

ЛЕКЦИЯ 10.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА НА АВТОТРАНСПОРТЕ И ПРИ ТЭА.

Тема 10.1. Техническое совершенствование подвижного состава.

Специализация при обслуживании и ремонте автомобилей.

При рассмотрении перспектив совершенствования систем ТО и ремонта надо обязательно учитывать плановость и необходимость интенсификации развития экономики страны, достижения НТП, обеспечивающие разработку и реализацию долгосрочных требований к надежности автомобилей и развитию технической эксплуатации, основанных на интересах народного хозяйства в целом.

Необходимость и целесообразность совершенствования и развития принципов планово-предупредительной системы, заключающихся в углублении предупредительной стратегии, состоит в повышении экономичности автомобилей, производительности труда персонала ИТС, в совершенствовании мер по защите окружающей среды.

Темпы пополнения, списания и обновления парка автомобилей создают достаточно стабильный и устойчивый его состав, дающий определенный поток неисправностей, который является первоисточником формирования системы ТО и ремонта и соответствующей программы работ. К началу 90-х гг. производимые в настоящее время и модернизируемые на их основе автомобили составляют в грузовом парке 66–80 %; в автобусном 57–76 % и таксомоторном – более 95 %. Примерно 12–15% грузовых автомобилей и 5–10% автобусов отвечают требованиям ГОСТ 21624-81, который укрупненно определяет основные нормативы на ближайшие 10–15 лет. Поэтому для этого периода характерно сохранение основных особенностей действующей планово-предупредительной системы, которая будет совершенствоваться главным образом вследствие повышения эксплуатационной надежности автомобилей, а также в организационно-техническом плане в результате постепенного укрупнения АТП, создания объединений, в том числе региональных и вневедомственных, кооперации, централизации, совершенствования методов организации производства и материально-технического снабжения. В результате реализации требований по эксплуатации и совершенствованию конструкции автомобилей в перспективе произойдет постепенное сокращение удельного веса традиционных работ ТО – смазочных, крепежных, регу-

лировочных – и увеличение их периодичности. Более широкое применение найдут предупредительные замены узлов, агрегатов, обеспечивающие повышение безотказности, особенно в межосмотровые периоды.

Важность экономии топливно-энергетических ресурсов и защиты окружающей среды усилит требования к техническому состоянию автомобилей и будет стимулировать более широкое применение компьютерных средств управления рабочими процессами двигателя и автомобиля, а также диагностических средств.

В настоящее время ведутся разработки и испытания простейших (на 10–20 параметров) встроенных (бортовых) систем датчиков контроля технического состояния, основанных на регулярном подключении их к стационарным диагностическим установкам, имеющимся на крупных АТП, объединениях и СТО. Указанные системы найдут применение на автомобилях большой грузоподъемности и автобусах большой вместимости.

Повышение долговечности кузовов, рам, кабин, применение противокоррозионных мер при производстве и эксплуатации приведут к прекращению полнокомплектного капитального ремонта автомобилей. В результате повышения требований к надежности автомобильного транспорта, его скорости, вместимости, грузоподъемности возрастают требования ко всему персоналу ИТС автомобильного транспорта. Развитие хозяйственных отношений повысило требования к составу и обособности нормативов ТЭА, включая систему ТО и ремонта.

Для легковых автомобилей индивидуального пользования целесообразна система ТО с одним основным его видом, сопоставимым по периодичности со среднегодовым пробегом этих автомобилей, т.е. 10–15 тыс. км. Для грузовых и пассажирских автомобилей возможность создания такой системы определяется повышением надежности, а также совершенствованием технологии и организации ТО и ремонта. На этом этапе на основе информации по надежности конкретных автомобилей и использования компьютерной техники апробированы системы проектирования нормативов ТО и ремонта (виды ТО, периодичность, состав операций), а также определения рационального момента списания автомобилей, позволяющие индивидуализировать нормативы ТЭА. Дальнейшее совершенствование системы ТО и ремонта определяется изменениями конструкции автомобилей, возрастного состава парка, условий эксплуатации и других факторов дерева систем ТЭ, которые определяют поток требований, возникающих при работе автомобилей. Система ТО и ремонта должна преобразовать этот поток в соответствии с поставленными перед ней целями. Поток неисправностей преобразуется (неисправности устраняются или предупреждаются) с помощью воздействий, предусмотрен-

ных системой ТО и ре-монта. При этом границы между стратегиями разбивают воздействия по целям – поддержание работо-способности (профилактическая стратегия I) и восстановление ут-раченной работоспособности (стра-тегия II). Экономические, техноло-гические, организационные границы разбивают воздействия по методам их выполнения. В результате ис-пользования экономических и других критериев стратегия I разбивается по двум направлениям – выполнение ТО без предварительного контро-ля (1-1) и с предварительным контро-лем – диагностированием (1-2).

В зависимости от экономических условий, надежности изделий и поставленных целей любая из этих стратегий может оказаться рациональ-ной, но стратегия 1-2 может совершенствоваться и дальше. В случае стра-тегии 1-2-1 используются стационарные диагностические средства. Ос-новным условием применения этой стратегии являются: надежность и универсальность самих диагностических средств и снижение затрат на их приобретение и эксплуатацию. При этом возможны два ва-рианта разви-тия стратегии 1-2-1: контроль работоспособности, вы-полняемый с опре-деленной (постоян-ной или изменяющейся) периодич-ностью и «коррек-тировкой» техниче-ского состояния по результатам этого контроля (1-2-1-1); контроль и прогноз работоспособности (1-2-1-2), который позволяет на следующем шаге или корректировать периодич-ность последующего кон-троля, или уточнить предстоящий объем работ.

Система встроенных диагностиче-ских средств (1-2-2) может разви-ваться в следующих основных на-правлениях: средства, сигнализи-рую-щие теми или иными способами об уровне работоспособности изде-лия (1-2-2-1), например при отборе ин-формации о техническом состоянии с установленной периодичностью, при сигнализации о достижении за-данных (предельных, допустимых значений и т.д.) параметров тех-ни-ческого состояния и т.д. Вторым направлением развития этой стра-те-гии является использование таких встроенных диагностических средств, которые позволяют прогнозировать уровень работоспособности (1-2-2-2).

Аналогичное изменение и совер-шенствование возможны и для стра-тегии II. Однако технологические цели иные. Напри-мер, кон-троль при отказе имеет целью определить причины отказа и уточ-нить характер (трудоемкость, стои-мость, продолжительность) восста-новительных ра-бот.

Для автомобиля как совокупности агрегатов и систем применяются все рассмотрен-ные варианты стратегий, которые не меняют существа плано-во-предупре-дительной системы – получение те-ми или иными спо-собами упреждаю-щей информации о состоянии изде-лия и проведение (или планиро-вание) работ по поддержанию гаран-тированной работо-способности.

способности. На этом этапе будут происходить концентрация сбора, обработка и использование информации по надежности и другим показателям качества. Создание подобного коллективного банка, оперативная связь с ним АТП расширят информационную базу, обмен опытом при принятии решений и совершенствовании системы и организации ТО и ремонта. Создание централизованного информационного банка позволит также более экономично использовать передовую вычислительную технику, средства связи, специалистов.

Принципиальное изменение плано-во-предупредительной системы возможно при следующем шаге, когда изделию (или его элементам) будет обеспечено поддержание работоспособности методами резервирования или самовосстановления в пределах установленного срока службы. Здесь возможны два решения: или использование «абсолютно надежных» изделий, вероятность отказа которых за заданную наработку ничтожно мала (резервирование, повышение прочности); или применение иных принципов конструирования, предусматривающих самовосстановление изделия. Простейшими примерами подобных систем, функционирующих в течение определенной наработки, являются саморегулирующиеся механизмы, применяемые в современных автомобилях.

Тема 10.2. Изменение характеристик автомобилей.

Тюнинг: тюнинг автомобиля, тюнинг двигателя (тюнинг производительности), тюнинг подвески. Стайлинг (внешний тюнинг). Стайлинг и тюнинг салона.

Тюнинг автомобилей

Под тюнингом автомобилей имеется в виду изменение его технических параметров и базовой конструкции узлов и агрегатов. Это может быть, как добавление или изменение элементов конструкции, так и общая перенастройка их работы. Подобные изменения преследуют множество целей, от увеличения мощности до снижения эксплуатационных расходов. Главным критерием при выполнении тюнинга должно быть требование соблюдения требований безопасности.

Наиболее часто востребованы такие виды тюнинга, как тюнинг двигателя (от более тщательной настройки работы систем до полной замены типа двигателя), тюнинг подвески (с целью изменения клиренса и большей устойчивости автомобиля), тюнинг трансмиссии (для повышения динамических качеств машины) и тюнинг тормозной системы (для большей эффективности их работы). Кроме того, к тюнингу можно отнести и существенные доработки кузова и салона, если они влияют не только на эстетику, но и на технические параметры. Например, врезка верхнего люка – это не только повышение комфорта, но и изменение обтекания, а значит управляемости автомобиля.

Одной из разновидностей тюнинга является «рингтул». Это слово произошло от английских ring – «кольцо» и tool – «инструмент». Под рингтулом имеется в виду подготовка (порой непрофильного типа автомобилей) к участию в спортивных заездах. Подобной разновидностью тюнинга авто занимаются специализированные тюнинг-ателье, имеющие большой опыт работы в области тюнинга. Хотя их услугами могут воспользоваться не только профессиональные автогонщики или компании, но и частные лица.

Стайлинг автомобилей

Стайлинг автомобиля – это изменение его внешнего вида, не оказывающего влияния на технические параметры. К стайлингу также принято причислять и установку на кузове таких элементов как спойлеры, дополнительные бамперы и прочие элементы навески.

Аэрография, наклейки на кузове и стекле, тонировка, навеска элементов, перетяжка салона и т.п.

Стайлинг авто осуществляется, как с привлечением специализированных компаний или обычных станций технического обслуживания, так и самостоятельно автовладельцами.

Методы форсирования двигателей

У современных двигателей легковых автомобилей с искровым зажиганием частота вращения (n в формуле (1)) приблизилась к величине, при которой достигается предельно допустимая средняя скорость поршня $C_{п}$. Например, у двигателей массово выпускаемых автомобилей Хендай Солярис, имеющих рабочий объем 1,6 л и ход поршня 85,4 мм, номинальная частота вращения составляет 6300 мин⁻¹, что соответствует средней скорости поршня $C_{п} = 17,94$ м/с. Дальнейшее значительное увеличение средней скорости поршня нецелесообразно, поскольку возрастают нагрузки, вызванные центробежными силами деталей кривошипно-шатунного механизма, что приводит к повышению потерь на трение, вызывающих снижение мощности и топливной экономичности, нарушаются условия смазки, что приводит к повышенному износу деталей, и ухудшаются параметры рабочего процесса. В быстроходных дизелях легковых автомобилей рабочим объемом 1,6...2,4 л номинальная частота вращения несколько меньше и составляет 4000...4500 мин⁻¹, так как при ее дальнейшем повышении ухудшаются процессы смесеобразования и сгорания. У дизельных двигателей современных грузовых автомобилей номинальная частота вращения как правило находится в диапазоне 1800...2200 мин⁻¹, чтобы обеспечить высокое качество рабочего процесса без применения регулирования наддува. Высокая мощность получается за счет очень большого крутящего момента, обеспечиваемого высоким наддувом. В целом, можно заключить, что возможности дальнейшего форсирования современных ДВС по частоте вращения невелики

Уменьшение тактности двигателя

При переходе от 4-тактного цикла к 2-тактному (от $\tau = 4$ к $\tau = 2$ по формуле (1)) литровая мощность двигателя $N_{л}$ должна увеличиваться вдвое. В действительности $N_{л}$ возрастает в 1,5...1,7 раза, так как необходимость осуществления за каждый ход поршня двух процессов (впуска-сжатия и расширения-выпуска) ухудшает их качество, в частности, снижается качество очистки и наполнения цилиндров. Также часть мощности теряется на привод продувочного насоса. Это приводит к снижению мощности, топливной экономичности и ухудшению токсичности. В настоящее время на автомобилях 2-тактные двигатели практически не применяются.

Повышение среднего эффективного давления

Проанализируем возможности повышения среднего эффективного давления p_e с помощью известной формулы Б.С. Стечкина

$$p_e = \frac{H_u}{l_0} \cdot \frac{\eta_i}{\alpha} \cdot \eta_v \cdot \eta_m \cdot \rho_k \quad (1)$$

где H_u – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг;

l_0 – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива;

η_i – индикаторный КПД;

η_m – механический КПД;

η_v – коэффициент наполнения;

ρ_k – плотность воздуха на впуске в двигатель, кг/м³.

Первый множитель H_u/l_0 зависит только от свойств топлива. Основные топлива, применяемые в ДВС (бензин, дизельное топливо, сжиженный нефтяной газ, природный газ), имеют достаточно близкие значения отношения H_u/l_0 , поэтому переход на другое топливо не позволяет ожидать заметного повышения мощности двигателя.

