; Query2: TQuery;
 DataSource7: TDataSource;
 Table5DateField: TDateField; Table5StringField: TStringField;
 Table5StringField2: TStringField; Table5StringField3: TStringField;
 Table5StringField4: TStringField; Table5StringField5: TStringField;
 Table5StringField1: TStringField; Table5StringField22: TStringField;
 Table5StringField32: TStringField; Table5StringField6: TStringField;
 Table5SmallintField: TSmallintField; Table5SmallintField2: TSmallint-
 Field;
 Table5SmallintField3: TSmallintField; Table5SmallintField4: TSmallint-
 Field;
 Table5SmallintField5: TSmallintField; Table5SmallintField6: TSmallint-
 Field;
 Table5SmallintField7: TSmallintField; Table5SmallintField8: TSmallint-
 Field;
 Table5FloatField: TFloatField; Table5FloatField2: TFloatField;
 Table5_: TFloatField; Table5FloatField3: TFloatField;
 Table5StringField7: TStringField; Table5SmallintField9: TSmallintField;
 Table5SmallintField10: TSmallintField; Table5SmallintField11: TSmallint-
 Field;
 Table5SmallintField12: TSmallintField; Table5FloatField4: TFloatField;
 Table5FloatField5: TFloatField; Table5FloatField6: TFloatField;
 Table5StringField8: TStringField; Table5StringField9: TStringField;
 Table5StringField10: TStringField; Table5StringField11: TStringField;
 Table5StringField12: TStringField; Table5SmallintField13: TSmallintField;

Table5FloatField7: TFloatField; Table5FloatField8: TFloatField;
 Table5StringField13: TStringField; Table5StringField14: TStringField;
 Table5StringField15: TStringField; Table5StringField16: TStringField;
 Table5FloatField9: TFloatField; Table5FloatField10: TFloatField;
 Table5FloatField11: TFloatField; Table5FloatField12: TFloatField;
 Table5FloatField13: TFloatField; Table5FloatField14: TFloatField;
 Table5FloatField15: TFloatField; Table5FloatField16: TFloatField;
 Table5FloatField17: TFloatField; Table5FloatField18: TFloatField;
 Table5SmallintField14: TSmallintField; Table5FloatField19: TFloatField;
 Table5FloatField20: TFloatField; Table5FloatField21: TFloatField;
 Table5FloatField22: TFloatField; Table5FloatField23: TFloatField;
 Table5FloatField24: TFloatField; Table5FloatField25: TFloatField;
 Table5FloatField26: TFloatField; Table5StringField17: TStringField;
 Table5FloatField27: TFloatField; Table5Marka: TStringField;
 Table5LitrT_KM_Norma: TCurrencyField;
 Table5LitrT_KM: TCurrencyField;
 Query2LitrT_KMQ: TCurrencyField;
 Query2LitrT_KM_NormaQ: TCurrencyField;
 Query2DateField: TDateField; Query2StringField: TStringField;
 Query2StringField2: TStringField; Query2StringField3: TStringField;
 Query2StringField4: TStringField; Query2StringField5: TStringField;
 Query2StringField1: TStringField; Query2StringField22: TStringField;
 Query2StringField32: TStringField; Query2StringField6: TStringField;
 Query2SmallintField: TSmallintField; Query2SmallintField2: TSmallint-
 Field;
 Query2SmallintField3: TSmallintField; Query2SmallintField4: TSmallint-
 Field;
 Query2SmallintField5: TSmallintField; Query2SmallintField6: TSmallint-
 Field;
 Query2SmallintField7: TSmallintField; Query2SmallintField8: TSmallint-
 Field;
 Query2FloatField: TFloatField; Query2FloatField2: TFloatField;
 Query2_: TFloatField; Query2FloatField3: TFloatField;
 Query2StringField7: TStringField; Query2SmallintField9: TSmallintField;
 Query2SmallintField10: TSmallintField; Query2SmallintField11: TSmall-
 intField;
 Query2SmallintField12: TSmallintField; Query2FloatField4: TFloatField;
 Query2FloatField5: TFloatField; Query2FloatField6: TFloatField;
 Query2StringField8: TStringField; Query2StringField9: TStringField;

Query2StringField10: TStringField; Query2StringField11: TStringField;
 Query2StringField12: TStringField; Query2SmallintField13: TSmallint-
 Field;
 Query2FloatField7: TFloatField; Query2FloatField8: TFloatField;
 Query2StringField13: TStringField; Query2StringField14: TStringField;
 Query2StringField15: TStringField; Query2StringField16: TStringField;
 Query2FloatField9: TFloatField; Query2FloatField10: TFloatField;
 Query2FloatField11: TFloatField; Query2FloatField12: TFloatField;
 Query2FloatField13: TFloatField; Query2FloatField14: TFloatField;
 Query2FloatField15: TFloatField; Query2FloatField16: TFloatField;
 Query2FloatField17: TFloatField; Query2FloatField18: TFloatField;
 Query2SmallintField14: TSmallintField;
 Query2FloatField19: TFloatField; Query2FloatField20: TFloatField;
 Query2FloatField21: TFloatField; Query2FloatField22: TFloatField;
 Query2FloatField23: TFloatField; Query2FloatField24: TFloatField;
 Query2FloatField25: TFloatField; Query2FloatField26: TFloatField;
 Query2StringField17: TStringField; Query2FloatField27: TFloatField;
 Query2Marka: TStringField; Query2LitrT_KM: TFloatField;
 Query1DateField: TDateField; Query1StringField: TStringField;
 Query1StringField2: TStringField; Query1StringField3: TStringField;
 Query1StringField4: TStringField; Query1StringField5: TStringField;
 Query1StringField1: TStringField; Query1StringField22: TStringField;
 Query1StringField32: TStringField; Query1StringField6: TStringField;
 Query1SmallintField: TSmallintField; Query1SmallintField2: TSmallint-
 Field;
 Query1SmallintField3: TSmallintField; Query1SmallintField4: TSmallint-
 Field;
 Query1SmallintField5: TSmallintField; Query1SmallintField6: TSmallint-
 Field;
 Query1SmallintField7: TSmallintField; Query1SmallintField8: TSmallint-
 Field;
 Query1FloatField: TFloatField; Query1FloatField2: TFloatField;
 Query1_: TFloatField; Query1FloatField3: TFloatField;
 Query1StringField7: TStringField; Query1SmallintField9: TSmallintField;
 Query1SmallintField10: TSmallintField; Query1SmallintField11: TSmall-
 intField;
 Query1SmallintField12: TSmallintField; Query1FloatField4: TFloatField;
 Query1FloatField5: TFloatField; Query1FloatField6: TFloatField;
 Query1StringField8: TStringField; Query1StringField9: TStringField;

```

Query1StringField10: TStringField; Query1StringField11: TStringField;
Query1StringField12: TStringField; Query1SmallintField13: TSmallint-
Field;
Query1FloatField7: TFloatField; Query1FloatField8: TFloatField;
Query1StringField13: TStringField; Query1StringField14: TStringField;
Query1StringField15: TStringField; Query1StringField16: TStringField;
Query1FloatField9: TFloatField; Query1FloatField10: TFloatField;
Query1FloatField11: TFloatField; Query1FloatField12: TFloatField;
Query1FloatField13: TFloatField; Query1FloatField14: TFloatField;
Query1FloatField15: TFloatField; Query1FloatField16: TFloatField;
Query1FloatField17: TFloatField; Query1FloatField18: TFloatField;
Query1SmallintField14: TSmallintField; Query1FloatField19: TFloatField;
Query1FloatField20: TFloatField; Query1FloatField21: TFloatField;
Query1FloatField22: TFloatField; Query1FloatField23: TFloatField;
Query1FloatField24: TFloatField; Query1FloatField25: TFloatField;
Query1FloatField26: TFloatField; Query1StringField17: TStringField;
Query1FloatField27: TFloatField; Query1Marka: TStringField;
Query1LitrT_KM: TFloatField; Query1LitrT_KMQ1: TCurrencyField;
Query1LitrT_KM_NormaQ1: TCurrencyField;
procedure Query2CalcFields(DataSet: TDataSet);
procedure Query1CalcFields(DataSet: TDataSet);
private
public
end;
var
DataModule1: TDataModule1;
implementation
{$R *.DFM}
procedure TDataModule1.Query2CalcFields(DataSet: TDataSet);
begin
with DataModule1.Query2 do
begin
if FieldByName('Всего тонно-км').AsFloat<>0 then
begin
FieldByName('LitrT_KMQ').AsFloat:=
FieldByName('Расход горючего-факт').AsFloat/
FieldByName('Всего тонно-км').AsFloat;
FieldByName('LitrT_KM_NormaQ').AsFloat:=
FieldByName('Расход горючего -норма').AsFloat/

```

```

FieldByName('Всего тонно-км').AsFloat;
end
else
begin
FieldByName('LitrT_KM_NormaQ').AsFloat:=0;
FieldByName('LitrT_KMQ').AsFloat:=0;
end;
end;
end;
procedure TDataModule1.Query1CalcFields(DataSet: TDataSet);
begin
with DataModule1.Query1 do
begin
if FieldByName('Всего тонно-км').AsFloat<>0 then
begin
FieldByName('LitrT_KMQ1').AsFloat:=
FieldByName('Расход горючего-факт').AsFloat/
FieldByName('Всего тонно-км').AsFloat;
FieldByName('LitrT_KM_NormaQ1').AsFloat:=
FieldByName('Расход горючего -норма').AsFloat/
FieldByName('Всего тонно-км').AsFloat;
end
else
begin
FieldByName('LitrT_KM_NormaQ1').AsFloat:=0;
FieldByName('LitrT_KMQ1').AsFloat:=0;
end;
end;
end;
end.
unit AvtoModul;
interface
uses
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
DB, DBTables;
type
TDataModule1 = class(TDataModule)
Table1: TTable; DataSource1: TDataSource;
Table1GosNomer: TStringField; Table1ZavNimer: TStringField;

