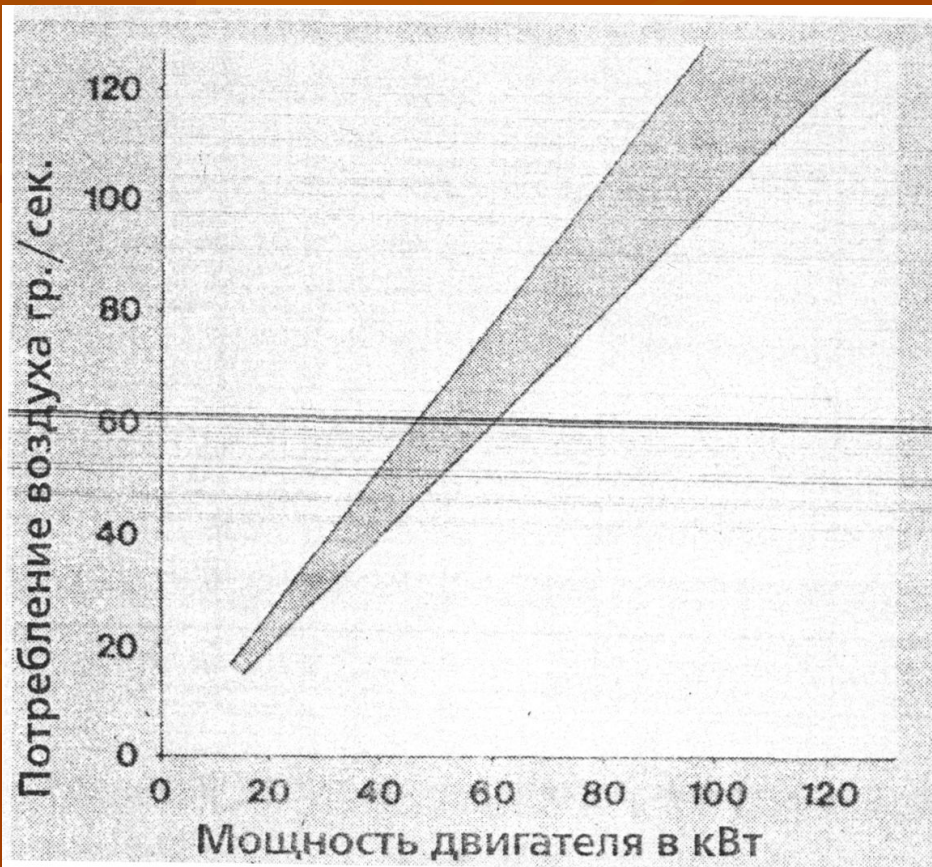


ЛЕКЦИЯ 14

Системы наддува .

Мощность двигателя внутреннего сгорания определяется объемом заряда, поступающего в цилиндр в единицу времени. Сам заряд представляет собой топливно-воздушную смесь, которая формируется у бензинового двигателя во впускной системе, а у дизельных двигателей путем непосредственного впрыскивания топлива в камеру сгорания.

В полном объеме заряда составляющая объема топлива мала, а объем необходимого для сгорания воздуха велик. И так масса поступающего объема топлива определяется в конечном счете предоставленным объемом кислорода (или объемом воздуха), то справедлива следующая зависимость:



Мощность двигателя внутреннего сгорания прямо пропорциональна поступающему вместе с топливом воздуха.

Чем больше поступает воздуха, тем больше мощности можно выжать из двигателя. Поэтому исходная цель, связанная с увеличением поступления воздуха в единицу времени, может быть достигнута у двигателя без наддува различными способами. И здесь как раз бы все внимание на рабочий объем, как важнейшую базовую меру пропускаемого количества воздуха. Но его у данных двигателей можно увеличить только в определенных границах, хотя и здесь зависимость достаточно проста: больший объем допускает и больший расход воздуха, а следовательно, и более высокую мощность.