Повышение индикаторного КПД

Второй множитель η_i/α в формуле (1) характеризует эффективность всех мер, принятых для совершенствования процессов сжатия – сгорания – расширения, в основе которых лежит правильное сочетание формы камеры сгорания, параметров топливоподачи и вихревого движения воздушного заряда, уменьшение потерь теплоты в стенки цилиндра и с отработавшими газами, а также применение электронного управления системами двигателей. В современных дизелях и двигателях с искровым зажиганием процессы сжатия, сгорания, расширения доведены до высокого уровня совершенства, и в настоящее время основные усилия направлены на снижение токсичных выбросов, иногда даже за счет некоторого снижения показателей мощности и топливной экономичности. Поэтому возможности дальнейшего форсирования двигателей путем увеличения отношения η_i/α за счет применения традиционных методов практически отсутствуют.

Повышение механического КПД

Механический КПД η_m двигателей без наддува составляет 0,75...0,8 на номинальном режиме, и его можно повысить снижением потерь на трение и на газообмен. Существует большое число мер, каждая из которых позволяет немного уменьшить потери на трение: снижение массы деталей кривошипно-шатунного механизма, уменьшение числа поршневых колец и коренных опор коленчатого вала, тщательный подбор материалов и способов поверхностной обработки трущихся деталей, снижение потерь на привод агрегатов, применение более совершенных моторных масел,

оптимизация температурного режима двигателя. Для снижения потерь на газообмен уменьшают гидравлическое сопротивление систем впуска и выпуска, оптимизируют форму впускных и выпускных клапанов и каналов в головке цилиндров, переходят от двухклапанных головок цилиндров к четырехклапанным, оптимизируют фазы ГРМ. Поскольку достигнутый механический КПД имеет высокое значение, возможности его дальнейшего увеличения невелики.

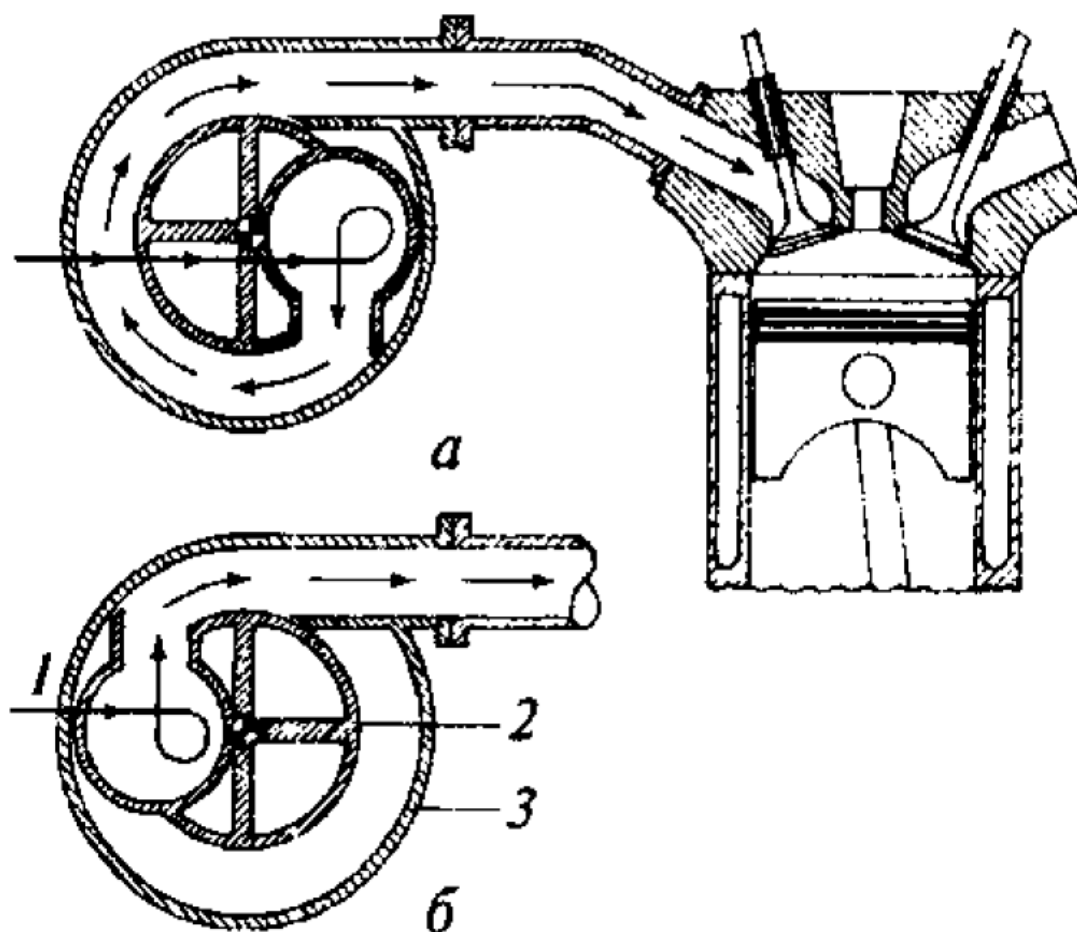
Повышение коэффициента наполнения

На номинальном режиме работы коэффициент наполнения η_v дизельных двигателей с наддувом достигает 0,90...0,95, у двигателей с искровым зажиганием без наддува он обычно равен 0,8...0,9. Некоторое повышение коэффициента наполнения возможно за счет мер по снижению потерь на газообмен. Более заметное его повышение возможно при использовании волновых явлений во впускной системе (динамического наддува) для повышения наполнения и систем регулирования фаз газораспределения (VTES, VTC, VTC-i и др.), которые используются на двигателях с искровым зажиганием.

Методы повышения коэффициента наполнения

Использование волновых явлений во впускной системе (динамический наддув)

Для повышения наполнения цилиндров двигателя свежим зарядом могут использоваться волновые явления, возникающие во впускной системе за счет периодического поступления воздуха в цилиндры. Длина впускного тракта подбирается так, чтобы волна давления подходила к впускному клапану к концу периода его открытия, обеспечивая поступление дополнительного воздуха в цилиндр. Такой метод, который называют «динамическим», «инерционным» или «акустическим» наддувом, позволяет получить максимальное увеличение коэффициента наполнения на 3...5% на одном скоростном режиме работы двигателя, для которого подбирается длина впускного тракта. Для увеличения наполнения цилиндров за счет использования данного метода в широком диапазоне частот вращения применяют системы регулирования длины впускного тракта (рисунок 2.1). Поворот закреплённого на вращающемся барабане 2 подвижного канала подвода воздуха 1 позволяет плавно регулировать длину впускного тракта от максимальной (на малых частотах вращения) до минимальной (на больших частотах вращения).

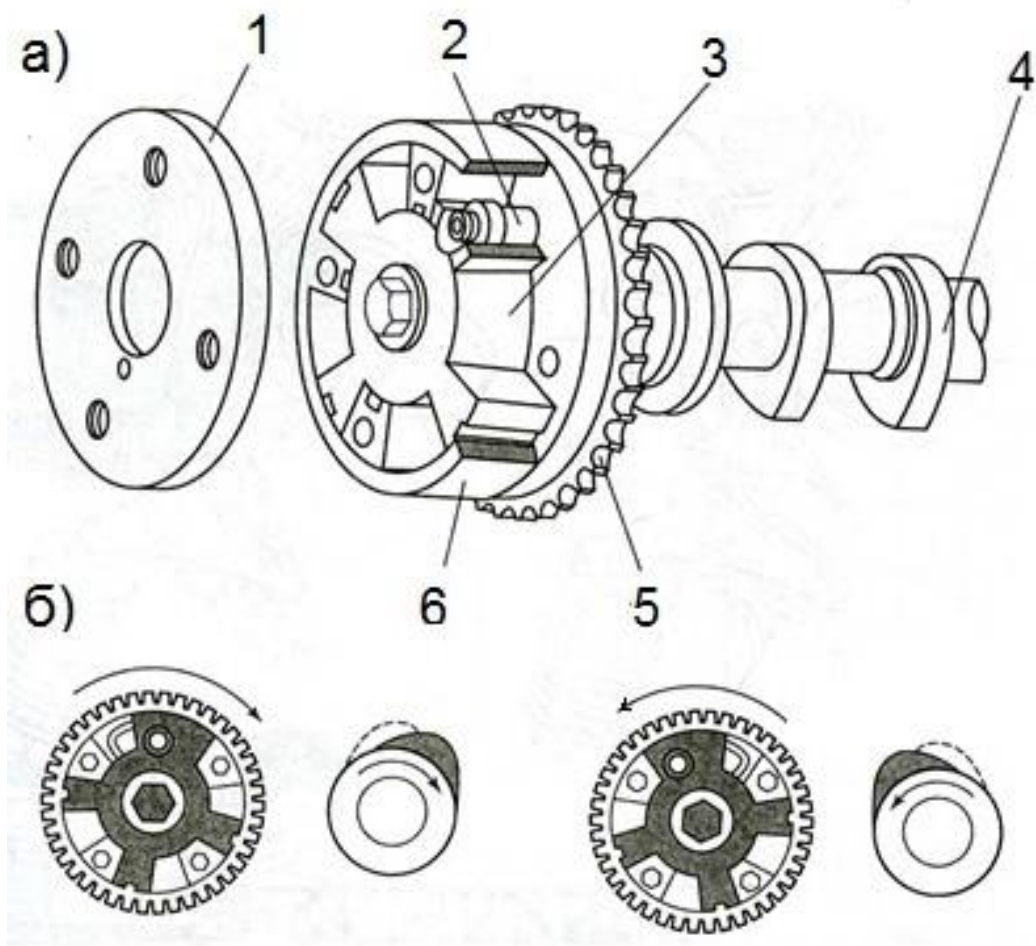


а) максимальная длина впускного тракта; б) минимальная длина впускного тракта; 1 – канал подвода воздуха; 2 – внутренний вращающийся барабан; 3 – наружный корпус впускного трубопровода

Рисунок 1 - Система регулирования длины впускного тракта

Применение систем регулирования фаз ГРМ

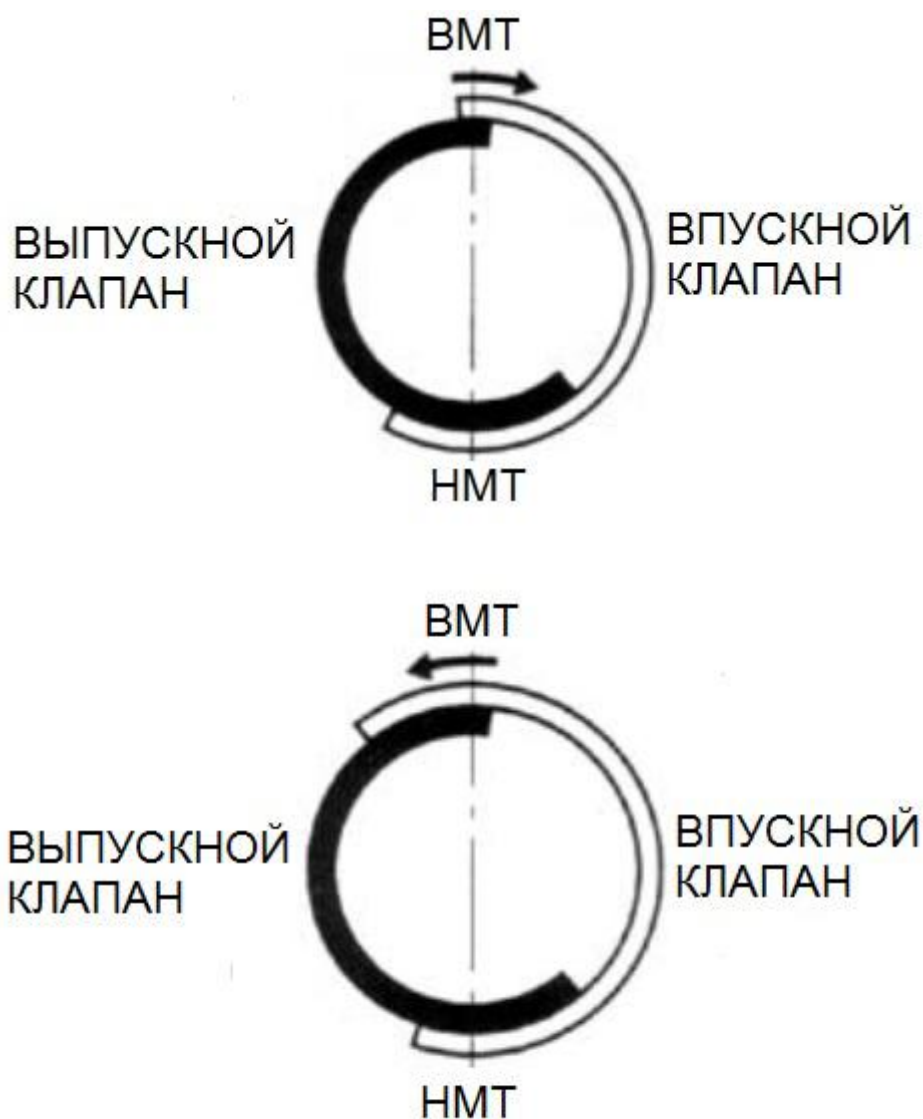
Система регулирования фаз ГРМ VVT (Variable Valve Timing) позволяет изменять моменты закрытия впускного клапана в зависимости от режима работы двигателя.