```

Table1InvNomer: TStringField; Table1GodVipuska: TStringField;
 Table1DataVvoda: TStringField; Table1Cena: TFloatField;
 Table1Ctoimost: TFloatField; Table1MarkaDvig: TStringField;
 Table1ZavNomerDvig: TStringField; Table1GodVipDvig: TStringField;
 Table1FIO: TStringField; Table1Brigada: TSmallintField;
 Table1Podrazdelen: TStringField; Table1NomerKr: TSmallintField;
 Table1NomerKRDvig: TSmallintField; Table1Marka: TStringField;
 Table2: TTable; DataSource2: TDataSource;
 Table3: TTable; DataSource3: TDataSource;
 Table4: TTable; DataSource4: TDataSource;
 Table5: TTable; DataSource5: TDataSource;
 Query1: TQuery; DataSource6: TDataSource;
 Query2: TQuery; DataSource7: TDataSource;
 Table5DateField: TDateField; Table5StringField: TStringField;
 Table5StringField2: TStringField; Table5StringField3: TStringField;
 Table5StringField4: TStringField; Table5StringField5: TStringField;
 Table5StringField1: TStringField; Table5StringField22: TStringField;
 Table5StringField32: TStringField; Table5StringField6: TStringField;
 Table5SmallintField: TSmallintField; Table5SmallintField2: TSmallint-
 Field;
 Table5SmallintField3: TSmallintField; Table5SmallintField4: TSmallint-
 Field;
 Table5SmallintField5: TSmallintField; Table5SmallintField6: TSmallint-
 Field;
 Table5SmallintField7: TSmallintField; Table5SmallintField8: TSmallint-
 Field;
 Table5FloatField: TFloatField; Table5FloatField2: TFloatField;
 Table5_: TFloatField; Table5FloatField3: TFloatField;
 Table5StringField7: TStringField; Table5SmallintField9: TSmallintField;
 Table5SmallintField10: TSmallintField; Table5SmallintField11: TSmallint-
 Field;
 Table5SmallintField12: TSmallintField; Table5FloatField4: TFloatField;
 Table5FloatField5: TFloatField; Table5FloatField6: TFloatField;
 Table5StringField8: TStringField; Table5StringField9: TStringField;
 Table5StringField10: TStringField; Table5StringField11: TStringField;
 Table5StringField12: TStringField; Table5SmallintField13: TSmallintField;
 Table5FloatField7: TFloatField; Table5FloatField8: TFloatField;
 Table5StringField13: TStringField; Table5StringField14: TStringField;
 Table5StringField15: TStringField; Table5StringField16: TStringField;

Table5FloatField9: TFloatField; Table5FloatField10: TFloatField;
Table5FloatField11: TFloatField; Table5FloatField12: TFloatField;
Table5FloatField13: TFloatField; Table5FloatField14: TFloatField;

Table5FloatField15: TFloatField; Table5FloatField16: TFloatField;
Table5FloatField17: TFloatField; Table5FloatField18: TFloatField;
Table5SmallintField14: TSmallintField;
Table5FloatField19: TFloatField; Table5FloatField20: TFloatField;
Table5FloatField21: TFloatField; Table5FloatField22: TFloatField;
Table5FloatField23: TFloatField; Table5FloatField24: TFloatField;
Table5FloatField25: TFloatField; Table5FloatField26: TFloatField;
Table5StringField17: TStringField; Table5FloatField27: TFloatField;
Table5Marka: TStringField;
Table5LitrT_KM_Norma: TCurrencyField;
Table5LitrT_KM: TCurrencyField; Query2LitrT_KMQ: TCurrencyField;
Query2LitrT_KM_NormaQ: TCurrencyField;
Query2DateField: TDateField; Query2StringField: TStringField;
Query2StringField2: TStringField; Query2StringField3: TStringField;
Query2StringField4: TStringField; Query2StringField5: TStringField;
Query2StringField1: TStringField; Query2StringField22: TStringField;
Query2StringField32: TStringField; Query2StringField6: TStringField;
Query2SmallintField: TSmallintField; Query2SmallintField2: TSmallint-
Field;
Query2SmallintField3: TSmallintField; Query2SmallintField4: TSmallint-
Field;
Query2SmallintField5: TSmallintField; Query2SmallintField6: TSmallint-
Field;
Query2SmallintField7: TSmallintField; Query2SmallintField8: TSmallint-
Field;
Query2FloatField: TFloatField; Query2FloatField2: TFloatField;
Query2_: TFloatField; Query2FloatField3: TFloatField;
Query2StringField7: TStringField; Query2SmallintField9: TSmallintField;
Query2SmallintField10: TSmallintField; Query2SmallintField11: TSmall-
intField;
Query2SmallintField12: TSmallintField; Query2FloatField4: TFloatField;
Query2FloatField5: TFloatField; Query2FloatField6: TFloatField;
Query2StringField8: TStringField; Query2StringField9: TStringField;
Query2StringField10: TStringField; Query2StringField11: TStringField;

Query2StringField12: TStringField; Query2SmallintField13: TSmallint-
Field;

Query2FloatField7: TFloatField; Query2FloatField8: TFloatField;
Query2StringField13: TStringField; Query2StringField14: TStringField;
Query2StringField15: TStringField; Query2StringField16: TStringField;
Query2FloatField9: TFloatField; Query2FloatField10: TFloatField;
Query2FloatField11: TfloatField; Query2FloatField12: TFloatField;
Query2FloatField13: TFloatField; Query2FloatField14: TFloatField;
Query2FloatField15: TFloatField; Query2FloatField16: TFloatField;
Query2FloatField17: TFloatField; Query2FloatField18: TFloatField;
Query2SmallintField14: TSmallintField;
Query2FloatField19: TFloatField; Query2FloatField20: TFloatField;

Query2FloatField21: TFloatField; Query2FloatField22: TFloatField;
Query2FloatField23: TFloatField; Query2FloatField24: TFloatField;
Query2FloatField25: TFloatField; Query2FloatField26: TFloatField;
Query2StringField17: TStringField; Query2FloatField27: TFloatField;
Query2Marka: TStringField; Query2LitrT_KM: TFloatField;
Query1DateField: TDateField; Query1StringField: TStringField;
Query1StringField2: TStringField; Query1StringField3: TStringField;
Query1StringField4: TStringField; Query1StringField5: TStringField;
Query1StringField1: TStringField; Query1StringField22: TStringField;
Query1StringField32: TStringField; Query1StringField6: TStringField;
Query1SmallintField: TSmallintField; Query1SmallintField2: TSmallint-
Field;
Query1SmallintField3: TSmallintField; Query1SmallintField4: TSmallint-
Field;
Query1SmallintField5: TSmallintField; Query1SmallintField6: TSmallint-
Field;
Query1SmallintField7: TSmallintField; Query1SmallintField8: TSmallint-
Field;
Query1FloatField: TFloatField; Query1FloatField2: TFloatField;
Query1_: TFloatField; Query1FloatField3: TFloatField;
Query1StringField7: TStringField; Query1SmallintField9: TSmallintField;
Query1SmallintField10: TSmallintField; Query1SmallintField11: TSmall-
intField;
Query1SmallintField12: TSmallintField; Query1FloatField4: TFloatField;
Query1FloatField5: TFloatField; Query1FloatField6: TFloatField;
Query1StringField8: TStringField; Query1StringField9: TStringField;

```

Query1StringField10: TStringField; Query1StringField11: TStringField;
Query1StringField12: TStringField; Query1SmallintField13: TSmallint-
Field;
Query1FloatField7: TFloatField; Query1FloatField8: TFloatField;
Query1StringField13: TStringField; Query1StringField14: TStringField;
Query1StringField15: TStringField; Query1StringField16: TStringField;
Query1FloatField9: TFloatField; Query1FloatField10: TFloatField;
Query1FloatField11: TFloatField; Query1FloatField12: TFloatField;
Query1FloatField13: TFloatField; Query1FloatField14: TFloatField;
Query1FloatField15: TFloatField; Query1FloatField16: TFloatField;
Query1FloatField17: TFloatField; Query1FloatField18: TFloatField;
Query1SmallintField14: TSmallintField; Query1FloatField19: TFloatField;
Query1FloatField20: TFloatField; Query1FloatField21: TFloatField;
Query1FloatField22: TFloatField; Query1FloatField23: TFloatField;
Query1FloatField24: TFloatField; Query1FloatField25: TFloatField;
Query1FloatField26: TFloatField; Query1StringField17: TStringField;
Query1FloatField27: TFloatField; Query1Marka: TStringField;
Query1LitrT_KM: TFloatField; Query1LitrT_KMQ1: TCurrencyField;
Query1LitrT_KM_NormaQ1: TCurrencyField;
procedure Query2CalcFields(DataSet: TDataSet);
procedure Query1CalcFields(DataSet: TDataSet);
private
{ Private declarations }
public
{ Public declarations }
end;
var
DataModule1: TDataModule1;
implementation
{$R *.DFM}
procedure TDataModule1.Query2CalcFields(DataSet: TDataSet);
begin
with DataModule1.Query2 do
begin
if FieldByName('Всего тонно-км').AsFloat<>0 then
begin
FieldByName('LitrT_KMQ').AsFloat:=
FieldByName('Расход горючего-факт').AsFloat/
FieldByName('Всего тонно-км').AsFloat;

```

```

FieldByName('LitrT_KM_NormaQ').AsFloat:=
FieldByName('Расход горючего -норма').AsFloat/
FieldByName('Всего тонно-км').AsFloat;
end
else
begin
FieldByName('LitrT_KM_NormaQ').AsFloat:=0;
FieldByName('LitrT_KMQ').AsFloat:=0;
end;
end;
end;
procedure TDataModule1.Query1CalcFields(DataSet: TDataSet);
begin
with DataModule1.Query1 do
begin
if FieldByName('Всего тонно-км').AsFloat<>0 then
begin
FieldByName('LitrT_KMQ1').AsFloat:=
FieldByName('Расход горючего-факт').AsFloat/
FieldByName('Всего тонно-км').AsFloat;
FieldByName('LitrT_KM_NormaQ1').AsFloat:=
FieldByName('Расход горючего -норма').AsFloat/
FieldByName('Всего тонно-км').AsFloat;
end
else
begin
FieldByName('LitrT_KM_NormaQ1').AsFloat:=0;
FieldByName('LitrT_KMQ1').AsFloat:=0;
end;
end;
end;
end.