Эффективная мощность, приходящаяся на единицу рабочего объема двигателя, определяется по ранее приведенному уравнению:

$$N_{\text{л}} = \frac{n}{30\tau} \cdot \frac{H_u}{l_0} \cdot \frac{\eta_i}{\alpha} \cdot \eta_{\text{г}} \cdot \eta_{\text{м}} \cdot \rho_k .$$

где

$$\frac{H_u}{l_0} \cdot \frac{\eta_i}{\alpha} \cdot \eta_{\text{г}} \cdot \eta_{\text{м}} \cdot \rho_k = p_e .$$

При данном рабочем объеме двигателя мощность может быть повышена путем увеличения n или p_e . Возможности увеличения n ограничены средней скоростью поршня.

Рассмотрим возможности увеличения $N_{\text{ст}}$ за счет среднего эффективного давления. Величина отношения η_i / α определяется индикаторным процессом в цилиндре и на современном совершенстве процесса рост ее возможен на несколько процентов. Величина η_g так же достигла высоких значений. Уменьшение механических потерь так же не дает резкого увеличения p_e .

Плотность заряда можно значительно увеличить, повышая p_k . Этот способ называют наддувом двигателя. Пропорционально p_k возрастает p_e , а следовательно, и литровая мощность двигателя.

Степень наддува $\pi_k = p_k / p_0$ в современных двигателях может быть низкая ($\pi_k < 1,5$), средняя ($1,5 \leq \pi_k < 2,0$), высокая ($\pi_k \geq 2$). При $\pi_k \geq 2$ применяют промежуточное охлаждение воздуха.

Для наддува наиболее широко применяют приводной нагнетатель (ПН) и турбокомпрессор (ТК). Возможно использование ПН в качестве одной, а ТК — другой ступени в комбинированной системе наддува, что показано на рис. 14.2.