а) устройство механизма VVT: 1 – передняя крышка механизма; 2 – стопорный палец; 3 – ротор с лопастями; 4 – распределительный вал впускных клапанов; 5 – приводная звёздочка; 6 – цилиндрическая стенка механизма; б) схема работы механизма VVT

Рисунок. 2 - Механизм VVT изменения фаз ГРМ

На больших частотах вращения впускной клапан закрывается раньше, а на малых – позже, что обеспечивает максимальную дозарядку и минимальный обратный выброс на всех режимах работы. Изменение фаз ГРМ осуществляется путем поворота распределительного вала впускных клапанов относительно звездочки цепного привода или шкива ременного привода распределительного вала примерно на 30 градусов ПКВ по и против часовой стрелки.



а) позднее закрытие впускного клапана (малое перекрытие клапанов); б) ранее закрытие впускного клапана (большое перекрытие клапанов)

Рисунок. 3 - Фазы ГРМ двигателя с системой VVT

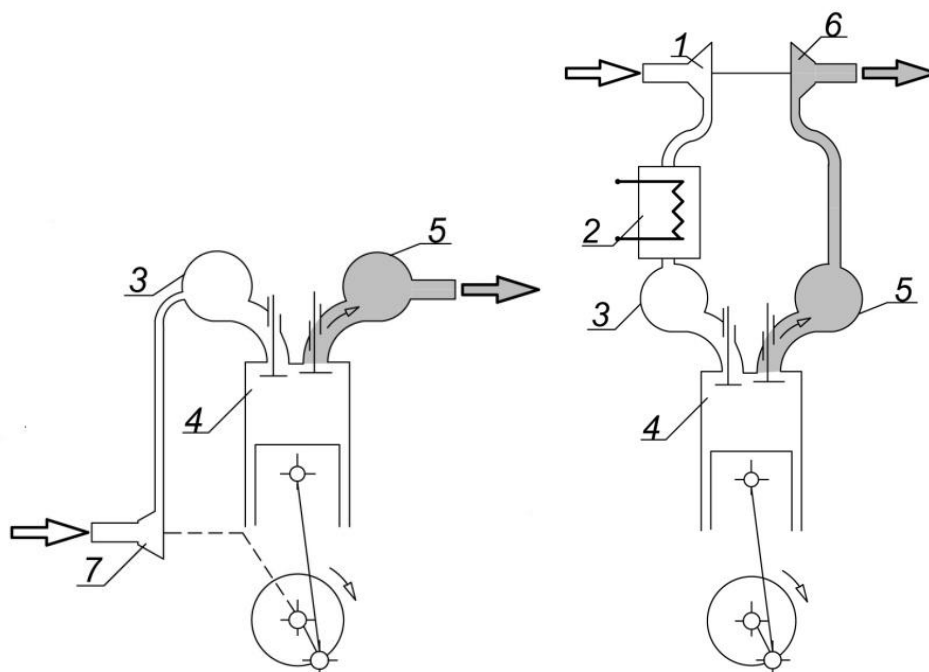
Это позволяет повысить коэффициент наполнения и, соответственно, крутящий момент двигателя на 5...7% на больших и малых частотах, что улучшает ездовые качества автомобиля, в частности, динамику разгона. Устройство механизма VVT показано на рисунке 2.2, а. Ротор 3, соединенный с распределительным валом 4, может поворачиваться на заданный угол в корпусе, образованном цилиндрической 6 и плоской 1 крышками, при подаче масла под давлением с одной или другой стороны лопаток ротора. Масло подается от электромагнитного клапана, управляемого ЭБУ двигателя. На рисунке 2.2, б показано положение ротора и кулачка распределительного вала при поворотах на максимальный угол, соответственно, по и против часовой стрелки. При повороте распределительного вала относительно приводной звездочки смещается вся фаза

впуска, т.е. одновременно с моментом закрытия клапана изменяется момент его открытия. На рисунке 2.3 показано изменение фаз ГРМ при раннем и позднем закрытии впускного клапана.

Видно, что при позднем закрытии впускного клапана также увеличивается длительность перекрытия клапанов. На некоторых двигателях применяется система VVT для впускных и выпускных клапанов (DUAL VVT). Это позволяет существенно изменять период перекрытия клапанов, что дает возможность отказаться от отдельной системы рециркуляции отработавших газов, так как обеспечивается «внутренняя» рециркуляция. В целом возможности повышения коэффициента наполнения ДВС невелики, причем применение систем VVT, обеспечивающих наибольшее его повышение (на 5...7%), приводит к заметному усложнению конструкции двигателя и повышению его стоимости.

Анализ наддува при форсировании двигателя

Различают два принципиально разных вида наддува: механический, когда приводной компрессор или нагнетатель приводится от коленчатого вала двигателя, и газотурбинный, когда компрессор приводится турбиной, через которую проходят отработавшие газы. Также возможны комбинированные системы наддува, объединяющие механический и газотурбинный наддув. На рисунке 3.1, а, б представлены схемы систем механического и газотурбинного наддува 4-тактных двигателей.

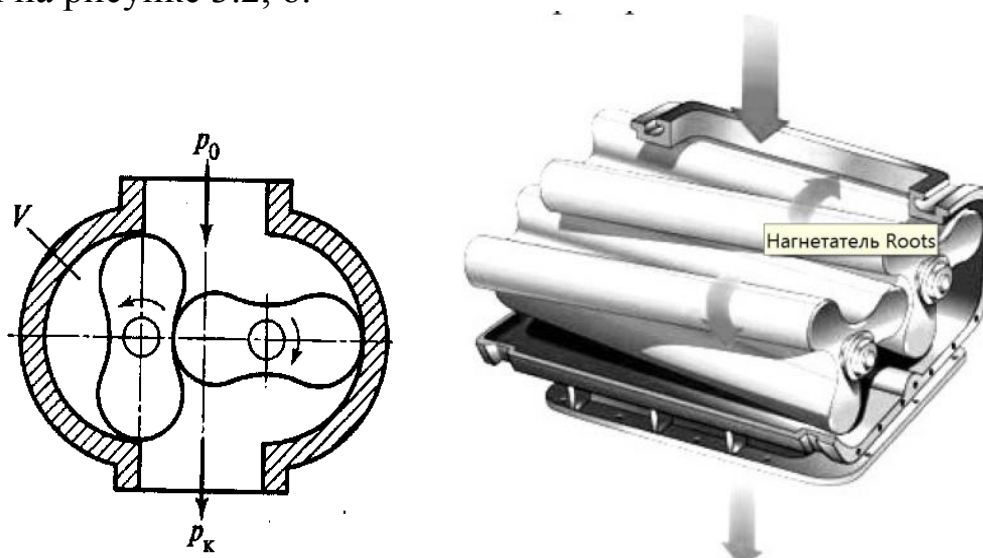


а) 4-тактного двигателя с ПН; б) 4-тактного двигателя с ТКР; 1 – компрессор; 2 – ОНВ; 3 – впускной коллектор; 4 – цилиндр двигателя; 5 – выпускной коллектор; 6 – турбина; 7 – приводной нагнетатель; 8 – впускные окна

Рисунок 4 - Схемы систем наддува

Системы механического наддува ДВС

В двигателе с механической системой наддува приводной нагнетатель 7 (рисунок 3.1, а), связанный шкивом или редуктором с коленчатым валом, сжимает воздух и подает его во впускной коллектор, а оттуда – в цилиндр 4. Отработавшие газы выходят в выпускной коллектор 5, а оттуда – в атмосферу, не встречая значительного сопротивления. Вся мощность, затрачиваемая на сжатие воздуха, отбирается от коленчатого вала двигателя. Чаще всего в этих системах применяется нагнетатель типа Рутс. Принцип действия нагнетателя Рутс с двухлопастными роторами поясняется на рисунке 3.2, а. Разрез нагнетателя Рутс с трехлопастными роторами показан на рисунке 3.2, б.



а) принцип действия; б) разрез
Рисунок 5 - Приводной нагнетатель Рутс

В приводном нагнетателе типа Рутс имеются два ротора, соединенные шестернями и вращающиеся в противоположные стороны. Зазоры между роторами, а также между каждым ротором и стенками корпуса минимальные. Роторы периодически «захватывают» определенный объем воздуха V и подают его во впускную систему двигателя, что приводит к увеличению давления от величины на впуске p_0 до давления наддува p_k .

Достоинством механической системы наддува являются простая технология изготовления приводного нагнетателя, близкое к постоянному давление наддува по внешней скоростной характеристике двигателя, в частности высокое давление наддува на малых частотах вращения, что обеспечивает быстрое начало разгона автомобиля. Также приводной нагнетатель подходит для применения на 2-тактных двигателях, поскольку не создает противодействия в выпускной системе, что обеспечивает продувку.

Главным недостатком любого способа механического наддува явля-

ется то, что вся мощность, требуемая для сжатия воздуха, отбирается от коленчатого вала двигателя. Особенно снижается эффективность на малых нагрузках, когда не требуется повышения давления воздуха, а мощность продолжает отбираться от двигателя. Этот недостаток можно устранить путем механического отключения приводного нагнетателя с помощью электромагнитной муфты сцепления или гидравлического отключения за счет использования перепуска воздуха. Также недостатками приводного нагнетателя типа Рутс являются большие масса и габариты, гидравлический шум, связанный с периодической подачей порций воздуха, невысокая максимальная степень повышения давления воздуха (до 2 раз).

Могут использоваться приводные нагнетатели других типов (поршневые, роторно-винтовые, роторно-пластинчатые (шиберные) и другие). На рисунке 2.6 представлен роторно-винтовой механический нагнетатель Линхольма.

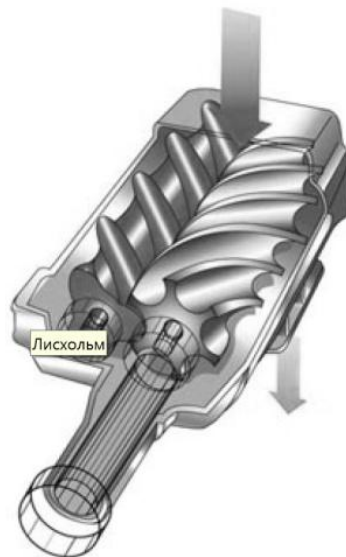


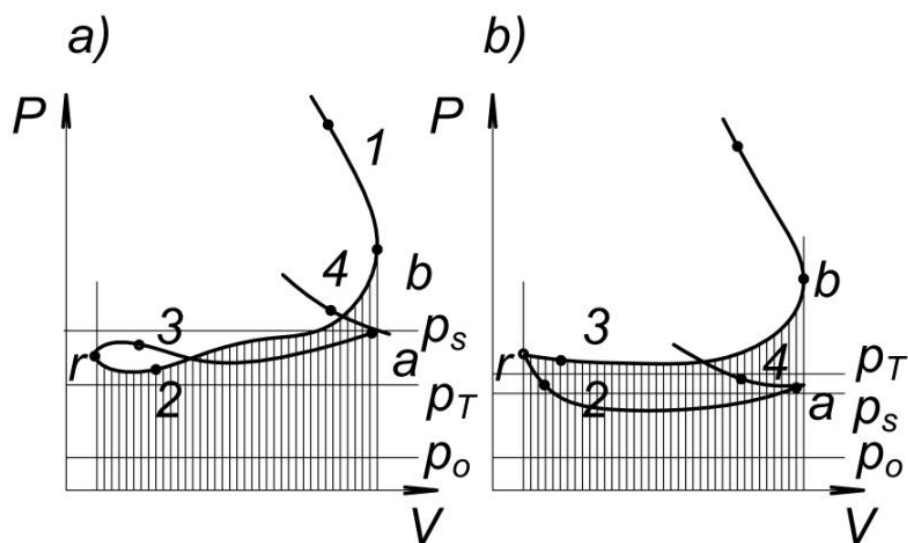
Рисунок 6- Приводной нагнетатель Линхольма

Роторы винтового нагнетателя имеют форму шнеков и напоминают винты мясорубки. Воздух непрерывно сжимается, проходя вдоль осей роторов, что позволяет получить более высокую степень повышения давления, чем в нагнетателе Рутс, и меньший уровень шума. Однако стоимость нагнетателя Линхольма выше, чем нагнетателя Рутс.

Системы газотурбинного наддува ДВС

В схеме двигателя с газотурбинным наддувом используется турбокомпрессор (ТКР). Отработавшие газы вращают турбину, связанную с компрессором, который сжимает воздух. В системах наддува дизелей, имеющих достаточно высокую степень повышения давления, обычно устанавливается охладитель наддувочного воздуха (ОНВ). Чтобы опреде-

лить, каким образом отбирается мощность от двигателя для привода ТКР, рассмотрим процесс выпуска на индикаторной диаграмме. На рисунке 3.4, а, б представлены диаграммы газообмена двигателей с наддувом. На рисунке 3.4, а показан случай, когда давление во впускном коллекторе меньше, чем в выпускном $p_s < p_T$, а на рисунке 3.4, б – когда давление во впускном коллекторе больше, чем в выпускном $p_s > p_T$. Как известно, выпускной клапан открывается задолго до прихода поршня в нижнюю мертвую точку (за 60...70 градусов ПКВ), чтобы обеспечить свободный выпуск, в ходе которого из цилиндра выходит порядка 50% продуктов сгорания за счет перепада давления газа в цилиндре и выпускной системе.