```

unit AvtoOne2;

interface

uses

SysUtils, Windows, Messages, Classes, Graphics, Controls,

StdCtrls, Forms, DBCtrls, DB, DBGrids, DBTables, Grids, ExtCtrls, Dia-

logs,

```

DBLookup;
type
TFormAvtoOne2 = class(TForm)
DBNavigator: TDBNavigator;
Panel1: TPanel;
Panel2: TPanel;
DBGrid1: TDBGrid;
procedure FormActivate(Sender: TObject);
procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
private
{ private declarations }
public
{ public declarations }
end;
var
FormAvtoOne2: TFormAvtoOne2;
implementation
uses AvtoModul, AvtoMarka ;
{$R *.DFM}
procedure TFormAvtoOne2.FormActivate(Sender: TObject);
var i:integer;
begin
DataModule1.Table1.Open;
DataModule1.Table2.Open;
DBGrid1.Columns[15].PickList.Clear;
DataModule1.Table2.DisableControls;
DataModule1.Table2.First;
while DataModule1.Table2.Eof=False do
begin
DBGrid1.Columns[15].PickList.Add(DataModule1.Table2.FieldName('
Marka').AsString);
DataModule1.Table2.Next;
end;
DataModule1.Table2.EnableControls;
end;
procedure TFormAvtoOne2.FormClose(Sender: TObject;
var Action: TCloseAction);
begin
DataModule1.Table2.Close;

```

```

DataModule1.Table1.Close;
end;
end.
unit AvtoPut_List;
interface
uses
SysUtils, Windows, Messages, Classes, Graphics, Controls, Dialogs,
StdCtrls, Forms, DBCtrls, DB, DBTables, Mask, ExtCtrls, Buttons;
type
TFormAvtoPut_List = class(TForm)
DBNavigator: TDBNavigator;
Panel1: TPanel;
Panel2: TPanel;
Panel3: TPanel;
EditDBEdit11: TDBEdit; EditDBEdit12: TDBEdit;
EditDBEdit13: TDBEdit; EditDBEdit14: TDBEdit;
EditDBEdit15: TDBEdit; EditDBEdit16: TDBEdit;
EditDBEdit17: TDBEdit; EditDBEdit18: TDBEdit;
Edit_: TDBEdit; EditDBEdit21: TDBEdit;
EditDBEdit19: TDBEdit; EditDBEdit20: TDBEdit;
Panel4: TPanel; EditDBEdit22: TDBEdit;
EditDBEdit23: TDBEdit; EditDBEdit24: TDBEdit;
EditDBEdit25: TDBEdit; EditDBEdit26: TDBEdit;
EditDBEdit27: TDBEdit; EditDBEdit28: TDBEdit;
EditDBEdit29: TDBEdit; Panel7: TPanel; Panel8: TPanel;
EditDBEdit42: TDBEdit; EditDBEdit43: TDBEdit;
EditDBEdit44: TDBEdit; EditDBEdit53: TDBEdit;

```

Продолжение прил. 1

```

EditDBEdit54: TDBEdit; EditDBEdit55: TDBEdit;
EditDBEdit56: TDBEdit; EditDBEdit57: TDBEdit;
EditDBEdit58: TDBEdit; EditDBEdit59: TDBEdit;
EditDBEdit60: TDBEdit; Panel9: TPanel;
Label2: TLabel; Label3: TLabel; Label4: TLabel;
Label5: TLabel; Label6: TLabel; Label7: TLabel;
Label8: TLabel; Label9: TLabel; Label10: TLabel;
EditDBEdit: TDBEdit; EditDBEdit2: TDBEdit;
EditDBEdit3: TDBEdit; EditDBEdit4: TDBEdit;
EditDBEdit7: TDBEdit; EditDBEdit8: TDBEdit;
EditDBEdit9: TDBEdit; EditDBEdit10: TDBEdit;

```

```

Label11: TLabel; Label12: TLabel; Label13: TLabel;
Label14: TLabel; Label15: TLabel; Label16: TLabel;
Label17: TLabel; Label18: TLabel; Label19: TLabel;
Label20: TLabel; Label21: TLabel; Label22: TLabel;
Label23: TLabel; Label24: TLabel; Label25: TLabel;
Label26: TLabel; Label27: TLabel; Label28: TLabel;
Label29: TLabel; Label30: TLabel; Label31: TLabel;
Label32: TLabel; Label33: TLabel; Label34: TLabel;
Label35: TLabel; Label36: TLabel; Label37: TLabel;
Label38: TLabel; Edit1: TEdit; Edit2: TEdit; Edit3: TEdit;
Label39: TLabel; Label40: TLabel; Label41: TLabel;
Label42: TLabel; Label43: TLabel; Label44: TLabel;
Label45: TLabel; Label46: TLabel; Label50: TLabel;
Label51: TLabel; DBComboBox1: TDBComboBox;
DBComboBox2: TDBComboBox; Label52: TLabel;
Label53: TLabel; DBEdit1: TDBEdit; DBEdit2: TDBEdit;
Button1: TButton; Edit5: TEdit; Button2: TButton;
DBEdit3: TDBEdit;
procedure FormActivate(Sender: TObject);
procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
procedure DBComboBox1Click(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
private
{ private declarations }
public
{ public declarations }
end;
var
FormAvtoPut_List: TFormAvtoPut_List;
implementation
uses AvtoModul;
{$R *.DFM}
procedure TFormAvtoPut_List.FormActivate(Sender: TObject);
begin
DBComboBox1.Clear;
DataModule1.Table5.Open;
DataModule1.Table1.Open;
DataModule1.Table1.DisableControls;

```

```

DataModule1.Table1.First;
while DataModule1.Table1.Eof=False do
begin
  DBCom-
boBox1.Items.Add(DataModule1.Table1.FieldName('GosNomer').AsString);
  DataModule1.Table1.Next;
end;
DataModule1.Table1.EnableControls;
DBComboBox2.Clear;
DataModule1.Table4.Open;
DataModule1.Table4.DisableControls;
DataModule1.Table4.First;
while DataModule1.Table4.Eof=False do
begin
  DBComboBox2.Items.Add(DataModule1.Table4.Fields[0].AsString);
  DataModule1.Table4.Next;
end;
DataModule1.Table4.EnableControls;
DataModule1.Table4.Close;
end;
procedure TFormAvtoPut_List.FormClose(Sender: TObject;
var Action: TCloseAction);
begin
  DataModule1.Table1.Close;
  DataModule1.Table5.Close;
end;
procedure TFormAvtoPut_List.DBComboBox1Click(Sender: TObject);
begin
  DataModule1.Table1.DisableControls;
  DataModule1.Table1.First;
  while DataModule1.Table1.Eof=False do
  begin
    If DataMod-
ule1.Table1.FieldName('GosNomer').AsString=DBComboBox1.Items[DBCo
mboBox1.ItemIndex]
  then
  begin
    DBEdit3.Text:=DataModule1.Table1.FieldName('Marka').AsString;

```

```

DBComboBox2.Text:=DataModule1.Table1.FieldByName('FIO').AsString;
end;
DataModule1.Table1.Next;
end;
DataModule1.Table1.EnableControls;
DataModule1.Table2.Open;
DataModule1.Table2.DisableControls;
DataModule1.Table2.First;
while DataModule1.Table2.Eof=False do
begin
If DataModule1.Table2.FieldByName('Marka').AsString=DBEdit3.Text
then
EditDBE-
dit22.Text:=DataModule1.Table2.FieldByName('Toplivo').AsString;
DataModule1.Table2.Next;
end;
DataModule1.Table2.EnableControls;
DataModule1.Table2.Close;
end;
procedure TFormAvtoPut_List.Button1Click(Sender: TObject);
begin
{Вызов расхода на 100 км}
Edit5.Text:='0';
DataModule1.Table2.Open;
DataModule1.Table2.DisableControls;
DataModule1.Table2.First;
while DataModule1.Table2.Eof=False do
begin
If DataModule1.Table2.FieldByName('Marka').AsString=DBEdit3.Text
then
Edit5.Text:=DataModule1.Table2.FieldByName('Rasxod').AsString;
DataModule1.Table2.Next;
end;
DataModule1.Table2.EnableControls;
DataModule1.Table2.Close;
{Расчет расхода и др параметров}
with DAtaModule1 do
begin