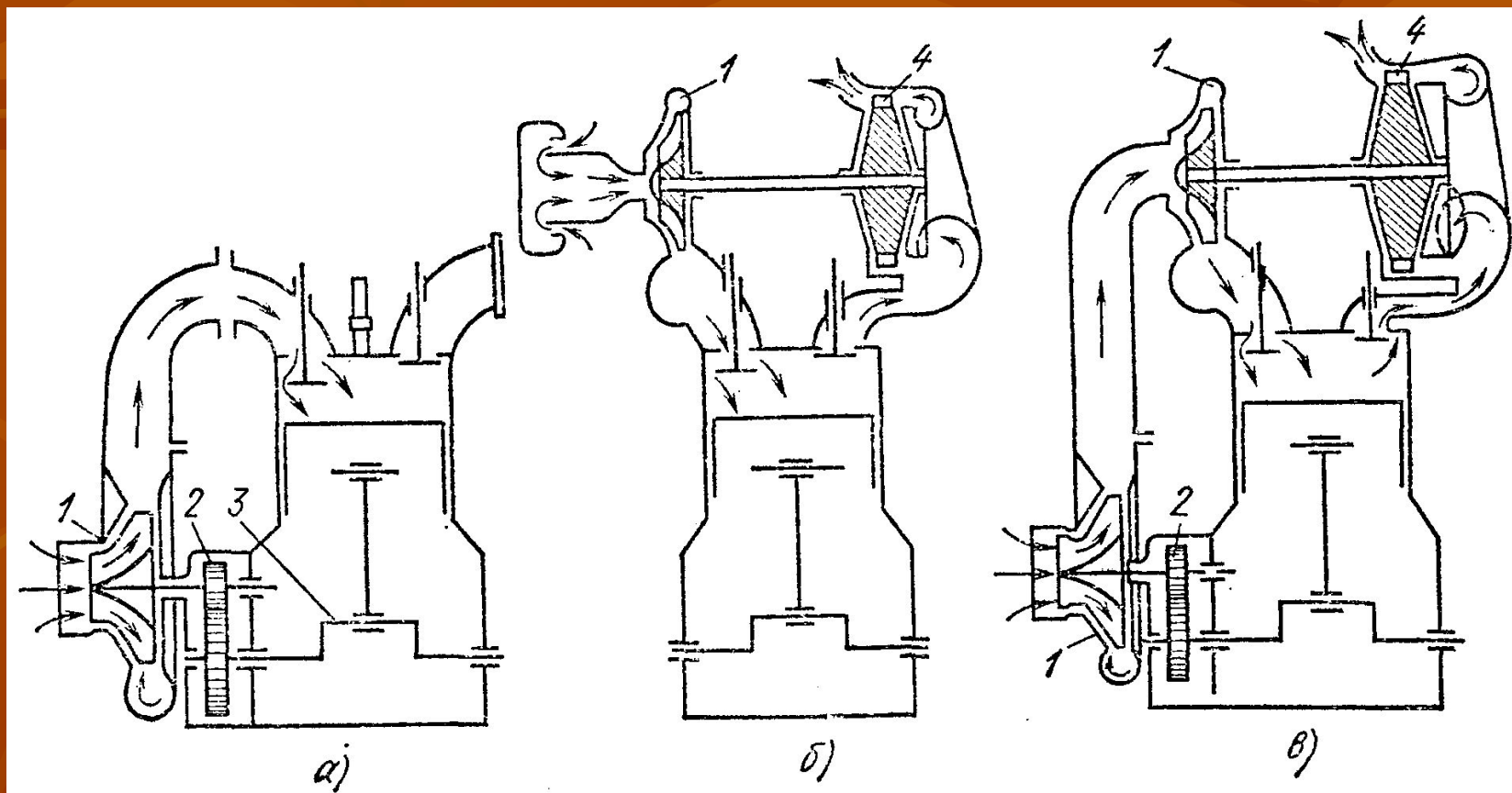


Рис. 14.2. Системы наддува двигателей

На рис. 14.3 показана схема ТК.