а) $p_s > p_T$; б) $p_s < p_T$;

1 – открытие выпускного клапана; 2 – закрытие выпускного клапана;
3 – открытие впускного клапана; 4 – закрытие впускного клапана

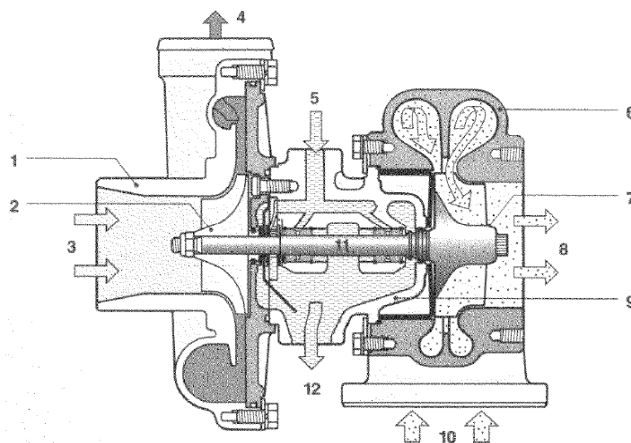
Рисунок 7 - Диаграммы газообмена двигателей с наддувом

В период свободного выпуска турбина приводится отработавшими газами, выходящими из цилиндра, и при этом мощность на привод ТКР не отбирается от коленчатого вала двигателя. Затем наступает период принудительного выпуска, когда поршень вытесняет продукты сгорания, преодолевая повышенное давление в выпускной системе, вызванное установкой турбины, что приводит к увеличению работы выталкивания. С уменьшением частоты вращения и нагрузки двигателя мощность, затрачиваемая на привод ТКР, снижается так как одновременно снижаются расход, давление и температура воздуха и газов, от которых зависят мощности компрессора и турбины. Так, согласно расчётным оценкам, при уменьшении частоты вращения по внешней скоростной характеристике дизеля КАМАЗ с наддувом (8ЧН12/12) от 2200 до 1000 мин⁻¹ затраты мощности на привод турбины снижаются примерно в 10 раз. Аналогично затраты мощности на привод турбины существенно снижаются с умень-

шением нагрузки. Поэтому газотурбинный наддув значительно превосходит механический с точки зрения топливной экономичности, особенно на малых нагрузках.

На рисунке 2.8 представлена схема ТКР автомобильного дизеля, имеющего центробежный компрессор и радиально-осевую турбину. Используется двухзаходная входная улитка турбины с преобразователем импульсов, о которой подробнее будет рассмотрено в разделе «Способы подвода газа к турбине».

ТКР имеет центробежный компрессор, включающий корпус 1 с входным устройством 3 и выходным патрубком 4, колесо 2, сжимающее воздух, и радиальную турбину, имеющую корпус 6 с входным фланцем 10 и выходным устройством 8, и колесо 7. Колеса компрессора и турбины соединены валом 11, вращающимся в подшипниках скольжения. Узел, объединяющий вращающиеся детали ТКР (колеса компрессора, турбины и вал), называется ротором.



1 – корпус компрессора; 2 – колесо компрессора; 3 – вход воздуха; 4 – выход сжатого воздуха; 5 – подвод масла; 6 – корпус турбины; 7 – колесо турбины; 8 – выход ОГ из турбины; 9 – корпус подшипников; 10 – вход ОГ из двигателя; 11 – вал ротора; 12 – отвод масла

Рисунок 8 - Схема турбокомпрессора

Масло подводится под давлением через канал 5 и стекает самотеком через канал 12. Корпус подшипников может изготавливаться из алюминиевого сплава, что приводит к снижению массы ТКР, или чугуна. Чугунный корпус стоит дешевле, кроме того, он имеет почти вдвое меньший коэффициент теплопроводности, чем алюминий, что снижает передачу теплоты от горячего корпуса турбины к корпусу компрессора и, соответственно, его нагрев. В результате несколько повышается КПД компрессора. Масло для смазки подшипников вала ротора ТКР берется из системы смазки двигателя. При этом масло выполняет две функции: смазка подшипников ротора и отвод тепла, образующегося при работе подшипников

скольжения. В ТКР автотракторных ДВС применяются подшипники скольжения, требующие постоянного подвода масла под давлением, которое вытекает из корпуса самотеком.

Поэтому отверстие для отвода масла 12 имеет больший диаметр, чем отверстие 5 для его подвода. Доля бензиновых двигателей с турбонаддувом постоянно растет, несмотря на то, что для этого приходится решить ряд специфических проблем, о которых будет сказано ниже в разделе «Особенности систем наддува двигателей с искровым зажиганием».

Очень редко на бензиновые двигатели легковых автомобилей устанавливается ПН, например, на эксклюзивных моделях Мерседес. ПН обеспечивает высокое давление наддува на малых частотах вращения двигателя и позволяет резко начинать разгон, так как отсутствует запаздывание роста давления наддува, свойственное ТКР («турбояма»). На средних частотах вращения ПН отключается. При использовании ПН ухудшается топливная экономичность, но для эксклюзивных автомобилей это не имеет особого значения.

Волновой обменник «Комплекс»

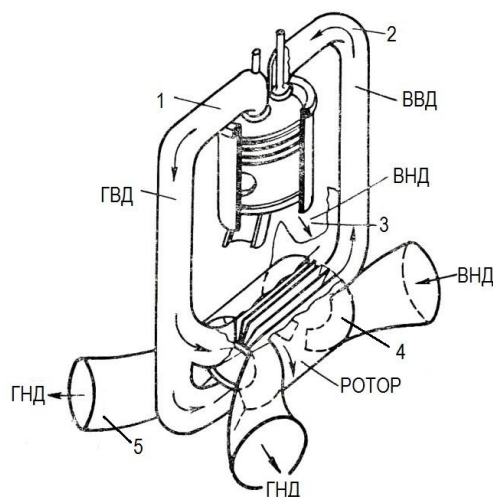
В турбокомпрессоре энергия отработавших газов передается для сжатия воздуха через двух «посредников» – компрессор и турбину. Каждый из них имеет КПД, меньше единицы (у компрессоров и турбин ТКР дизелей грузовых автомобилей – порядка 0,76...0,78, что приводит к общему КПД ТКР меньше 0,6). Кроме того, ротор ТКР раскручивается с задержкой из-за своей инерции, что вызывает «турбояму». Поэтому возникла идея непосредственного сжатия воздуха отработавшими газами. Эта концепция реализована в волновом обменнике Комплекс, представленном на рисунке 2.9.

Волновой обменник Комплекс представляет собой вращающийся ротор с большим числом длинных и узких каналов. Ротор закрыт с двух сторон крышками с кольцевыми прорезями (4), обращенными к каналам ротора. В задней крышке имеются два патрубка для подвода воздуха низкого давления из атмосферы (3) и два патрубка для отвода воздуха высокого давления в цилиндры двигателя, в передней – два патрубка для подвода газов высокого давления из цилиндров и два патрубка для отвода газов низкого давления в атмосферу (5). По мере вращения ротора его каналы периодически резко открываются, когда выходят в кольцевые прорези в торцевых крышках (4), и закрываются, когда перекрываются торцевыми поверхностями крышек. Работа системы «Комплекс» возможна за счет использования двух физических явлений:

В узких длинных каналах за короткое время воздух не успевает перемешиваться с отработавшими газами. Волна давления, проходящая через

канал, отражается на свободном конце отрицательно, т.е. как волна разрежения (всасывающая), а на закрытом конце как волна давления, и наоборот, волна разрежения на открытом конце отражается как волна давления, а на закрытом конце – как разрежения.

Таким образом, сжатие воздуха в каналах ротора осуществляется непосредственно отработавшими газами, при этом в каналах образуется небольшая зона перемешивания воздуха и газов. На вращение ротора затрачивается порядка 1% мощности двигателя. Выпуск газов низкого давления и впуск воздуха низкого давления осуществляется за счет волн давления-разрежения.



1 – выпускной трубопровод и крышка подвода-отвода газов; 2 – впускной трубопровод и крышка подвода-отвода воздуха; 3 – патрубок для впуска воздуха низкого давления; 4 – кольцевые прорези в крышке; 5 – патрубок для выпуска газов низкого давления; ВВД – воздух высокого давления; ВВД – воздух низкого давления;

ГВД – газ высокого давления; ГНД – газ низкого давления

Рисунок 9 - Схема волнового обменника «Комплекс»

Для симметричного нагрева ротора, необходимого для сохранения малых зазоров с торцевых сторон, все каналы ротора выполнены парными, расположенными через 180°.

Поскольку время движения волн давления-разрежения зависит только от температуры газа или воздуха, при отклонении частоты вращения двигателя и нагрузки (отражаемой температурой газа) от величин в точке настройки, оптимальный характер движения волн нарушается. За счет специальных выемок, размещенных в определенных местах на торцевых сторонах крышек (между выпускными и впускными каналами) обеспечивается наложение дополнительных волн давления на основные волны, что позволяет получить эффективную работу волнового обменника в широком диапазоне изменения частоты вращения и нагрузки.

На рисунке 2.10 представлено протекание избыточного давления наддува $\Delta p_{\text{вл}}$ в зависимости от времени в случае резкого увеличения подачи топлива при разгоне автомобилей с двигателями, оснащёнными волновым обменником давления «Комплекс» и ТКР. Видно, что в случае волнового обменника давления «Комплекс» давление наддува повышается значительно быстрее.

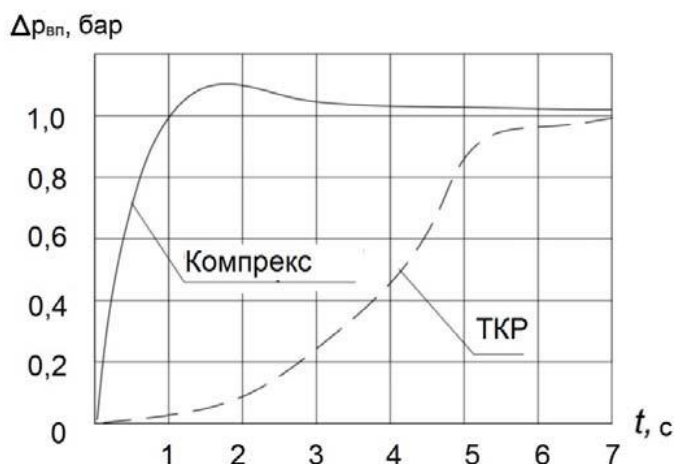


Рисунок 10 - Протекание давления наддува по времени при резком увеличении подачи топлива

Недостатками волнового обменника «Комплекс» являются его большие габариты, масса и стоимость по сравнению с ТКР, неизбежные утечки воздуха и отработавших газов в зазоры между ротором и крышками.

Волновой обменник «Комплекс» серийно выпускался для дизелей автомобилей «Мазда 626» с период 1991 по 1997 гг.

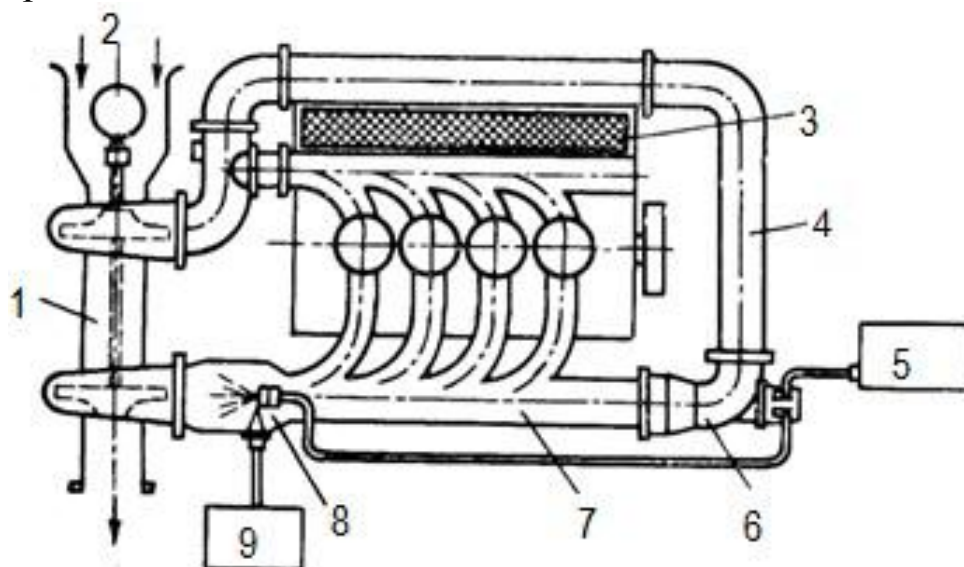
Система «Гипербар»

Применяется для высокого форсирования дизелей турбонаддувом. В дизелях используются степень сжатия $\epsilon = 16 \dots 18$ с целью получения высокой температуры в конце сжатия для обеспечения самовоспламенения впрыскиваемого дизельного топлива. При этом минимальная степень сжатия выбирается достаточно высокой, что бы обеспечить надежный запуск холодного двигателя. При наддуве это приводит к получению больших значений максимального давления сгорания p_z . Вместе с тем, при высоком давлении наддува возможно получение достаточно большой температуры воздуха в конце сжатия для воспламенения топлива при снижении степени сжатия и, соответственно, максимального давления сгорания. Но при этом возникают проблемы запуска двигателя и его работы на холостом ходу и малых нагрузках.