```

```

Table5.Edit;
Table5.FieldName('Пробег общий авто').AsInteger:=
Table5.FieldName('Возврат-спидометр').AsInteger-
Table5.FieldName('Выезд-спидометр').AsInteger;
Table5.FieldName('Пробег общий прицепа').AsInteger:=
Table5.FieldName('Возврат-спидометр').AsInteger-
Table5.FieldName('Выезд-спидометр').AsInteger;
Table5.FieldName('Пробег с грузом авто').AsInteger:=
round((Table5.FieldName('Возврат-спидометр').AsInteger-
Table5.FieldName('Выезд-спидометр').AsInteger)/2);
Table5.FieldName('Пробег с грузом прицепа').AsInteger:=
round((Table5.FieldName('Возврат-спидометр').AsInteger-
Table5.FieldName('Выезд-спидометр').AsInteger)/2);
Table5.FieldName('Всего тонно-км').AsInteger:=
Table5.FieldName('Пробег с грузом авто').AsInteger*
Table5.FieldName('Перевезено всего, Т').AsInteger;
Table5.FieldName('Тонно-км на прицепах').AsInteger:=
Table5.FieldName('Перевезено на прицепах, Т').AsInteger*
Table5.FieldName('Пробег с грузом прицепа').AsInteger;
Table5.FieldName('Расход горючего-факт').AsInteger:=
Table5.FieldName('Выдано горючего,л').AsInteger+
Table5.FieldName('Выезд-остаток,л').AsInteger-
Table5.FieldName('Возврат-остаток,л').AsInteger;
Table5.FieldName('Расход горючего -норма').AsFloat:=
0.01*(StrToFloat(Edit5.Text)*Table5.FieldName('Пробег общий
авто').AsFloat+
2*Table5.FieldName('Всего тонно-км').AsInteger)*
Table5.FieldName('Коэф.измен.нормы').AsFloat;
Table5.Post;
end;
end;
procedure TFormAvtoPut_List.Button2Click(Sender: TObject);
begin
EditDbEdit.Text:=DateToStr(Date);
end;
end.
unit AvtoSpravka;
interface
uses
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,

```

```

ExtCtrls, DBCtrls, Grids, DBGrids, Db, DBTables, StdCtrls, ComCtrls;
const N=906;
TextCells0:array[0..5] of string =(
'Выбор группы из массива данных',
'Ввод строки поиска по заданному ключу',
'Выбор ключа для сортировки и поиска',
'Процесс сканирования базы данных по выбранному ключу ',
'Показ всей базы данных по автомобилям',
'Процесс сканирования базы данных закончен');
type
 TFormAvtoSpravka = class(TForm)
 Panel1: TPanel;
 DBGrid1: TDBGrid;
 StatusBar1: TStatusBar;
 Panel2: TPanel;
 Label1: TLabel; Label3: TLabel;
 ComboBox2: TComboBox; Edit1: TEdit; ComboBox1: TComboBox;
 DBNavigator1: TDBNavigator;
 Button2: TButton; Button1: TButton; Edit2: TEdit; Button3: TButton;
 Label2: TLabel;
 ProgressBar1: TProgressBar;
 procedure Button1Click(Sender: TObject);
 procedure Edit1Change(Sender: TObject);
 procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
 procedure ComboBox2Click(Sender: TObject);
 procedure ScanBaza(Ntab:integer);
 procedure ComboBox1Click(Sender: TObject);
 procedure Button2Click(Sender: TObject);
 procedure Button2MouseDown(Sender: TObject; Button: TMouseButton;
 Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
 procedure Edit1Click(Sender: TObject);
 procedure Button3Click(Sender: TObject);
 procedure Edit2KeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
 procedure FormActivate(Sender: TObject);
 private
 { Private declarations }
 public
 { Public declarations }
 end;
 var
 FormAvtoSpravka: TFormAvtoSpravka;

```

```

N_ComboBox:longInt;
implementation
uses AvtoModul;
{$R *.DFM}
procedure TFormAvtoSpravka.Button1Click(Sender: TObject);
{var i:word;
f:textfile;
name1,baza1: array[1..N] of string[20];
tip: array[1..N] of string[20];
g,gd,m1,m2,m3,m4:array[1..N] of real;
begin
AssignFile(f,'baza.txt');
reset(f);
for i:=1 to N do
begin
readln(f,name1[i]);
readln(f,baza1[i]); readln(f,g[i]); readln(f,gd[i]); readln(f,m1[i]);
readln(f,m2[i]); readln(f,m3[i]); readln(f,m4[i]); readln(f,tip[i]);
end;
closeFile(f);
Table1.First;
for i:=1 to N do
begin
Table1.Insert;
Table1.Fields[0].AsString:=IntToStr(i);
Table1.Fields[1].AsString:=Name1[i];
Table1.Fields[2].AsString:=Baza1[i];
Table1.Fields[3].AsString:=Tip[i];
Table1.Fields[8].AsFloat:=g[i];
Table1.Fields[9].AsFloat:=gd[i];
Table1.Fields[11].AsFloat:=m1[i];
Table1.Fields[12].AsFloat:=m2[i];
Table1.Fields[13].AsFloat:=m3[i];
Table1.Fields[14].AsFloat:=m4[i];
Table1.Post;
end;}
begin
DataModule1.Table2.Filtered:=False;
StatusBar1.Panels.Items[0].Text:=TextCells0[4];
end;

```

```

procedure TFormAvtoSpravka.Edit1Change(Sender: TObject);
begin
  If comboBox2.ItemIndex<>-1 then
  begin
    if (DataModule1.Table2.IndexFieldNames<>'Gruz') and
      (DataModule1.Table2.IndexFieldNames<>'Rasxod')
    then
    begin
      DataModule1.Table2.SetKey;
      DataMod-
ule1.Table2.FieldByName(DataModule1.Table2.IndexFieldNames).AsString:=E
dit1.Text;
      DataModule1.Table2.GoToNearest;
    end else ShowMessage('Поиск по данному полю не производится.');
```

```

    end else ShowMessage('Выберите ключ для поиска!');
    end;
    procedure TFormAvtoSpravka.FormClose(Sender: TObject; var Action:
TCloseAction);
    begin
      DataModule1.Table2.Close;
    end;
    procedure TFormAvtoSpravka.ScanBaza(Ntab:integer);
    var StrLOk:string;
    kod:boolean;
    i:LongInt;
    begin
      ComboBox1.Clear;
      DataModule1.Table2.DisableControls;
      DataModule1.Table2.First;
      StrLOk:="";
      N_ComboBox:=0;
      kod:=False;
      ProgressBar1.Max:=950;
      ProgressBar1.Position:=0;
      while DataModule1.Table2.EOF=False do
      begin
        for i:=0 to N_ComboBox do {Проверка на наличие в списке записи}
          if DataModule1.Table2.Fields[Ntab].AsString=ComboBox1.Items[i] then
            kod:=True;

```

```

if kod= false {and (Table1.Fields[5].AsString<>"")}
then
begin
ComboBox1.Items.Add(DataModule1.Table2.Fields[Ntab].AsString);
Inc(N_ComboBox);
end;
DataModule1.Table2.Next; kod:=False;
ProgressBar1.Position:=
ProgressBar1.Position+1;
end;
DataModule1.Table2.EnableControls;
Beep;
StatusBar1.Panels.Items[0].Text:=TextCells0[5];
ProgressBar1.Position:=0;
end;
procedure TFormAvtoSpravka.ComboBox2Click(Sender: TObject);
begin
if ComboBox2.ItemIndex<>-1 then
begin with DataModule1.Table2 do
case ComboBox2.ItemIndex of
0: IndexFieldNames:='IndexA';
1: IndexFieldNames:='Marka';
2: IndexFieldNames:='Model';
3: IndexFieldNames:='Tip';
4: IndexFieldNames:='Topливо';
5: IndexFieldNames:='Gruz';
6: IndexFieldNames:='Dvig';
7: IndexFieldNames:='Rasxod';
end;
Label2.Caption:=ComboBox2.Text;
ComboBox1.Clear;
StatusBar1.Panels.Items[0].Text:=TextCells0[2];
end;
end;
procedure TFormAvtoSpravka.ComboBox1Click(Sender: TObject);
begin
if comboBox1.ItemIndex<>-1 then with DataModule1.Table2 do
begin
Filtered:=False;

```

```

Fil-
ter:="+IndexFieldNames+'="'+ComboBox1.Items[ComboBox1.ItemIndex]+'";
Filtered:=True;
StatusBar1.Panels.Items[0].Text:=TextCells0[0];
end else showMessage('Выберите что Вам требуется!');
end;
procedure TFormAvtoSpravka.Button2Click(Sender: TObject);
begin
if ComboBox2.ItemIndex in [1,2,3,4,6] then Scan-
База(ComboBox2.ItemIndex)
else ComboBox1.Clear;
end;
procedure TFormAvtoSpravka.Button2MouseDown(Sender: TObject; But-
ton: TMouseButton;
Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
begin
StatusBar1.Panels.Items[0].Text:=TextCells0[3];
end;
procedure TFormAvtoSpravka.Edit1Click(Sender: TObject);
begin
StatusBar1.Panels.Items[0].Text:=TextCells0[1];
end;
procedure TFormAvtoSpravka.Button3Click(Sender: TObject);
begin
DataModule1.Table2.DisableControls;
DataModule1.Table2.First;
while DataModule1.Table2.EOF=False do
begin
if DataModule1.Table2.Fields[0].AsInteger<>StrToInt(Edit2.Text)
then DataModule1.Table2.Next else
begin
ShowMessage('Ключ уже существует');
DataModule1.Table2.EnableControls;
Exit
end;
end;
end;