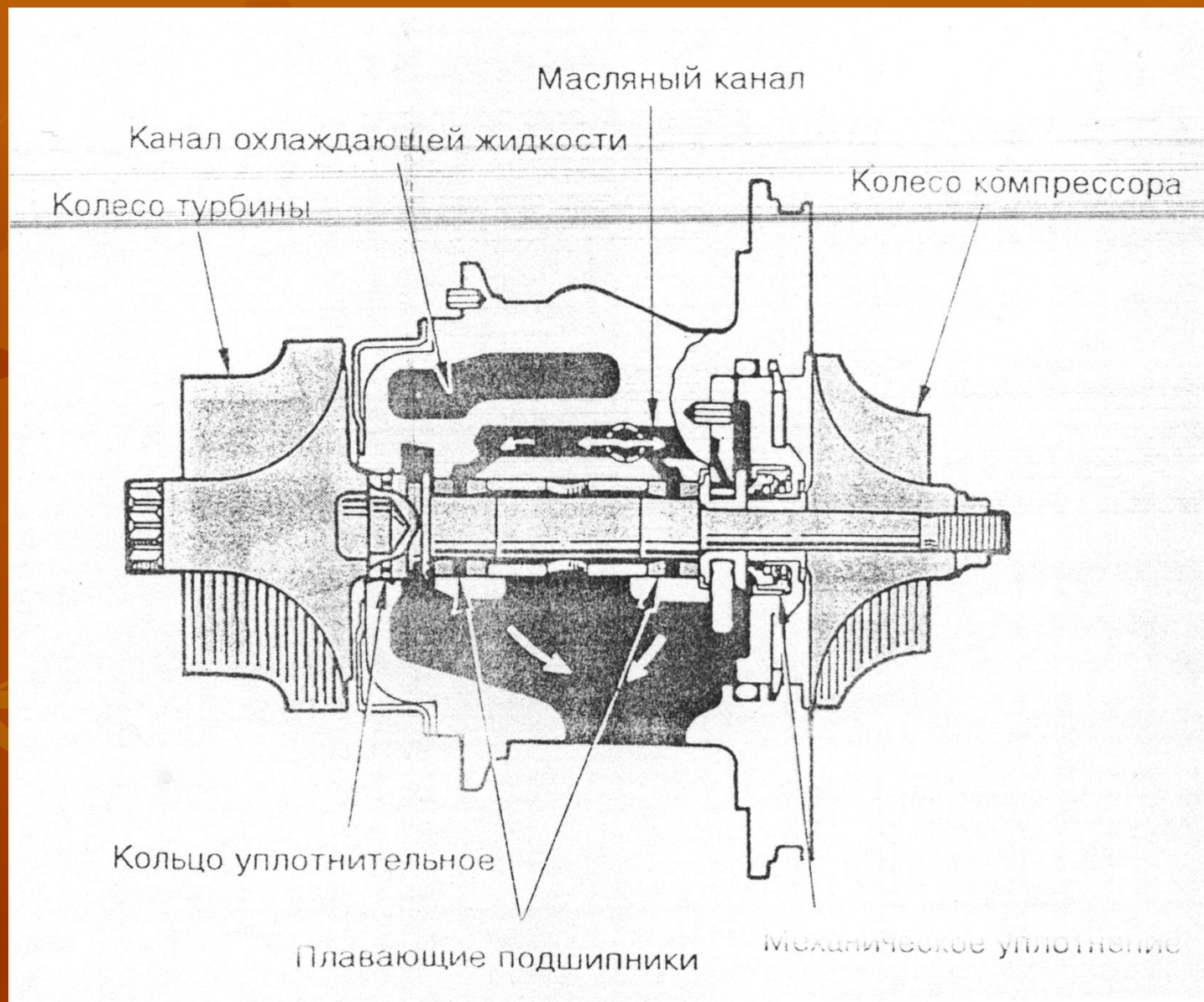


Рис. 14.3. Схема турбокомпрессора

В случае турбонаддува повышается работа выталкивания газа, однако, поскольку для привода ТК используется энергия ОГ, это позволяет улучшить топливную экономичность по сравнению с ПН. Преимуществами ТК перед ПН являются также большая компактность системы наддува, большее давление наддува на средних и высоких частотах вращения, что позволяет повысить степень форсирования двигателя наддувом, а также меньший уровень шума. В то же время ПН, имея жесткую связь с коленчатым валом, обеспечивает более высокое давление наддува на малых частотах вращения, что улучшает динамические качества транспортных средств и уменьшает выбросы сажи дизелями на малых частотах вращения и при разгоне. Только ПН на всех режимах работы двигателя обеспечивает давление на впуске в цилиндр большее, чем на выпуске, а это необходимо для осуществления продувки двухтактных двигателей.

ТК в силу перечисленных достоинств значительно шире используют для наддува 4-х тактных ДВС, а ПН устанавливают в основном на двухтактных дизелях.

Различают три вида систем наддува по способу подвода газа от цилиндров к турбине:

- *изобарная система* с близким к постоянному давлением газа перед турбиной. Газы из всех цилиндров выходят в общий выпускной коллектор большого объема, в котором пульсации давления сглаживаются. В стационарном потоке газа турбина работает с высоким КПД;

· *импульсная система с турбиной, работающей в пульсирующем потоке газа.* Здесь газы подводятся к турбине от нескольких групп цилиндров, объединенных общим участком трубопровода. При этом обычно используют турбину с парциальным подводом газа, т.е. когда газы от каждой группы цилиндров подводятся к части окружности колеса. В одну группу объединяются цилиндры с достаточно большим интервалом работы (обычно два-три цилиндра), с тем чтобы их фазы впуска по возможности не перекрывались. Сечение и длину впускного коллектора стараются сделать минимальными для наиболее полного использования энергии ОГ в турбине. Работа импульсной турбины получается больше, чем изобарной, при одинаковых условиях, поскольку потери энергии газа при его перетекании из цилиндра к турбине меньше, а располагаемый теплоперепад (сумма за цикл мгновенных располагаемых работ газа) — больше. При импульсном наддуве снижается КПД турбины.