В системе Гипербар, представленной на рисунок 2.11, степень сжатия значительно снижается до величин $6,0 \dots 8,0$, что позволяет обеспечи-

вать надежное воспламенение паров топлива при работе двигателя на больших нагрузках. Для запуска двигателя, работы на холостом ходу и малых нагрузках используется дополнительная камера сгорания 8, которая вместе с ТКР образует одновальный газотурбинный двигатель. Перед запуском двигателя ротор ТКР раскручивается пусковым электродвигателем 2, в камеру сгорания подается и воспламеняется топливо. После создания достаточного давления наддува для воспламенения топлива, впрыскиваемого в цилиндры в конце сжатия, запускается двигатель. Система «Гипербар» обеспечивает высокую мощность и топливную экономичность двигателя при работе на больших нагрузках. На малых нагрузках, когда работает камера сгорания, снижение топливной экономичности может достигать 10%.

Система «Гипербар» хорошо подходит для дизелей судов, совершающих перевозки на дальние расстояния, работающих большую часть времени на режимах, близких к максимальной мощности.



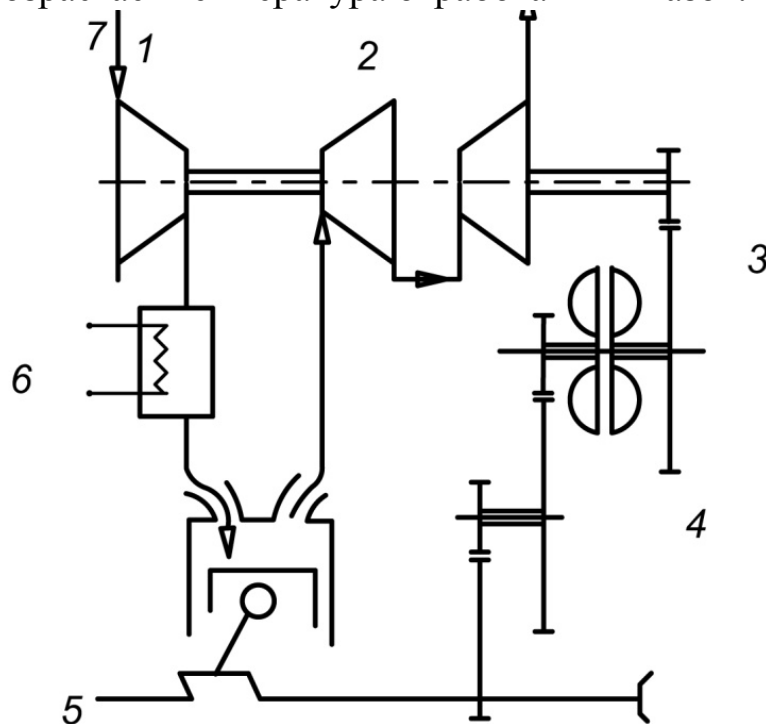
1 – ТКР; 2 – пусковой электродвигатель; 3 – ОНВ; 4 – перепускной канал; 5 – топливный насос; 6 – регулятор системы наддува; 7 – зона перемешивания выпускных газов и перепускаемого воздуха; 8 – камера сгорания; 9 – устройство для зажигания и контроля пламени; 10 – автоматический клапан для предварительного прогрева двигателя

Рисунок 11 - Система Гипербар

Турбокомпаундный двигатель

Отработавшие газы, выходящие из турбины ТКР, имеют достаточно высокую температуру, и ее можно использовать для привода еще одной турбины, называемой силовой, которая передает свою энергию коленчатому валу. Такой двигатель называется турбокомпаундным, его схема

представлена на рисунок 2.12. Так, у дизеля КАМАЗ 8ЧН12/12 на номинальном режиме температура отработавших газов на входе в турбину составляет порядка 600°C , а на выходе из турбины – порядка 450°C , что можно использовать для получения дополнительной мощности. Поскольку при установке силовой турбины повышается противодействие в выпускной системе и увеличивается работа выталкивания, повышение мощности получается небольшим – на 5...7%. Эффективность применения силовой турбины повышается при использовании мер по ограничению потерь теплоты в систему охлаждения (частично адиабатный двигатель), поскольку при этом возрастает температура отработавших газов.



1 – компрессор; 2 – турбина; 3 – гидромуфта; 4 – редуктор;
5 – коленчатый вал; 6 – ОНВ; 7 – вход воздуха; 8 – выход ОГ
Рисунок 12 - Схема турбокомпаундного двигателя:

В связи с меньшей температурой газов на входе в силовую турбину, для получения высокого КПД приходится увеличивать ее диаметр. Силовая турбина соединяется с задней частью коленчатого вала обычно 3-ступенчатым редуктором, имеющим передаточное число 25...30. Поскольку в задней части коленчатого вала имеются максимальные крутильные колебания, чтобы не вывести из строя редуктор и силовую турбину, приходится устанавливать гидромуфту для сглаживания крутильных колебаний. Гидромуфта может устанавливаться на коленчатом валу, на оси промежуточной шестерни и на валу силовой турбины. Чем ближе к силовой турбине установлена гидромуфта, тем меньше будет передаваемый крутящий момент и больше частота вращения, что позволяет уменьшать

размеры гидромуфты. Гидромуфта также может отключать привод силовой турбины на малых нагрузках, когда она неэффективна.

Системы 2-ступенчатого наддува

При высоком форсировании дизелей тяжелых грузовиков, строительной техники, железнодорожного и судового назначения, среднее эффективное давление достигает 2,7 МПа и выше, что требует давления наддува более 0,5 МПа. Обычные ТКР автотракторных двигателей обеспечивают максимальную степень повышения давления порядка $\pi_k = 3,5$ и, соответственно, давление наддува не выше 0,3 МПа. Поэтому для высокого форсирования дизелей требуются либо специальные агрегаты наддува с компрессорами высокого давления, либо двухступенчатые системы наддува с двумя последовательно установленными ТКР. В последнем случае, даже если каждый компрессор имеет величину $\pi_k = 3,5$, суммарная степень повышения давления будет больше 12,0, что позволит получить с большим запасом требуемое высокое давление наддува.

Как видно из схемы двухступенчатой системы наддува, представленной на рисунке 2.13, после каждого компрессора установлен ОНВ, позволяющий несмотря на общую высокую степень повышения давления получать достаточно низкую температуру надувочного воздуха. Поскольку массовый расход воздуха через ТКР обеих ступеней одинаковый, а плотность воздуха, проходящего через компрессор низкого давления, ниже, чем в компрессоре высокого давления, ТКР низкого давления всегда имеет большие размеры, чем высокого давления. В 2-ступенчатых системах наддува обычно применяется регулирование за счет перепуска части газов в обход турбины высокого давления. Это позволяет улучшить работу двигателя на переходных режимах, ускоряя раскручивание ротора ТКР низкого давления, имеющего больший момент инерции.

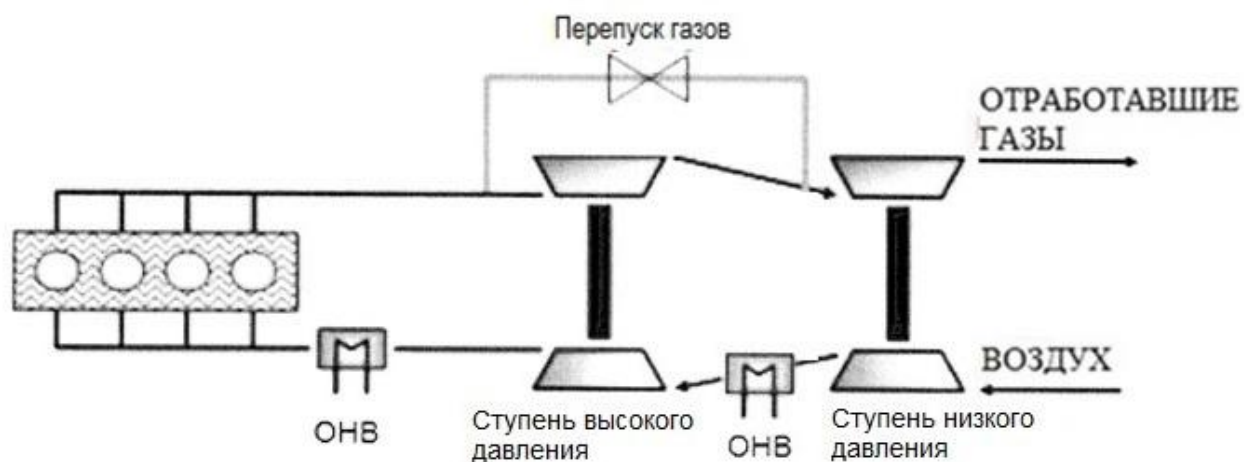


Рисунок 13 - Система двухступенчатого наддува

Применение 2-ступенчатого наддува особо полезно при использовании цикла Миллера, когда за счет раннего закрытия впускного клапана (за 40...70 градусов до НМТ) получается дополнительное расширение и, соответственно, охлаждение рабочего тела в цилиндре, что приводит к получению меньшей максимальной температуры сгорания и снижению выбросов NOx, а также уменьшению вероятности детонации в форсированных газовых двигателях.

Кроме того, несколько повышается топливная экономичность за счет снижения работы сжатия. В этом случае необходимо компенсировать уменьшение количества воздуха, поступившего в цилиндр в связи с ранним закрытием впускного клапана, что и достигается применением 2-ступенчатой системы наддува, как показано на рисунке 2.14, где приводится сравнение циклов Дизеля и Миллера при условии, что в цикле Миллера применяется повышенное давление наддува с тем, чтобы в конце впуска оно было бы таким же, как в цикле Дизеля.

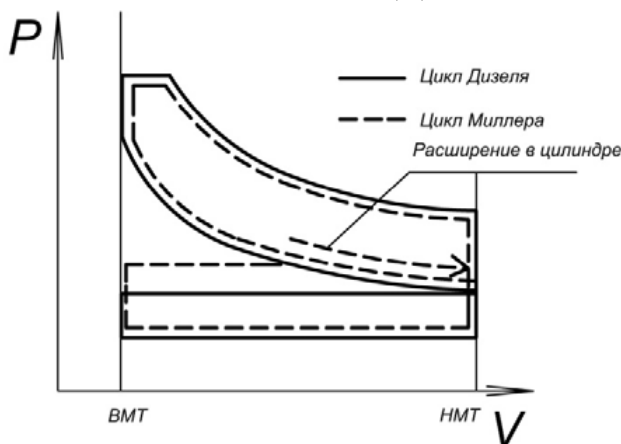


Рисунок 14- Сравнение цикла Дизеля и цикла Миллера при одинаковом давлении в конце впуска

Способы подвода газов к турбине

В импульсных системах наддува кинетическая энергия газов, выходящих из цилиндров двигателя, в максимальной степени преобразуется в работу турбины. Для реализации импульсной системы наддува внутренний диаметр патрубков выпускного коллектора должен быть близок к диаметру выпускных каналов головки цилиндра. Также один выпускной коллектор должен объединять выпуски не более чем из трех цилиндров с максимально равномерными интервалами работы. Так как четырехтактный цикл длится 720 градусов ПКВ, а фазы выпуска обычно близки к 240 градусам ПКВ, в этом случае фазы выпуска не перекрываются или перекрываются минимально, что позволяет получить равномерный характер пульсаций давления газа в выпускном коллекторе.

Тема 10.3. Механизация, автоматизация и специализация процессов ТЭА.

Фирменное и сервисное обслуживание автомобилей. Создание специализированных станций обслуживания и автоцентров.

Эти системы разрабатываются производителями автомобилей, ориентированы главным образом на владельцев индивидуальных (некоммерческих) автомобилей, фирменные сервисные предприятия (дилеров) и стимулируют проведение ТО и ремонта на этих предприятиях.

Фирменные системы ТО и ремонта основаны на планово-предупредительной стратегии и информационно поддерживаются рядом документов.

В руководствах по эксплуатации, которыми располагают владельцы автомобилей, приводится минимум сведений:

- рекомендации проводить ТО на предприятиях технического обслуживания завода-изготовителя в соответствии с рекомендациями сервисных книжек;

- указания по выполнению минимального перечня операций между очередными обслуживаниями, которые включают проверку уровня масла и жидкостей, уход за шинами, замену ламп и плавких предохранителей, косметический уход за кузовом;

- перечень рекомендуемых топливно-смазочных материалов, эксплуатационных жидкостей и автопрепаратов;

- список ламп, применяемых на автомобилях.