```

```

DataModule1.Table2.EnableControls;
DataModule1.Table2.Insert;
{ Table1.Edit;
Table1.Fields[0].AsInteger:=StrToInt(Edit2.Text);
Table1.Post;}
end;
procedure TFormAvtoSpravka.Edit2KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
begin
if Key in ['0'..'9'] then Key:=Chr(ord(Key))
else
Begin
Beep;
key:=#27;
ShowMessage('Пиши целое число!');
end;
end;
procedure TFormAvtoSpravka.FormActivate(Sender: TObject);
begin
DataModule1.Table2.Open;
end;
end.

unit AvtoVoditeli;
interface
uses
SysUtils, Windows, Messages, Classes, Graphics, Controls,
StdCtrls, Forms, DBCtrls, DB, DBGrids, DBTables, Grids, ExtCtrls;
type
TFormAvtoVoditeli = class(TForm)
DBGrid1: TDBGrid;
DBNavigator: TDBNavigator;
Panel1: TPanel;
Panel2: TPanel;
procedure FormActivate(Sender: TObject);
procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);

```

```
private
{ private declarations }
public
{ public declarations }
end;
var
FormAvtoVoditeli: TFormAvtoVoditeli;
implementation
uses AvtoModul;
{$R *.DFM}
procedure TFormAvtoVoditeli.FormActivate(Sender: TObject);
begin
DataModule1.Table4.Open;
end;
procedure TFormAvtoVoditeli.FormClose(Sender: TObject;
var Action: TCloseAction);
begin
DataModule1.Table4.Close;
end;
end.
```

Листинг программа «Сигнализатор ТО»

```

program sign_to;
uses
  Forms,
  sign in 'sign.pas' {Form1},
  vibor in 'vibor.pas' {Form2},
  notrealize in 'notrealize.pas' {Form3};
  {$R *.res}
begin
  Application.Initialize;
  Application.CreateForm(TForm1, Form1);
  Application.CreateForm(TForm2, Form2);
  Application.CreateForm(TForm3, Form3);
  Application.Run;
end.

```

```

unit sign;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls,
Forms,
  Dialogs, StdCtrls, ComCtrls, Menus, ExtCtrls, TeeProcs, TeEngine, Chart,
  Series, Grids, DBGrids, DB, DBTables, DbChart;
type
  TForm1 = class(TForm)
    MainMenu1: TMainMenu;
    N1: TMenuItem; N2: TMenuItem; N3: TMenuItem; N4: TMenuItem;
    Label1: TLabel; Label2: TLabel;
    DateTimePicker1: TDateTimePicker; DateTimePicker2: TDateTimePicker;
    Button1: TButton; GroupBox1: TGroupBox;
    Chart1: TDBChart; Chart2: TDBChart; Chart3: TDBChart;
    Chart4: TDBChart; Chart5: TDBChart; Series1: TBarSeries;
    Series2: TBarSeries; Series3: TBarSeries; Series4: TBarSeries;
    Series5: TBarSeries;
    Table1: TTable; Table2: TTable;
    DataSource1: TDataSource;
    DataSource2: TDataSource;
    N5: TMenuItem; N8: TMenuItem;
    Label3: TLabel; Label4: TLabel; Label5: TLabel; Label6: TLabel;

```

```

Label7: TLabel; Label8: TLabel; Label9: TLabel; Label10: TLabel;
Query1: TQuery;
Label11: TLabel; Label12: TLabel; Label13: TLabel;
Label14: TLabel; Label15: TLabel; Label16: TLabel;
N6: TMenuItem; N7: TMenuItem;
ke1: TMenuItem; ke2: TMenuItem; ke3: TMenuItem;
ke4: TMenuItem; ke5: TMenuItem; kr1: TMenuItem;
kr2: TMenuItem; kr3: TMenuItem; kr4: TMenuItem;
kr5: TMenuItem;

DBGrid1: TDBGrid; DBGrid2: TDBGrid;
procedure N5Click(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Create_Alias(MyAlias:string);
procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
procedure ke1Click(Sender: TObject);
procedure ke2Click(Sender: TObject);
procedure ke3Click(Sender: TObject);
procedure ke4Click(Sender: TObject);
procedure ke5Click(Sender: TObject);
procedure kr1Click(Sender: TObject);
procedure kr2Click(Sender: TObject);
procedure kr3Click(Sender: TObject);
procedure kr4Click(Sender: TObject);
procedure kr5Click(Sender: TObject);
procedure N2Click(Sender: TObject);
procedure N4Click(Sender: TObject);
procedure N8Click(Sender: TObject);
private
{ Private declarations }
public
{ Public declarations }
goska: string [10]; marka: string [20]; tipa : string [30];
probegt: integer; nominalm: real; kritikalm: real;
tekm: real; end;
var
Form1: TForm1;
i: integer;

```

```

implementation
uses vibor, notrealize;
{$R *.dfm}
//процедура выбора авто по госномеру
procedure TForm1.N5Click(Sender: TObject);
begin
Form2.Show;
end;
procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
begin
// DataSource1.DataSet.Active:=True;
// DataSource2.DataSet.Active:=True;
Form1.Create_Alias('base');
Form1.Table1.Open;
Form1.Table2.Open;
Label4.Caption:="";
Label6.Caption:="";
Label8.Caption:="";
Label10.Caption:="";
Label12.Caption:="";
Label14.Caption:="";
Label16.Caption:="";
// чекаем коэффициенты
Form1.ke1.Checked:=true;
Form1.kr1.Checked:=true;
end;
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
var
rlnastokm: double;
nominalka,otnosm: real;
tost:real;
dataz: TDate;
koefke, koefkr: real;
begin
Create_Alias('base');
Series1.Clear;
Series2.Clear;
Series3.Clear;
Series4.Clear;

```

```

Series5.Clear;
With Query1 do begin
If Active then Close;
SQL.Clear;
SQL.Add('Select * from datchig where (datchig."Госномер"="'+goska+'")
and (datchig."Дата" between "'+DateToStr(DateTimePicker1.Date)+'" and "'+
DateToStr(DateTimePicker2.Date)+'"');
Prepare;
Open;
end;
Series1.Clear;
Form1.Table2.First;
repeat
if Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[0].AsString = Form1.goska
then begin
dataz:= Form1.DateTimePicker1.DateTime - 1;
if (Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[1].AsDateTime >= dataz)
and (Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[1].AsDateTime <=
Form1.DateTimePicker2.DateTime)
then begin
rlnastokm:=(Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[5].AsInteger
/ Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[4].AsInteger) * 100;
Chart1.Series[0].AddXY(
Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[1].AsDateTime,
rlnastokm,
Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[1].AsString,
clYellow);
end;
end;
until Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.FindNext = false ;
With Series2 do begin
Clear;
ParentChart:=Chart2;
DataSource:=Query1;
XLabelsSource:='Дата';
XValues.ValueSource:= 'Дата';
YValues.ValueSource:= 'Время работы двигателя';
CheckDatasource;
end;

```

```

With Series3 do begin
Clear;
ParentChart:=Chart3;
DataSource:=Query1;
XLabelsSource:='Дата';
XValues.ValueSource:= 'Дата';
YValues.ValueSource:= 'Пробег';
CheckDatasource;
end;
With Series4 do begin
Clear;
ParentChart:=Chart4;
DataSource:=Query1;
XLabelsSource:='Дата';
XValues.ValueSource:= 'Дата';
YValues.ValueSource:= 'Измеренная мощность';
CheckDatasource;
end;
// (измеренн.мощность "из датчика" [2]/ ном. мощность "бд авто" [2])
*100 %
Series4.Clear;
nominalka:= Form1.nominalm;
Form1.tekm:=0;
Form1.Table2.First;
repeat
if Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[0].AsString = Form1.goska
then begin
dataz:= Form1.DateTimePicker1.DateTime - 1;
if (Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[1].AsDateTime >= dataz)
and (Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[1].AsDateTime <=
Form1.DateTimePicker2.DateTime)
then begin
otnosm:=(Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[2].AsFloat / nomi-
nalka) * 100;
Chart4.Series[0].AddXY(
Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[1].AsDateTime,
otnosm,
Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[1].AsString,
clBlue);

```

```

Form1.tekm:=Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[2].AsFloat;
end;
end;
until Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.FindNext = false ;
if Form1.tekm <> 0 then Form1.Label16.Caption:= FloatToStr(Form1.tekm)
else Form1.Label16.Caption:='<нет данных!>';
if ke1.Checked then koefke:= 1.0;
if ke2.Checked then koefke:= 0.9;
if ke3.Checked then koefke:= 0.8;
if ke4.Checked then koefke:= 0.7;
if ke5.Checked then koefke:= 0.6;
if kr1.Checked then koefkr:= 1.0;
if kr2.Checked then koefkr:= 0.9;
if kr3.Checked then koefkr:= 0.9;
if kr4.Checked then koefkr:= 0.8;
if kr5.Checked then koefkr:= 0.8;
if Form1.tekm <> 0 then begin
tost:= abs((Form1.kritikalm – Form1.tekm)/(Form1.tekm –
Form1.nominalm))
* 16000 * koefke * koefkr;
Series5.Clear;
Chart5.Series[0].AddXY(
tost,
tost,
'До следующего ТО',
clGray);
end;
end;
procedure TForm1.Create_Alias(MyAlias:string);
var
AParams: TStringList;
Dir: string;
begin
Dir:= ExtractFilePath(ParamStr(0)) + MyAlias; // Путь к базе
AParams:= TStringList.Create;
//Проверка существования псевдонима dbBaza
if not Session.IsAlias(MyAlias) then
begin

```

```

Session.AddStandardAlias(MyAlias, Dir, 'PARADOX');
// кто-то добавил, а то не записывает
Session.SaveConfigFile;
end
else
try
begin
AParams.Clear;
AParams.Add('PATH=' + Dir);
Session.ModifyAlias(MyAlias, AParams);
Session.SaveConfigFile;
end;
finally
AParams.Free;
end;
end;
procedure TForm1.FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
begin
Series1.Clear;
Series2.Clear;
Series3.Clear;
Series4.Clear;
Series5.Clear;
Table2.CLOSE;
Table1.CLOSE;
Query1.CLOSE;
end;
procedure TForm1.ke1Click(Sender: TObject);
begin
Form1.ke1.Checked:=true;
Form1.ke2.Checked:=false;
Form1.ke3.Checked:=false;
Form1.ke4.Checked:=false;
Form1.ke5.Checked:=false;
end;
procedure TForm1.ke2Click(Sender: TObject);
begin
Form1.ke1.Checked:=false;
Form1.ke2.Checked:=true;