Учитывая, что значительная часть владельцев автомобилей, даже в странах, имеющих традиционно развитую и доступную сервисную систему, обслуживают автомобили вне заводских сервисных предприятий, этих сведений явно недостаточно.

Структура системы ТО фиксируется в сервисных книгах, в которых указывается последовательность (план-график, цепочка) проведения ТО с определенной, как правило, постоянной, периодичностью. Например, для семейства автомобилей ВАЗ-2110, -2111, -2112, «Вольво-400, -700, -900», «Мазда-626» такой периодичностью является 15 тыс. км, что соразмерно со среднегодовым пробегом индивидуальных легковых автомобилей в развитых странах. Такой план-график проведения ТО на автомобилях семейства «Вольво» «расписан» на 180 тыс. км, «Мазда» – на 180 тыс. км, ВАЗ – на 105 тыс. км.

В перечнях содержатся традиционные для ТО виды работ: контрольно-диагностические, смазочные, крепежные, регулировочные и другие. В среднем около 60% операций практически одинаковы для всех сту-

пеней ТО, до 30% – чередуются, как правило, через одно ТО (15, 45, 75 тыс. км и т.д.); остальные или являются специфическими только для данной ступени, или содержат рекомендации по принудительной замене ряда деталей и систем (свечи, кислородный датчик и др.) или их вскрытию и частичной разборке (генератор, стартер и др.).

Для автомобилей семейства «Мазда», предназначенных для эксплуатации в тяжелых условиях, периодичность ТО сокращается в 1,5 раза (10 тыс. км) и рекомендуется двухступенчатая система ТО (типа ТО-1, ТО-2) с кратностью 2 (10 и 20 тыс. км) и практически постоянным по этим видам ТО перечнем операций.

Для иностранных легковых автомобилей, собираемых в России, рекомендуется периодичность ТО 6 тыс. км.

Ряд заводов-изготовителей для сервисных предприятий издает рекомендации по трудоемкости ТО и ремонта: трудоемкость работ (услуг) по техническому обслуживанию и ремонту ВАЗ-2110, -2111, -2112; справочник по нормативам стандартного времени для ТО и ремонта автомобилей «Вольво-300, -400, -700, -800, -900» (Volvo Standard Times Guide) и др.

Эти справочники и рекомендации в различных пропорциях и детализации содержат пооперационные нормативные трудоемкости следующих основных работ (на примере ВАЗ):

- смазочные, заправочные, моечно-уборочные и работы по обслуживанию (коды 01-09);
- контрольно-диагностические (коды 10-18);
- снятие и установка деталей (коды 20-28);
- устранение перекоса кузова (коды 30-35);
- разборочно-сборочные и механические (коды 40-49);
- изготовление деталей (коды 50-54);
- рихтовка и сварка кузова (коды 60-69);
- антикоррозионная и противозащумная защита (коды 70-75);
- окраска (коды 80-93).

Эти материалы являются основанием (и оправданием) при нормировании стоимости выполнения услуг на сервисных предприятиях на ступени ТО (по сервисной книжке) и конкретной ремонтной операции. Оценок (или норм) суммарных затрат на текущий ремонт (на 1000 км, год, за срок службы) заводские рекомендации, как правило, не содержат, что затрудняет общую оценку надежности автомобиля и технологические расчеты ремонтных постов и участков сервисных предприятий.

Некоторые зарубежные фирмы в последние годы в технической документации и в рекламе приводят предельную годовую трудоемкость текущего ремонта своих автомобилей, связанную с определенным годовым пробегом.

Ряд производителей в своей рекламе и документации предусматривают корректирование трудоемкости ремонтных работ по мере увеличения наработки автомобиля с начала эксплуатации. Например, у ВАЗ увеличение трудоемкости ремонта при наработке 5 – 8 лет – до 10%, свыше 8 лет – до 20%.

Для организации учета и упрощения технологического проектирования операции шифруются, что является несомненным преимуществом заводской документации. Шифр включает номер детали или агрегата по каталогу и код работы. Например, операция «Перестановка колес автомобиля по схеме» обозначается 3101011.08, где цифры до точки – номер детали (колесо в сборе), после точки – код работы (ТО).

Для последующего анализа надежности автомобилей ряд заводоизготовителей применяет цифровое кодирование причин и признаков отказов («Вольво»), которое используется в сервисных предприятиях.

Преимуществами заводских рекомендаций являются их «привязка» к конкретным моделям автомобилей и их конструкции, наличие пооперационных нормативов трудоемкости, система информации и кодирования деталей и работ, оформление рекомендаций по ТО для владельцев автомобилей в виде сервисной книжки, содержащей полный перечень операций ТО, технологическое и информационное обеспечение фирменных предприятий.

К недостаткам относятся: некомплектность технической документации или ее недоступность для владельцев транспортных средств; отсутствие и слабый учет условий эксплуатации; как правило, завышенная трудоемкость, увеличивающая стоимость обслуживания и ремонта; отсутствие общих нормативов на текущий ремонт; сложность структуры системы, особенно для индивидуальных владельцев автомобилей. Поэтому, как правило, эти рекомендации используются сервисными предприятиями, прежде всего фирменными, и дилерами.

Что касается владельцев транспортных средств, то заводскими рекомендациями по ТО даже в странах с развитой сервисной системой они пользуются главным образом во время гарантийного пробега и в первые годы эксплуатации нового автомобиля.

Учитывая международный обмен автомобильной техникой (экспорт, импорт, лизинг, международные перевозки, туризм), большое значение и распространение приобретают обобщающие нормативные и технологические материалы, которые при их составлении автотранспортными и информационными компаниями приобретают функции рекомендуемых нормативов ТЭА.

Например, известная информационная компания «Оутодейт» (Autodate Ltd. Automotive Technical Publications and Databases) периодически

ски издает сводные нормативы трудоемкости к применяемым системам ТО и ремонта по 40 – 45 производителям (маркам) 670 – 700 моделей легковых автомобилей.

Эта же компания издает справочно-информационные материалы по обслуживанию и ремонту агрегатов и систем автомобилей. Например, техническое обслуживание и ремонт автомобилей, диагностика, испытание и регулирование двигателя, системы питания и зажигания, ремонт кузова, углы установки колес автомобиля и др.

Учет условий эксплуатации при техническом обслуживании и ремонте автомобилей

Условия эксплуатации, при которых используется автомобиль, влияют на режим работы агрегатов и деталей, ускоряя или замедляя изменение параметров их технического состояния по схеме: режимы работы автомобиля и его элементов – интенсивность изменения параметров технического состояния – реализуемые показатели надежности и работоспособности – ресурсы деталей, агрегатов, автомобилей – периодичность и перечень операций ТО – трудоемкость ТО и ремонта – расход запасных частей и материалов и т.д. В различных условиях эксплуатации реализуемые показатели надежности автомобилей за одинаковую наработку будут различаться, что скажется и на показателях эффективности технической эксплуатации. Учет условий эксплуатации необходим при определении нормативов ТЭА, потребности в ресурсах (персонал, производственно-техническая база, запасные части и материалы).

По данным МАДИ, на затраты по ТО и ремонту маршрутных автобусов, работающих в условиях большого города, основное влияние оказывают средняя длина перегона (вес фактора 67 – 69%), использование пассажироместности (24 – 28%) и плотность транспортного потока (4 – 6%). Диапазон вариации этих факторов даже в рамках одной транспортной системы составляет по разным маршрутам соответственно 4,6; 3,4; 6,6 раза.

Объективная оценка влияния условий эксплуатации на надежность и техническое состояние автомобилей является мерой необходимой и должна выполняться своевременно. Более интенсивное использование автомобилей неминуемо увеличивает затраты ИТС на обеспечение их работоспособности, что должно быть учтено в расчетах с клиентурой и компенсировано ИТС подсистемой перевозок предприятия.

Источником такой компенсации является дополнительный доход, получаемый подсистемой перевозок. Таким образом, речь идет о взаимоотношениях двух подсистем автомобильного транспорта – коммерческой

и технической эксплуатации, а в общем случае – о взаимоотношениях подсистемы ТЭА с клиентурой.

В настоящее время влияние режимов работы автомобиля и агрегатов на показатели надежности и нормативы ТЭА установлены в основном эмпирически, в лучшем случае аналитически, для чего используют статистические данные, результаты наблюдений, корреляционно-регрессионные зависимости, которые обобщают имеющийся опыт.

Очевидно, автомобили, работающие в более тяжелых условиях эксплуатации, требуют для обеспечения работоспособности больших трудовых и материальных ресурсов, а затраты на ТО и ремонт автомобилей и себестоимость перевозок будут объективно выше. Это необходимо учитывать при планировании и нормировании процессов технической эксплуатации.

Учет условий эксплуатации осуществляется на основе закономерностей ТЭА достигается классификацией этих условий, идентификацией фактических условий эксплуатации конкретных групп автомобилей и корректированием нормативов ТО и ремонта.

Практически эти задачи решаются следующим образом:

1. Выявляются факторы, которые могут быть отнесены к объективным и местным или субъективным.

2. Объективные факторы систематизируются и группируются по степени и механизму влияния на надежность автомобилей и, как следствие, - на затраты по обеспечению их работоспособности.

На автомобильном транспорте России принято учитывать следующие объективно действующие факторы:

- условия эксплуатации, характеризующиеся типом дорожного покрытия (Д), рельефом местности (Р) и условиями движения (У);

- тип (легковые, грузовые, автобусы), модификация и класс автомобиля (легковые – по рабочему объему двигателя, грузовые – по грузоподъемности, автобусы – по длине);

- природно-климатические условия;

- возраст автомобилей в парке с выделением девяти групп наработок, отнесенный к нормативному ресурсу автомобиля до первого капитального ремонта L_K , т.е. первая возрастная группа с наработкой до $0,25 L_K$; вторая – $0,25 - 0,50$; третья – $0,50 - 0,75$; четвертая – $0,75 - 1,0$; пятая – $1,0 - 1,25$; шестая – $1,25 - 1,50$; седьмая – $1,50 - 1,75$; восьмая – $1,75 - 2,0$; девятая – свыше $2,00 L_K$;

- концентрацию автомобилей на предприятии (размер парка, его разнотипность и разномарочность).

3. Каждый учитываемый фактор имеет идентификационные признаки, которые позволяют выделять специфические группы автомобилей, ра-

ботающих в данных условиях. Например, для условий эксплуатации таких групп пять (см. табл. 21), для природно-климатических условий России – тоже (см. табл. 22), выделены районы с высокой агрессивностью окружающей среды.

4. Вносятся коррективы в нормативы технической эксплуатации.

Для корректирования нормативов технической эксплуатации автомобилей используются **ресурсный** и **оперативный методы**.

Главными задачами ресурсного корректирования нормативов являются:

- количественно учесть влияние объективно действующих идентифицированных факторов на нормативы ТЭА;

- оценить реальную потребность в ресурсах (персонал, оборудование, помещения, расход энергии, материалы и запасные части) с учетом условий эксплуатации;

- обеспечить сопоставимость трудоемкостей и затрат АТП на автомобили, работающие в разных условиях эксплуатации;

- иметь законное обоснование для контролирующих органов (налоговая и транспортная инспекция, прокуратура, местные администрации) при изменении себестоимости и тарифов.

При ресурсном корректировании в настоящее время признаны объективно действующими, т.е. идентифицированными, пять основных факторов.

Основной метод ресурсного корректирования – это изменение нормативов технической эксплуатации автомобилей с помощью коэффициентов корректирования для данных условий относительно эталонных.

Результирующий норматив для конкретных условий эксплуатации определяется по формуле

$$H_p = H_{\text{Э}} \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_2 \cdot \kappa_3 \cdot \kappa_4 \cdot \kappa_5 = H_{\text{Э}} \cdot \kappa_p, \quad (1)$$

где $\kappa_1 - \kappa_5$ – коэффициенты корректирования; κ_p – результирующий коэффициент корректирования, который для периодичности ТО и ресурса имеет ограничения $\kappa_p \geq 0,5$; $H_{\text{Э}}$ – норматив для эталонных условий.

К эталонным условиям ($\kappa_1 = 1$) относятся:

1. Первая категория условий эксплуатации:

- тип дорожного покрытия D_1 – асфальтобетонное и бетонное покрытие;

- рельеф местности P_1, P_2, P_3 – равнинная, слабохолмистая и холмистая местности;

- условия движения $У$ – за пределами города.

2. Базовая модель автомобиля κ_2 .

3. Умеренный климатический район, умеренная агрессивность среды K_3 .

4. Нарботка с начала эксплуатации 50 – 75% от нормативного ресурса автомобиля до КР K_4 .

5. Размер парка 200 – 300 автомобилей трех технологически совместимых групп, для которых применимы одинаковые посты, оборудование и квалификация персонала при проведении ТО и ТР K_5 .

При проектировании и реконструкции производственно-технической базы в основном применяются рассмотренная система нормативов и их ресурсное корректирование.

В ресурсное корректирование вносятся следующие изменения и дополнения, конкретизированные в нормах технологического проектирования предприятий автомобильного транспорта (ОНТП):

1. Так как проектируемая ПТБ может использоваться в течение 40 и более лет, то в расчете на повышение надежности, конструктивное совершенствование автомобилей, использование более эффективных технологий и организации ТО и ремонта применяются более жесткие проектные нормативы:

- расчетная периодичность ТО по разным типам автомобилей увеличивается на 15 – 30%;

- расчетные ресурсы до капитального режима также увеличиваются;

- расчетные трудоемкости, а также нормативы простоя автомобиля в ТО и ТР сокращаются в 1,3 – 1,8 раза.

2. Детализируют поправочные коэффициенты k_2 , учитывающие модификацию подвижного состава (полноприводные автомобили, фургоны, автомобили-цистерны, полуприцепы и др.).

3. Детализируют группировку автомобилей по технологически совместимым группам (коэффициент k_5).

4. Учитывают при корректировании трудоемкости ТР условия хранения автомобилей. При этом трудоемкость ТР при открытом хранении увеличивается на 10%.

Оперативное корректирование проводится непосредственно на АТП силами ИТС после внедрения на предприятии исходных нормативов ТЭА и ресурсного корректирования.

Целями оперативного корректирования являются:

- учет специфических условий конкретного предприятия, группы автомобилей, маршрута (нагрузка, характер груза, маршруты движения, региональные требования и др.);

- повышение уровня технического состояния парка;

- более эффективное использование ресурсов ИТС (посты, оборудование, агрегаты, персонал).

Основным методом корректирования является совместный анализ фактически выполняемых на данном АТП операций ТО, диагностирования и возникающей при этом потребности в работах ТР, которые непосредственно связаны с режимами и качеством выполнения профилактических работ.

Исходными данными при оперативном корректировании, полученными из действующей на АТП системы учета и выборочных наблюдений за фактическим выполнением операций ТО и ремонта, являются:

- наработка на случай ТР l_m ;
- фактический коэффициент повторяемости данной операции при ТО k ;
- вариация наработки на случай ТР v_T ;
- наличие в требованиях на ТР операций, входящих в состав ТО;
- разовые затраты на выполнение операций ТО d и ремонта c ;
- периодичности видов ТО.

Рекомендуется применять расчетно-аналитический и табличный методы оперативного корректирования.

В первом случае рассмотренными ранее методами определяют периодичность конкретной операции ТО и относят ее к тому или иному виду ТО, принятому на АТП.

Во втором случае, который в табличной форме обобщает подобные расчеты для характерных исходных данных по l_m , v_T коэффициенту относительных затрат, равному отношению затрат при выполнении ТО к затратам при выполнении ремонта по потребности, $K_n = d/c$, $L_{ТО}$, определяют интервал наработок $h \cdot l_m < L_{ТО} < h' \cdot l_m$ (табл. 36).

Таблица 1

Примерные условия корректирования перечня и периодичности работ ТО

K_n	Степень вариации		
	малая	средняя	большая
Менее 0,1	$0,10 \cdot l_m < l < l_m$	$0,15 \cdot l_m < l < l_m$	$0,20 \cdot l_m < l < l_m$
0,1-0,2	$0,15 \cdot l_m < l < l_m$	$0,20 \cdot l_m < l < l_m$	$0,40 \cdot l_m < l < l_m$
0,2-0,3	$0,25 \cdot l_m < l < l_m$	$0,30 \cdot l_m < l < l_m$	-
0,3-0,4	$0,35 \cdot l_m < l < l_m$	$0,50 \cdot l_m < l < l_m$	-
0,4-0,5	$0,45 \cdot l_m < l < 0,95 \cdot l_m$	-	-
0,5-0,6	$0,55 \cdot l_m < l < 0,90 \cdot l_m$	-	-
0,6 и более	-	-	-

Если принятая на АТП периодичность укладывается в этот интервал, то соответствующую операцию ТР целесообразно проводить при ТО.

Например, средняя наработка на случай ТР $l_m = 19$ тыс. км, коэффициент вариации наработки $v_T = 0,6$, а коэффициент относительных затрат $K_n = d/c = 0,25$. Эту операцию экономически целесообразно проводить в интервале наработки от $0,3 \cdot l_m$ до $1,0 \cdot l_m$, т.е. в интервале 5,7 – 19 тыс. км. Если в данном АТП приняты периодичности ТО-1 3 тыс. км, а ТО-2 12 тыс. км, то рассматриваемую операцию ТР можно включить в ТО-2 и нецелесообразно включать в ТО-1.

При отсутствии данных по фактическим коэффициентам вариации наработки на случай ТР можно пользоваться рекомендациями, приведенными в табл. 37.

Таблица 2

Диапазоны значений коэффициентов вариации наработок на один случай текущего ремонта

Вид разрушений	Коэффициент вариации	Степень вариации
Износ трущихся пар (подшипники скольжения, поршневые кольца, гильзы цилиндров, фрикционные пары)	0,1-0,3	Малая
Усталостный излом при изгибе и кручении, износ подшипников скольжения. Поверхностное усталостное выкрашивание, разрушение зубчатых передач. Комплексное разрушение (сочетание износа, усталости, коррозии)	0,3-0,9	Средняя
Разрушение по причинам ослабления крепежных соединений. Отказы системы питания по причине засорения топливных жиклеров, форсунок, фильтров, магистралей. Отказы элементов электрооборудования по причине ослабления и коррозии токопроводящих контактов	0,7-0,9	Большая

Оперативное корректирование может применяться при конкретизации и уточнении классификации условий эксплуатации, например, маршрутных автобусов, а также при обосновании целесообразности и периодичности важных профилактических воздействий, которые не укладываются по трудоемкости в принятую на АТП структуру системы ТО. Это так называемый предупредительный ремонт (или замена), например замена по наработке кислородного датчика системы нейтрализации отработавших газов, тормозных накладок автомобилей, участвующих в междугородных

и международных перевозках; свечей зажигания, ремня распределительного вала и др.

Комплексные показатели оценки эффективности технической эксплуатации и надежности автомобилей

Автомобиль является сложным восстанавливаемым изделием и субъектом транспортного процесса, который может в определенные моменты времени находиться в одном из состояний: работать на линии, проходить ТО или ремонт, ожидать клиентуру и т.д. Вероятность перехода автомобиля из одного состояния в другое определяется по закономерностям марковского процесса с непрерывным временем.

При достаточно больших промежутках времени работы автомобиля или группы автомобилей эти вероятности, называемые в этом случае финальными, становятся достаточно стабильными (или близкими к стабильным) и характеризуют среднее время нахождения автомобилей в определенном состоянии (табл. 38), а суммарная продолжительность этих состояний составляет цикл $D_{\text{ц}} = D_{\text{э}} + D_{\text{н}} + D_{\text{р}}$. Цикл может быть кратковременным (сутки, неделя, месяц) или длительным: от года ($D_{\text{ц}} = D_{\text{г}}$) до проведения капитального ремонта ($D_{\text{ц}} = L_{\text{к}}$) или списания ($D_{\text{ц}} = L_{\text{а}}$).

Стационарные показатели характеризуют:

- уровень работоспособности автомобиля или парка;
- взаимоотношения между инженерно-технической и перевозочной службами;
- эффективность работы инженерно-технической службы.

Таблица 3

Стационарные состояния автомобилей

Техническое состояние автомобиля	Местонахождение	Процесс	Продолжительность, дни (смены, часы)
Исправен	На линии – в эксплуатации	Перевозочный	$D_{\text{э}}$
Исправен	В зоне хранения	Ожидание работы (выходные дни, отсутствие работы, персонала)	$D_{\text{н}}$
Неисправен	В зоне ТО и ремонта	ТО, ремонт, ожидание ТО или ремонта	$D_{\text{р}}$

Основные показатели стационарного состояния автомобиля (парка):

1) α_g – коэффициент выпуска, определяющий долю календарного времени, в течение которого автомобиль (или парк) фактически осуществляет транспортную работу на линии:

$$\text{автомобиля } \alpha_g = \frac{D_э}{D_э + D_p + D_n} = \frac{D_э}{D_ц}; \quad (2)$$

$$\text{парка } \alpha_g = \frac{AD_э}{AD_э + AD_p + AD_n} = \frac{AD_э}{AD_ц}, \quad (3)$$

где $D_э$ – число дней эксплуатации автомобиля; D_p – число дней простоя автомобиля в ремонте и ТО; D_n – число дней простоя автомобиля в исправном состоянии по организационным причинам; $D_ц$ – число дней в цикле; $AD_э$ – число автомобиле-дней эксплуатации; AD_p – число автомобиле-дней простоя в ремонте и ТО; AD_n – число автомобиле-дней простоя в исправном состоянии по организационным причинам; $AD_ц$ – число автомобиле-дней в цикле;

2) α_m – коэффициент технической готовности (КТГ), определяющий долю рабочего времени, в течение которого автомобиль (парк) исправен и может быть использован в транспортном процессе:

$$\text{автомобиля } \alpha_m = \frac{D_э}{D_э + D_p}; \quad (4)$$

$$\text{парка } \alpha_m = \frac{AD_э}{AD_э + AD_p}; \quad (5)$$

3) α_n – коэффициент нерабочих дней, определяющий долю календарного времени, в течение которого исправный автомобиль (группа автомобилей) не используется в транспортном процессе по организационным причинам (выходные, отсутствие работы, персонала, забастовки, погодноклиматические условия):

$$\alpha_n = \frac{D_n}{D_ц}; \quad \alpha_n = \frac{AD_n}{AD_ц}. \quad (6)$$

Коэффициент технической готовности является одним из показателей, характеризующих работоспособность автомобиля и парков. Рассмотрим соотношение

$$\frac{\alpha_{\epsilon}}{\alpha_m} = \frac{D_{\epsilon} + D_p}{D_{\epsilon} + D_p + D_n} = \frac{D_{\epsilon} - D_n}{D_{\epsilon}} = 1 - \frac{D_n}{D_{\epsilon}} = 1 - \alpha_n, \quad (7)$$

откуда

$$\alpha_{\epsilon} = \alpha_m \cdot (1 - \alpha_n). \quad (8)$$

Таким образом, коэффициент выпуска непосредственно зависит от коэффициента технической готовности и коэффициента нерабочих дней, а соотношение этих трех коэффициентов определяет вклад каждой из подсистем автомобильного транспорта в транспортный процесс и производительность автомобиля W_a и парка W_A .

Для грузовых перевозок

$$W_a = 365 \cdot \alpha_m \cdot (1 - \alpha_n) \cdot q \cdot \gamma \cdot \beta \cdot l_{cc}, \text{ Т} \cdot \text{км/год}, \quad (9)$$

где q – номинальная грузоподъемность; γ – коэффициент использования грузоподъемности; β – коэффициент использования пробега автомобиля; l_{cc} – среднесуточный пробег.

Для парка автомобилей

$$W_A = A_H \cdot W_a, \text{ Т} \cdot \text{км/год}, \quad (10)$$

где A_H – инвентарное количество автомобилей в парке.

Связь коэффициента технической готовности с организацией технического обслуживания и ремонта, если числитель и знаменатель в формуле (59) разделить на D_{ϵ} , определяется формулой

$$\alpha_m = \frac{1}{1 + \frac{D_p}{D_{\epsilon}}}. \quad (11)$$

Продолжительность эксплуатационного цикла в днях зависит от планируемого пробега или наработки за цикл L_K и среднесуточного пробега l_{cc} : $D_{\epsilon} = L_K / l_{cc}$.

Простой на ТО и в ремонте за цикл D_p складывается из простоя в капитальном ремонте, если он производится, и простоя на ТО и ТР: $D_p = D_{КР} + D_{ТР.ТО}$. Простой в капитальном ремонте обычно нормируется в календарных днях, а простой на ТО и в ТР – в виде удельной нормы $d_{ТР}$ в днях на 1000 км пробега. Таким образом, $D_{ТР.ТО} = d_{ТР} \cdot L_k / 1000$. Следует обратить внимание, что основная доля простоев (до 85 – 95%) приходится на текущий ремонт. Поэтому сокращение простоев в ремонте на АТП является для ИТС главным резервом увеличения α_v и α_m .

Анализ коэффициента технической готовности с учетом дней ремонта и эксплуатации описывается следующим выражением:

$$\frac{D_p}{D_v} = \frac{D_p \cdot l_{cc}}{L_k} = B_p \cdot l_{cc}, \quad (12)$$

где $B_p = D_p / L_k$ – удельные простои с потерей рабочего времени за цикл автомобиля во всех видах ТО и ремонта, дней/1000 км.

В этом случае

$$\alpha_m = \frac{1}{1 + B_p \cdot l_{cc}} = \frac{1}{1 + B_p \cdot T_n \cdot V_v}, \quad (13)$$

где V_v – эксплуатационная скорость, км/ч; T_n – продолжительность рабочей смены (или времени наряда), ч.

В формуле (68) B_p определяет влияние ИТС на α_m , а l_{cc} , T_n и V_v – интенсивности перевозочного процесса на коэффициент технической готовности, т.е. уровень работоспособности автомобиля и парка.