```

```
Form1.ke3.Checked:=false;
Form1.ke4.Checked:=false;
Form1.ke5.Checked:=false;
end;
procedure TForm1.ke3Click(Sender: TObject);
begin
Form1.ke1.Checked:=false;
Form1.ke2.Checked:=false;
Form1.ke3.Checked:=true;
Form1.ke4.Checked:=false;
Form1.ke5.Checked:=false;
end;
procedure TForm1.ke4Click(Sender: TObject);
begin
Form1.ke1.Checked:=false;
Form1.ke2.Checked:=false;
Form1.ke3.Checked:=false;
Form1.ke4.Checked:=true;
Form1.ke5.Checked:=false;
end;
procedure TForm1.ke5Click(Sender: TObject);
begin
Form1.ke1.Checked:=false;
Form1.ke2.Checked:=false;
Form1.ke3.Checked:=false;
Form1.ke4.Checked:=false;
Form1.ke5.Checked:=true;
end;
procedure TForm1.kr1Click(Sender: TObject);
begin
Form1.kr1.Checked:=true;
Form1.kr2.Checked:=false;
Form1.kr3.Checked:=false;
Form1.kr4.Checked:=false;
Form1.kr5.Checked:=false;
end;
procedure TForm1.kr2Click(Sender: TObject);
begin
Form1.kr1.Checked:=false;
```

```
Form1.kr2.Checked:=true;
Form1.kr3.Checked:=false;
Form1.kr4.Checked:=false;
Form1.kr5.Checked:=false;
end;
procedure TForm1.kr3Click(Sender: TObject);
begin
Form1.kr1.Checked:=false;
Form1.kr2.Checked:=false;
Form1.kr3.Checked:=true;
Form1.kr4.Checked:=false;
Form1.kr5.Checked:=false;
end;
procedure TForm1.kr4Click(Sender: TObject);
begin
Form1.kr1.Checked:=false;
Form1.kr2.Checked:=false;
Form1.kr3.Checked:=false;
Form1.kr4.Checked:=true;
Form1.kr5.Checked:=false;
end;
procedure TForm1.kr5Click(Sender: TObject);
begin
Form1.kr1.Checked:=false;
Form1.kr2.Checked:=false;
Form1.kr3.Checked:=false;
Form1.kr4.Checked:=false;
Form1.kr5.Checked:=true;
end;
procedure TForm1.N2Click(Sender: TObject);
begin
Form3.Show;
end;
procedure TForm1.N4Click(Sender: TObject);
begin
Form3.Show;
end;
procedure TForm1.N8Click(Sender: TObject);
begin
```

```

Form1.Create_Alias('base');
// Form1.Close;
end;
end.

unit vibor;
interface
uses
Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls,
Forms,
Dialogs, StdCtrls;
type
TForm2 = class(TForm)
ComboGos: TComboBox;
Button1: TButton;
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
private
{ Private declarations }
public
{ Public declarations }
end;
var
Form2: TForm2;
implementation
uses sign, notrealize;
{$R *.dfm}
procedure TForm2.FormCreate(Sender: TObject);
begin
Form2.ComboGos.Items.Clear;
Form1.Table1.First;
repeat
Form2.ComboGos.AddItem(
Form1.DBGrid1.DataSource.DataSet.Fields[4].AsString,
Form1.DBGrid1.DataSource.DataSet.Fields[4]);
until Form1.DBGrid1.DataSource.DataSet.FindNext = false ;
//эта строка выбирает первый госномер списка
Form2.ComboGos.ItemIndex:=0;
//а эта может выбирать пустую строку

```

```

//Form2.ComboGos.ItemIndex:=-1;
end;
procedure TForm2.Button1Click(Sender: TObject);
var
probeg:integer;
begin
Form1.goska:= Form2.ComboGos.Text;
Form1.Label4.Caption:= Form1.goska;
Form1.Table1.First;
repeat
if Form3.DBGrid1.DataSource.DataSet.Fields[4].AsString = Form1.goska
then begin
Form1.marka:=Form3.DBGrid1.DataSource.DataSet.Fields[0].AsString;
Form1.tipa :=Form3.DBGrid1.DataSource.DataSet.Fields[1].AsString;
Form1.nominalm :=Form3.DBGrid1.DataSource.DataSet.Fields[2].AsFloat;
Form1.kritikalm :=Form3.DBGrid1.DataSource.DataSet.Fields[3].AsFloat;
end;
until Form3.DBGrid1.DataSource.DataSet.FindNext = false ;
Form1.Label6.Caption:= Form1.marka;
Form1.Label8.Caption:= Form1.tipa;
Form1.Label12.Caption:= FloatToStr(Form1.nominalm);
Form1.Label14.Caption:= FloatToStr(Form1.kritikalm);
probeg:=0;
Form1.Table2.First;
repeat
if Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[0].AsString = Form1.goska
then begin
probeg:=probeg+Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[4].AsInteger;
end;
until Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.FindNext = false ;
Form1.probegt := probeg;
if Form1.probegt <> 0 then Form1.Label10.Caption:= Int-
ToStr(Form1.probegt)
else Form1.Label10.Caption:= '<нет данных!>';
Form1.Label16.Caption:="";
Form2.Close;
end;
end.

```

```
unit notrealize;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls,
Forms,
  Dialogs, StdCtrls, ExtCtrls, DBCtrls, Grids, DBGrids;
type
  TForm3 = class(TForm)
    Button1: TButton;
    DBGrid1: TDBGrid;
    DBGrid2: TDBGrid;
    DBNavigator1: TDBNavigator;
    DBNavigator2: TDBNavigator;
  procedure Button1Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;
  var
    Form3: TForm3;
  implementation
  uses sign;
    {$R *.dfm}
  procedure TForm3.Button1Click(Sender: TObject);
  begin
    Form3.Close;
  end;
end.
```

Динамический расчёт автомобиля

Динамический расчёт автомобиля производится для формулировки исходных данных для проектирования тягового электропривода. В качестве исходных данных для проектирования мотор-колёс используются следующие базовые параметры:

- номинальная нагрузка на шину G_K , Н;
- максимальная скорость V_{\max} , км/ч;
- максимальный динамический фактор D_{\max} ;
- удельная расчётная мощность автомобиля N_e , кВт/кН;
- среднее эксплуатационное значение удельной силы тяги $f_{\text{экс}}$, Н/кН.

Из базовых параметров следуют производные параметры:

- коэффициент энерговооружённости мотор-колеса k_A , кВт/кН;
- коэффициент допустимой перегрузки электродвигателя мотор-колеса k_F ;

Параметры колёсного движителя не зависят от типа тягового электропривода и определяются условиями эксплуатации транспортного средства. Под номинальной нагрузкой на шину понимается сила нормального давления колеса на опорную поверхность. Для городских автомобилей и автомобилей нагрузка на ось ограничена величиной 115 кН. Однако имеются предпосылки для снижения снаряжённой массы автомобиля на величину порядка 2000 кг, путём снижения массы кузова за счёт уменьшения уровня пола и габаритной высоты, а также уменьшения массы тягового электропривода. Грузоподъёмность автомобиля при этом можно повысить, так как компоновка с пониженным уровнем пола позволяет увеличить пассажироместимость за счёт лучшей организации зон около дверей (исключить подножки). В проектируемом мотор-колесе принята осевая нагрузка 115 кН, т.е. величина нормальной нагрузки на шину равна 57,5 кН.

Максимальную скорость движения автомобиля следует выбирать из условий эксплуатации в городских условиях с короткими перегонами. ПДД ограничивают скорость движения в городе величиной 60 км/ч. С учётом упругого скольжения (крипа) в пятне контакта шины с дорогой величину максимальной конструкционной (кинематической) скорости следует ограничить величиной 60–70 км/ч.

Величина максимального динамического фактора, соответствующая расчётному значению G_K , не нормирована. Она определяется, в основном, профилем пути движения транспортного средства, и определяется, исходя из максимальной крутизны подъёма, преодолеваемого с полной нагрузкой, а также требуемой характеристики разгона. Для городского транспорта максимальная крутизна подъёма задаётся в диапазоне 8–16 % в зависимости от рельефа местности, где будет эксплуатироваться проектируемое транспортное средство. В техническом задании на проектирование автомобиля оговаривается максимальная величина преодолеваемого подъёма не менее 16 %. Примем эту величину в качестве исходной. Отсюда динамический фактор по отношению к полной массе автомобиля, ориентировочно равной 18000 кг, равен:

$$D_A = \frac{P_e - P_{\vartheta}}{G} = 0,16.$$

Величина P_{ϑ} равна силе сопротивления движению от дороги в режиме трогания и малых скоростей движения, т.к. сила сопротивления воздуха при этом мала. Согласно статистическим данным, удельная сила сопротивления движению автомобилей равна:

$$\frac{P_{\vartheta}}{G_A} = 0,012.$$

Тогда расчётная максимальная сила тяги на колесе равна (при двух ведущих):

$$P_K = \frac{D_A G_A + P_{\vartheta}}{2} = 15,48 \text{ кН.}$$

Динамический фактор по отношению к G_K равен:

$$D_A = \frac{P_K}{G_K} = 0,27.$$

Удельная расчётная мощность представляет собой отношение, кВт/кН:

$$N_e = N_{e \text{ расч}} / G_A \cdot 10^{-3}.$$

Рекомендуемое значение находится в пределах 0,75–1 кВт/кН, но в современных автомобилях может быть выше в связи с растущими требованиями к разгонной динамике.

Коэффициент энерговооружённости мотор-колеса (кВт/кН) представляет отношение мощности мотор-колеса N_K к нормальной нагрузке на шину G_K .

Коэффициент допустимой перегрузки мотор-колеса определяет отношение крутящего момента в длительном режиме к максимальному. В существующих конструкциях мотор-колёс коэффициент допустимой перегрузки составляет величину порядка 2,2–3,2.

Разработка электрооборудования мотор-колеса

Расчёт электродвигателя

Расчёт электродвигателя был произведён в программной среде SRDaS (Switch Reluctance Design and Simulation – Расчёт и моделирование ВИД). Программа позволяет по начальным данным произвести расчёт геометрических размеров активных частей и имитационное моделирование вентильно-индукторного электропривода. Исходные данные и полные результаты расчёта и моделирования приведены в приложении 2.

Магнитная цепь имеет конфигурацию 12/8 (число полюсов статора и ротора соответственно) и представляет собой удвоенный вариант наиболее распространённой конфигурации 6/4, в соответствии с рекомендациями [4] по расчёту ВИД для больших нагрузок.

Число фаз равно трём. Фазная обмотка состоит из 4 последовательно соединённых катушек с 3 витками в каждой. Малое число витков объясняется высокой частотой вращения и большим числом полюсов.

Максимальный крутящий момент ВИД равен 339 Нм. Механические и энергетические характеристики приведены в прил. 2. Максимальная частота вращения ограничена 9000 об/мин. На режимах малых частот вращения по внешней характеристике электромагнитный момент (как и средний потребляемый ток) ограничивается с помощью широтно-импульсной модуляции.

Двигатель имеет высокие удельную мощность и момент, поэтому необходимо предусмотреть принудительное охлаждение. Тепловой расчёт ВИД в настоящем проекте не производится по причине отсутствия доступных специализированных программ теплового расчёта ВИД. Создание работоспособного привода мотор-колеса с принудительным воздушным охлаждением и удельным моментом порядка 12 кНм/м³ возможно. На дальнейших этапах конструкторской проработки мотор-колеса следует произвести тепловые расчёты ВИД.

Расчёт силового тракта коммутатора (преобразователя)

Одним из недостатков вентильно-индукторного привода является необходимость определения точного углового положения ротора в любой момент времени. В большинстве случаев эта задача решается с помощью импульсного датчика положения с высокой разрешающей способностью, представляющего из себя диск с двумя рядами прорезей расположенных с равным шагом со смещением одного ряда относительно другого на 1/4 шага. Импульсы с двух датчиков оптического или магнитного типа поступают на вход управляющего микроконтроллера. Применяются также и другие типы датчиков, в частности, датчики Холла, измеряющие магнитный поток в воздушном зазоре ИМ.

Положение ротора в системах бездатчикового управления ВИП определяется на основании уравнения напряжения

$$u = iR + L_o \frac{di}{dt} + \Omega \frac{\partial \Psi}{\partial t} .$$

Независимо от алгоритма вычисления положения ротора в качестве входных данных используются значения напряжения в звене постоянного тока и токов во всех фазах ИМ.

Однако, ВИП с бездатчиковым управлением не обеспечивают устойчивости во всех режимах работы. Отсутствие температурной компенсации сопротивления обмотки приводит к значительным погрешностям определения положения ротора в режиме максимального момента на малых частотах вращения и к выпадению привода из синхронизма. Поэтому в проектируемом мотор-колесе принято решение использовать классический оптронный датчик положения ротора с квадратурным счётом. Для монтажа импульсного диска предусмотрено монтажное пространство около торца ротора со стороны заднего щита.

Одна из основных тенденций современной микроэлектроники – увеличение степени интеграции, объединение на одном кристалле или в одном корпусе максимального количества компонентов для полного решения какой-либо задачи. В области силовой электроники эта тенденция привела в свое время к разработке силовых модулей полумостовых и мостовых конфигураций. Наивысшим достижением интегральной силовой техники на сегодняшний день является создание интеллектуальных силовых модулей IPM (Intelligent Power Module) – мощных импульсных высоковольтных усилителей, управляемых логическими сигналами.

Современный IPM – это гибридный модуль, содержащий транзисторы IGBT или MOSFET, соединенные в определенной конфигурации, схему управления, оптимизированную по характеристикам управления затвора, схему защиты от перегрузок и схему индикации состояния. Основные требования, предъявляемые сегодня к законченному силовому модулю, – минимальные габариты и низкая стоимость материалов и процесса производства в сочетании с высокими техническими характеристиками и практически абсолютной безотказностью. Конструкция современного модуля должна обеспечивать минимальные значения переходных тепловых сопротивлений и распределенных индуктивностей силовых шин в сочетании с высоким напряжением изоляции.

Все указанные требования реализованы в модулях, выпускаемых по технологии SKiiP (Semikron integrated intelligent Power), разработанной фирмой SEMIKRON. Интеллектуальные силовые модули объединяют в одном устройстве силовой каскад (одиночный, полумостовой, 3-фазный мостовой), драйвер и устройство защиты. Минимальные длины линий связи позволяют получить низкие значения распределенных индуктивностей, что уменьшает уровень переходных перенапряжений и уровень ЕМІ. Хорошая тепловая связь элементов модуля повышает надежность работы схемы защиты.

Произведён сравнительный технико-экономический анализ коммутаторов для вентильно-индукторного электропривода электромобиля мощностью 50 кВт. В результате анализа выявлено, что применение интеллектуальных модулей обходится в 1,5 раза дешевле, чем создание коммутатора на дискретных компонентах. Эксплуатационные показатели коммутаторов обоих типов идентичны. В сравнении участвовали модуль SKiiP и дискретные полумосты компании HITACHI.

Для питания 3-фазного ВИД мотор-колеса автомобиля пригоден полумостовой 3-фазный модуль SKiiP, поскольку внутренние соединения модуля допускают его переконфигурацию в три несимметричных полумоста для раздельного питания фаз. Этот факт противопоставляется коммутатору на дискретных элементах, в котором один транзистор и один диод в каждом полумосту не задействованы. Интерфейс типа GD для полумостового 3-фазного модуля SKiiP представлен в табл. 1.2П.

Т а б л и ц а 1 . 2 П

Интерфейс GD (3-фазный мост)

X1, ВЫВОД	Сигнал	Примечание
1	2	3
1	shield	Вывод для подключения экранирующей оплетки кабеля
2	В0Т НВ 1 IN ⁴	Вход (15 В КМОП&логика, вх. сопротивление 10 кОм)
3	ERROR НВ 1 OUT ¹	Короткое замыкание НВ1. LOW – No Error, открытый коллектор (Макс. – 30 В, 15 мА). Задержка – 1 мкс; мин, длительность импульса сброса – 8 мкс
4	ТОР НВ 1 IN ⁴	Вход (15 В КМОП&логика, вх. сопротивление 10 кОм)
5	В0Т НВ 2 IN ⁴	Вход (15 В КМОП&логика, вх. сопротивление 10 кОм)
6	ERROR НВ 2 OUT ¹	Короткое замыкание НВ2. LOW – No Error, открытый коллектор (Макс. – 30 В, 15 мА). Задержка – 1 мкс; мин, длительность импульса сброса – 8 мкс
7	ТОР НВ 2 IN ⁴	Вход (15 В КМОП&логика, вх. сопротивление 10 кОм)
8	В0Т НВ 3 IN ⁴	Вход (15 В КМОП&логика, вх. сопротивление 10 кОм)

Продолжение прил. 4
Продолжение табл.

1	2	3
9	ERROR HB 3 OUT ¹	Короткое замыкание HB3. LOW – No Error, открытый коллектор (Макс. – 30 В, 15 мА). Задержка – 1 мкс; мин. длительность импульса сброса – 8 мкс
10	TOP HB 3 IN ⁴	Вход (15 В КМОП&логика, вх. сопротивление 10 кОм)
11	Overtemp. OUT ¹	Перегрев. LOW – No Error ($t_{DVC} < 115\text{ }^{\circ}\text{C}$); открытый коллектор (макс. – 30 В, 15 мА); LOW < 0,6 В, HIGH < 30 В
12	Reserve	
13	UDC analog OUT	U _{DC} при использовании опции «U» 9 В при UDCmax, макс. ток – 5 мА
14	+24V VDC IN	Питание 24 В (SKiiP2 – 20–30 В, SKiiP3 – 13–30 В) При использовании шины +15VDC, 24 В не подавать
15	+24V VDC IN	
16	+15V VDC IN	Питание 15 В ± 4 % При использовании шины +24VDC, 15 В не подавать
17	+15V VDC IN	
18	GND	Общий силовой. Общий сигнальный
19	GND	
20	Temp. analog OUT	Макс. ток – 5 мА
21	GND ²	
22	I analog OUT HB1	Для SKiiPPACK 2, 3 с подложкой Al ₂ O ₃ : Значение тока (8 В при 100 % I _c)
23	GND ²	Для SKiiPPACK 3 с подложкой AlN:
24	I analog OUT HB1	Значение тока (8 В при 86 % I _c)
25	GND ²	Перегрузка (10 В при 107 % I _c)
26	I analog OUT HB1	Перегрузка (10 В при 125 % I _c @25 °C)

¹ Цепь открытого коллектора, необходим добавочный резистор.

² Для аналоговых выходов.

⁴ HIGH (min) – 11,2 В, LOW (max) – 5,4 В.