Из приводимых формул, рис. 47 и табл. 38 следует, что интенсификация использования автомобилей (рост V_v , l_{cc} , β , γ , T_n) увеличивает производительность W , но объективно сокращает КТГ и увеличивает нагрузку на ИТС. Таким образом, повышенные и обоснованные требования к уровню работоспособности автомобилей (например, увеличение необходимого коэффициента технической готовности и выпуска или уровня линейной безотказности) вызывают дополнительные затраты ИТС.

Влияние коэффициента технической готовности и уровня линейной безотказности на удельные затраты городских пассажирских перевозок автобусом особо большой вместимости представлено на рис. 1.

При наличии спроса, определяющего возможность увеличения объема транспортной работы ΔW , следует:

- из ряда альтернативных (рост парка, изменение структуры и ТЭС автомобилей, увеличение КТГ, увеличение $V_э$, l_{cc} , T_n , сокращение числа нерабочих дней и др.) выбрать способ увеличения W ;

- при принятии решения об увеличении уровня технической готовности, а также более интенсивного использования автомобилей (Δq , $\Delta V_э$, Δl_{cc} , $\Delta \alpha_m$, $\Delta \gamma$) предусмотреть из дополнительного дохода от перевозочного процесса компенсацию ИТС, объективно определяемую ростом затрат (трудоемкость, расход материалов и запасных частей, дополнительная потребность в площадях и др.).

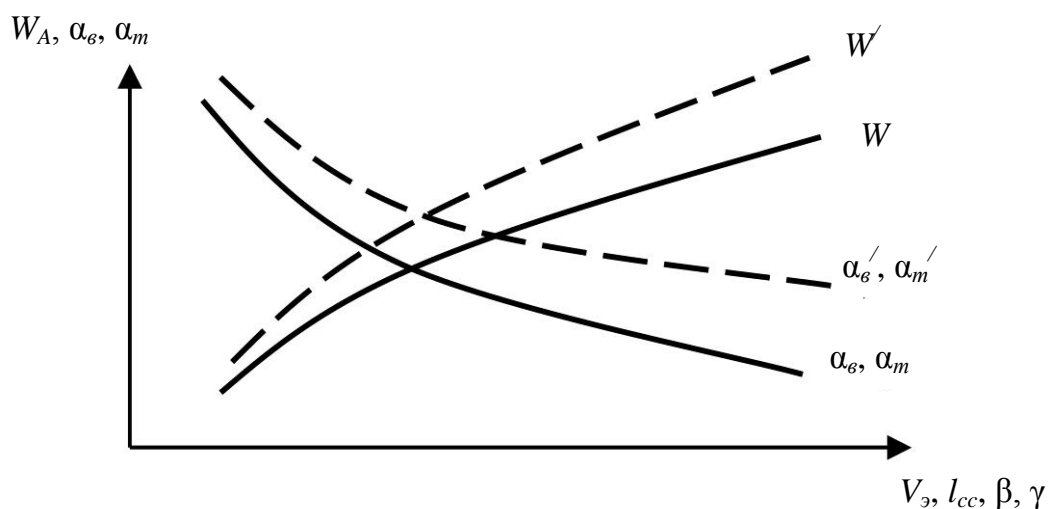


Рис. 1. Влияние интенсивности использования автомобилей на производительность и работоспособность

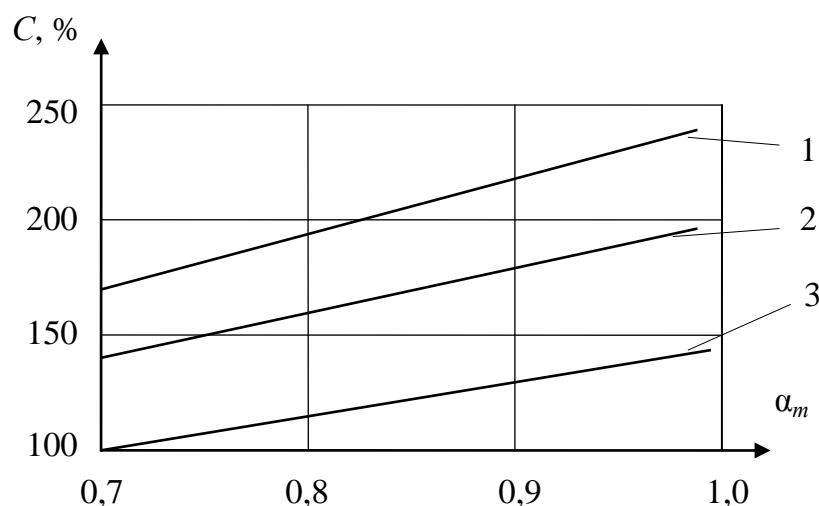


Рис. 2. Влияние коэффициента технической готовности и уровня линейной безотказности на удельные затраты городских пассажирских перевозок автобусом особо большой вместимости
1 – 100%; 2 – 80%; 3 – 60%

Связь коэффициента технической готовности с показателями надежности автомобилей. Общий простой автомобиля с потерей рабочего времени за определенный период его работы складывается из n простоев в результате отказов различных агрегатов и систем. В этом случае средняя наработка на отказ, вызывающий простой автомобиля, $\bar{x}_{np} = L_k / n$. Тогда при средней продолжительности одного простоя \bar{t}_{np} продолжительность простоя автомобиля за эксплуатационный цикл $D_p = \bar{t}_{np} \cdot n$ и, следовательно,

$$\frac{D_p}{D_э} = \frac{\bar{t}_{np} \cdot n \cdot l_{cc}}{L_k} = \frac{\bar{t}_{np} \cdot n \cdot l_{cc}}{\bar{x}_{np} \cdot n} = \frac{\bar{t}_{np} \cdot l_{cc}}{\bar{x}_{np}}, \quad (14)$$

откуда на основании выражения (68) следует

$$\alpha_m = \frac{1}{1 + l_{cc} \cdot \frac{\bar{t}_{np}}{\bar{x}_{np}}} = \frac{1}{1 + l_{cc} \cdot B_p} = \frac{1}{1 + l_{cc} \cdot \bar{t}_{np} \cdot \omega_{np}}, \quad (15)$$

где ω_{np} – параметр потока отказов, вызвавших простой автомобиля с потерей рабочего времени.

Из формулы (70) следует, что на α_m и B_p влияют:

\bar{t}_{np} – средняя продолжительность простоя в рабочее время автомобиля (когда устраняется отказ или неисправность), характеризующая уровень технологии и организации производства, а также приспособленность автомобиля и его агрегатов к ТО и ремонту (или эксплуатационная технологичность);

\bar{x}_{np} – средняя наработка на отказ, определяющая надежность автомобиля, условия эксплуатации, а также качество проведения ТО и ремонта;

l_{cc} – среднесуточный пробег, характеризующий условия и интенсивность эксплуатации автомобилей.

Кроме того, появляется возможность управления работоспособностью автомобилей на основе количественной оценки мероприятий, которые следует провести для обеспечения заданного уровня α_g и α_m , т.е., в конечном итоге, работоспособности и производительности. Для достижения этого возможны два пути.

При решении прямой задачи изменение коэффициента технической готовности $\Delta\alpha_m$ диктуется необходимостью прироста объема перевозок и производительности автомобилей ΔW по схеме (без учета знаков)

$$\Delta W \rightarrow \Delta\alpha_g \rightarrow \Delta\alpha_m \rightarrow \Delta B_p \rightarrow (\Delta x_{np}, \Delta t_{np}). \quad (16)$$

Обратная задача рассматривает конкретные мероприятия, проводимые ИТС и влияющие на повышение показателей эффективности, например коэффициента технической готовности на производительность автомобиля и объем перевозок, т.е.

$$(\Delta x_{np}, \Delta t_{np}) \rightarrow \Delta B_p \rightarrow \Delta\alpha_m \rightarrow \Delta\alpha_g \rightarrow \Delta W. \quad (72)$$

Подобные мероприятия должны влиять на изменение (увеличение) наработки на случай простоя \bar{x}_{np} и уменьшение продолжительности простоя t_{np} , т.е. сокращение B_p .

Из рис. 49 видно, что удельный простой в ремонте определяется тангенсом угла наклона линии B_p к оси абсцисс, а переход от исходного значения B_p к необходимому B'_p возможен:

- при сокращении средней продолжительности простоя в ремонте **1** – улучшение ПТБ, механизация, совершенствование технологии и организации;
- при увеличении средней наработки на случай ремонта **3** – повышение качества ТО и ремонта, «омоложение» парка и др.;
- многочисленными комбинациями этих способов **2**.

Иными словами, $B'_{np} = \bar{t}_{np} / \bar{x}_{np}' = \bar{t}_{np}' / \bar{x}_{np} = \bar{t}_{np}''' / \bar{x}_{np}''$, т.е. для ИТС появляются варианты решений.

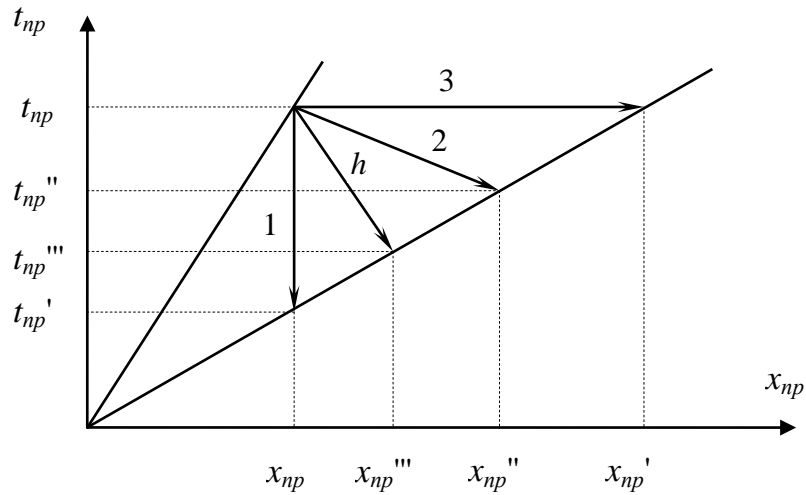


Рис. 3. Способы сокращения удельного простоя на ТО и в ремонте

При заданном изменении целевого показателя удельного простоя $B_p \rightarrow B_p'$ (см. рис. 49) необходимо изменить целевые показатели по средней наработке следующим образом.

При изменении только t_{np} (траектория 1 на рис. 49 $\bar{x}_{np} = \text{const}$)

$$\bar{t}_{np}' = \frac{\bar{t}_{np} \cdot B_p'}{B_p}. \quad (17)$$

При изменении только x_{np} (траектория 3 на рис. 49 $\bar{t}_{np} = \text{const}$)

$$\bar{x}_{np}' = \frac{\bar{x}_{np} \cdot B_p}{B_p'}.$$

При кратчайшей траектории от B_p к B_p' (траектория h на рис. 49):

$$h = t_{np} \cdot \cos \beta \cdot \left(1 - \frac{B_p'}{B_p} \right), \quad (18)$$

где $\text{tg} \beta = B_p' = \frac{\bar{t}_{np}}{\bar{x}_{np}'} = \frac{\bar{t}_{np}'}{\bar{x}_{np}} = \frac{\bar{t}_{np}'''}{\bar{x}_{np}''}$.

Рациональная траектория определяется соотношением затрат на необходимые изменения целевого показателя

$$Z = \Delta ЦП(x, t) \cdot \Delta Z(x, t), \quad (19)$$

где $\Delta ЦП(x, t)$ – необходимые изменения целевых показателей для \bar{x}_{np} и t_{np} ; $\Delta Z(x, t)$ – удельные затраты на изменение (увеличение или сокращение) целевых показателей.

Поэтому, как правило, при небольшой начальной наработке, низком уровне эксплуатационной надежности (рис. 50) наибольший эффект по сокращению удельного простоя и соответственно увеличению коэффициента технической готовности дает увеличение наработки, т.е. качества ТО и ремонта. Влияние на удельный простой продолжительности ремонта линейно, поэтому мероприятия по сокращению продолжительности ремонта, требующие, как правило, больших капиталовложений и времени для реализации, можно проводить на следующем этапе.

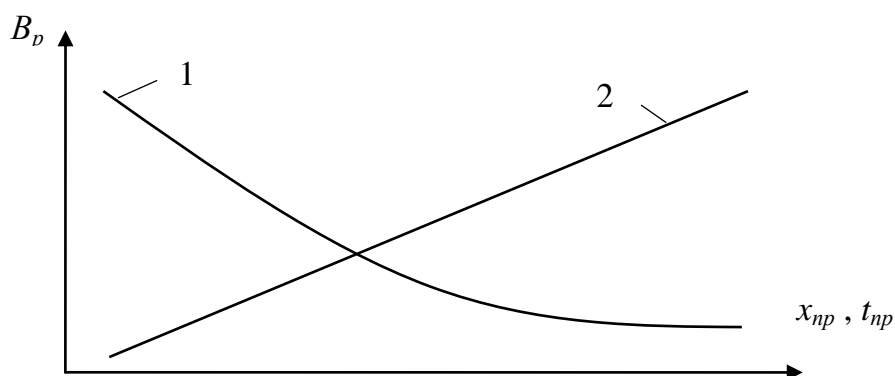


Рис. 4. Влияние наработки на случай простоя 1 и продолжительности простоя 2 на удельный простой на ТО и в ремонте B_p