Выбор конкретного типа модуля производится по величинам рабочего напряжения, номинального и импульсного перегрузочного токов и максимальной рассеиваемой мощности.

В проектируемом приводе используется алгоритм одиночной симметричной коммутации, поэтому в режиме с ограничением момента на малых частотах вращения фазный ток имеет форму прямоугольных импульсов со скважностью 1/3 и амплитудой до 665 А. Эквивалентный по тепловому действию длительный ток (среднеквадратичный) определяется по формуле

$$i_{\text{ср.кв}} = \frac{i_{\text{max}}}{\sqrt{3}} = \frac{665}{\sqrt{3}} = 384 \text{ .}$$

Наихудшие по тепловой нагрузке условия для транзистора создаются в режиме максимальной мощности мотор-колеса. По механической характеристике ВИД мотор-колеса определяем максимальную частоту вращения 5000 об/мин для максимального момента (точка перегиба на графике). Этот режим соответствует максимальной мощности и характеризуется работой ключей коммутатора в каждом периоде коммутации со скважностью 1. Частота переключения ключей в этом режиме равна:

$$f_K = \frac{n \cdot 360}{60\tau_p} = \frac{5000 \cdot 360}{60 \cdot 15} = 2000 \text{ Гц}.$$

Период коммутации фазы равен:

$$T = \frac{1}{f_K} = \frac{1}{2000} = 0,0005 \text{ с} = 0,5 \text{ мс}.$$

Амплитудный ток фазы величиной 665 А протекает через ключи коммутатора в течение 1 мс, среднеквадратичное значение тока фазы 384 А.

По рассчитанным величинам рекомендуется к использованию в проектируемом приводе модуля со следующими основными характеристиками:

- рабочее напряжение звена постоянного тока 900 В;
- максимальное напряжение звена постоянного тока 1200 В;
- напряжение затвор-сток ± 20 В;
- номинальный ток IGBT при 25 °С 600 А;
- номинальный ток IGBT при 70 °С 450 А;
- номинальный ток обратного диода при 25 °С 480 А;
- номинальный ток обратного диода при 70 °С 370 А;
- сопротивление сток-исток в открытом состоянии при 25 °С 0,5 МОм;
- рабочий диапазон температур – 40–125 °С.

Принципиальная схема силового тракта электропривода мотор-колеса. Основным элементом схемы является интеллектуальный силовой модуль SKiiP. На силовой вход модуля подаётся напряжение питания 600 В, конденсатор С1 включен параллельно и служит для подавления высокочастотных импульсных помех, передающихся в контактную сеть. К силовым выходам S1–S6 подключены посредством гибкого кабеля фазы ВИД. На входе модуля собрана комбинационная схема, состоящая из трёх одинаковых блоков (по одному на фазу), и служащая для уменьшения числа каналов ШИМ управляющего микроконтроллера. Каждый блок состоит из логических элементов DD1.1, DD2.1-4, DD3.1-4. В результате такого схемотехнического решения для управления мотор-колесом можно использовать микроконтроллер с тремя каналами ШИМ, либо использовать освободившиеся каналы для управления электроприводами вентилятора охлаждения и регулятора угла закрутки торсиона подвески. Работа коммутатора может осуществляться в одном из трёх режимов: жёсткой коммутации, мягкой коммутации с положительным либо отрицательным напряжением.

В табл. 2.2П – представлены возможные состояния (векторы) коммутатора одной фазы. При двух управляемых ключах несимметричного полумоста возможны 4 базовых вектора.

Т а б л и ц а 2 . 2 П

Набор базовых векторов коммутации фазы

S_1S_2	Тип вектора
11	положительный
01,10	нулевой
00	отрицательный

Для коммутатора мотор-колеса выбран метод мягкой коммутации с равными потерями и простым алгоритмом переключения. Последовательность включения базовых векторов при выбранном алгоритме такова:

11-01-10-11-10-01-11... – при модуляции положительного напряжения в фазе;

00-01-00-00-10-01-00... – при модуляции положительного напряжения в фазе.

Каждый блок имеет 4 информационных входа: PW – вход канала ШИМ, CLK – вход сигнала синхронизации, VS – вход знака напряжения, служащий для выбора режима положительного или отрицательного векторов, и вход HC для выбора режима жёсткой коммутации. Входы CLK и HC выполнены общими для всех трёх блоков. Углы коммутации оптимизированы в программе SRDaS и описаны в прил.2.

Технология сборки мотор-колеса

1. Исходные данные для проектирования

- а) сборочный чертеж мотор-колеса;
- б) при сборке недопустимы трещины на перемычках сепаратора, глубокие вмятины на дорожках обоймы, значительные задиры и коррозия на рабочих поверхностях всех деталей;
- в) годовой объем выпуска: 250000.

2. Разработка технологической схемы сборки

Составление перечня сборочных работ

№	Содержание основных и вспомогательных переходов	Время, $t_{оп}$, мин
1. Сборка электродвигателя		
1	Осмотреть корпус со всех сторон	0,08
2	Установить подшипник на вал ротора	0,54
3	Установить обечайку на вал ротора	0,30
4	Установить подшипник к обечайке	0,57
5	Установить пакет ротора на обечайку	0,40
6	Закрепить гайкой пакет ротора	0,47
7	Установить пакет статора	0,50
Итого:		2,88

3. Сборка мотор-редуктора		
1	Установить корпус в приспособление	0,48
2	Осмотреть корпус со всех сторон	0,04
3	Установить шпильки	2,10
4	Установить электродвигатель	1,07
5	Подключить силовой кабель	0,40
6	Установить задний щит	0,47
7	Закрепить гайками задний щит	2,10
Итого:		7,46

4. Сборка ступицы		
1	Осмотреть корпус со всех сторон	0,08
2	Установить наружный подшипник	0,44
3	Установить ведомый зубчатый венец	0,50
4	Установить внутреннюю манжету	0,27
5	Установить внешнее кольцо внутреннего подшипника	0,50
6	Установить наружную манжету	0,27
Итого:		2,06

5. Общая сборка мотор-колеса		
1	Установить тормозной механизм на ступицу	1,48
2	Установить мотор-редуктор в ступицу	1,47
3	Закрепить мотор-редуктор гайкой ступицы	1,39
4	Закрепить ступицу гайками колеса	4,09
5	Установить верхние рычаги подвески	1,04
6	Установить нижний рычаг подвески	1,34
7	Закрепить амортизатор нижним пальцем	1,04
Итого:		13,74
Всего $\sum t_{оп}$:		27,14

3. Определение трудоемкости сборки

$$t_{оп}^{общ} = \sum t_{оп} = 27,14 \text{ мин};$$

$$t_{шт}^{общ} = t_{оп}^{общ} + t_{оп}^{общ} (\alpha + \beta/100);$$

$$\alpha = 3 \%;$$

$$\beta = 5 \%;$$

$$t_{шт}^{общ} = 29,16 \text{ мин.}$$

4. Определение типа производства

Тип производства – массовое

Определим такт выпуска изделия:

$$T_B = (F_D \cdot 60 \cdot m) / N,$$

где $F_D = 4015$ – действительный годовой фонд рабочего времени сборочного оборудования в одну смену;

$m = 2$ – количество рабочих смен в сутки;

$N = 250000$ – годовой объем выпуска изделий.

$$T_B = (4015 \cdot 60 \cdot 2) / 250000 = 1,9272.$$

5. Выбор организационной формы сборки

В массовом производстве следует применять подвижную поточную сборку с расчленением процесса операции и передачей собираемого объекта от одной позиции к другой посредством механических транспортных устройств; такт сборки строго регламентирован.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1. ВЛИЯНИЕ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ	5
1.1. Мероприятия по снижению токсичности двигателей	8
1.2. Применение горючих газов для двигателей внутреннего сгорания..	12
1.3. Схемы переоборудования инжекторных топливных систем на газовое топливо	20
1.4. Использование продуктов синтеза газаи других газов в качестве топлива	72
1.5. Применение малотоксичных и нетоксичных двигателей	86
1.6. Сигнализатор уровня энергосбережения на автотранспортном предприятии	88
1.7. Сигнализатор технического состояния автомобилей на автотранспортном предприятии	93
2. ПРИВОД ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ.....	98
2.1. Узлы, агрегаты и системы электромобиля	106
2.2. Гибридные электромобили.....	120
3. ПРИВОД ГИРОМОБИЛЕЙ	123
3.1. Инерционные аккумуляторы.....	123
3.2. Инерционные аккумуляторы малой энергоемкости.....	138
3.3. Инерционные аккумуляторы высокой энергоемкости.....	140
3.4. Пути создания эффективных гироприводов.....	165
4. ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРО И ГИРОПРИВОДОВ НА ПОГРУЗЧИКАХ.	183
4.1. Классификация погрузчиков	184
4.2. Патентный поиск приводов погрузчиков	200
4.3. Привод подъемно-транспортного средства для внутрихозяйственных целей	211
5. РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ АВТОМОБИЛЯ С ТЯГОВЫМ ЭЛЕКТРОГИРОПРИВОДОМ.....	213
5.1. Обзор современных и перспективных систем тягового электропривода автомобилей	213
5.2. Концепция автомобиля с тяговым электроприводом системы мотор-колесо	218
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	226
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	227
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	230

Научное издание

Лянденбургский Владимир Владимирович

**ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРО- И ГИРОПРИВОДОВ
НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ**

Монография

В авторской редакции
Верстка Т.А. Лильп

Подписано в печать 1.11.13. Формат 60×84/16.

Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.

Усл.печ.л. 16,74. Уч.-изд.л. 18,0. Тираж 500 экз. 1-й завод 100 экз.

Заказ №201.

Издательство ПГУАС.
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28.