Изобарные системы более эффективны на больших частотах вращения и при больших давлениях в выпускном коллекторе (при высокой степени форсирования турбонаддувом), когда пульсации давления сглаживаются, а импульсные системы — при малых частотах вращения и сравнительно низких давлениях в выпускном коллекторе (обычно 0,16 МПа и ниже).

· система с преобразователями импульсов (рис. 13.4) является промежуточной и сочетает выгоды от пульсации давления в выпускном коллекторе (уменьшение работы выталкивания и улучшение продувки цилиндра) с выигрышем от уменьшения пульсации давления перед турбиной, что повышает ее КПД.

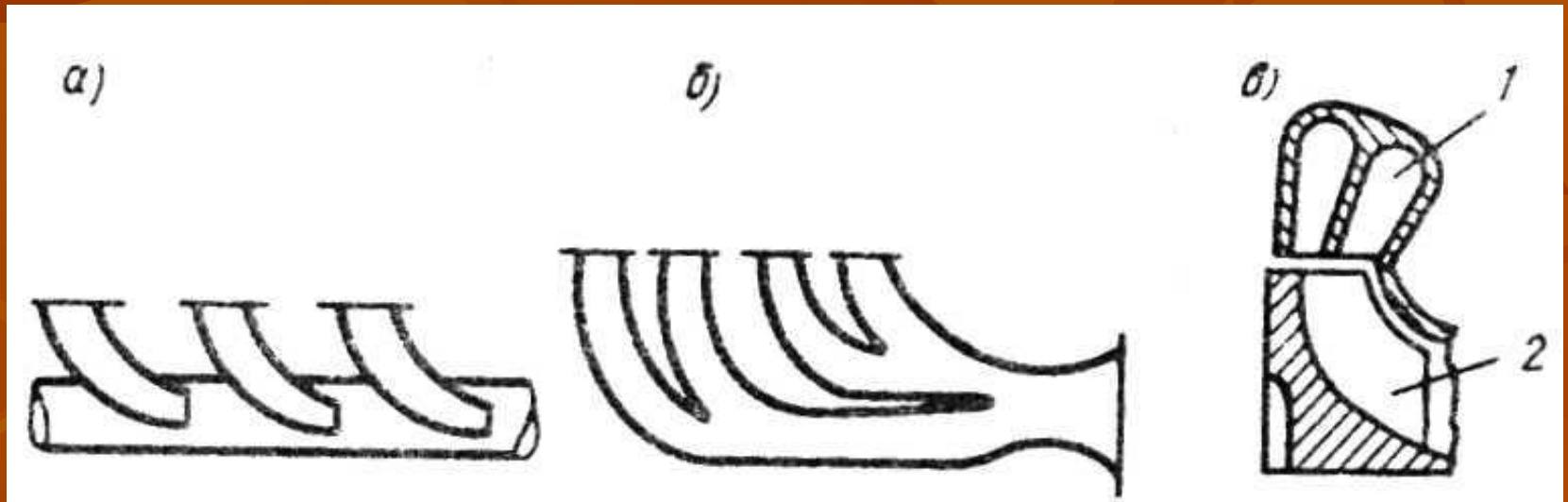


Рис. 14.4. Система с расположением преобразователя импульсов:
а, б — в выпускном коллекторе; в — в корпусе турбины:

1 — корпус турбины, 2 — рабочее колесо

При сжатии в компрессоре температура воздуха увеличивается и для автотракторных двигателей обычно составляет 70...130 °С. Для снижения этой температуры используется промежуточное охлаждение надувочного воздуха.

Применяются схемы воздухо-воздушного и водовоздушного охладителей надувочного воздуха (ОНВ) рис. 14.5. Воздухо-воздушный ОНВ устанавливается обычно перед масляным и водяным радиаторами двигателя. Охлаждение надувочного воздуха происходит за счет обдувания ОНВ встречным и создаваемым вентилятором потоками воздуха.

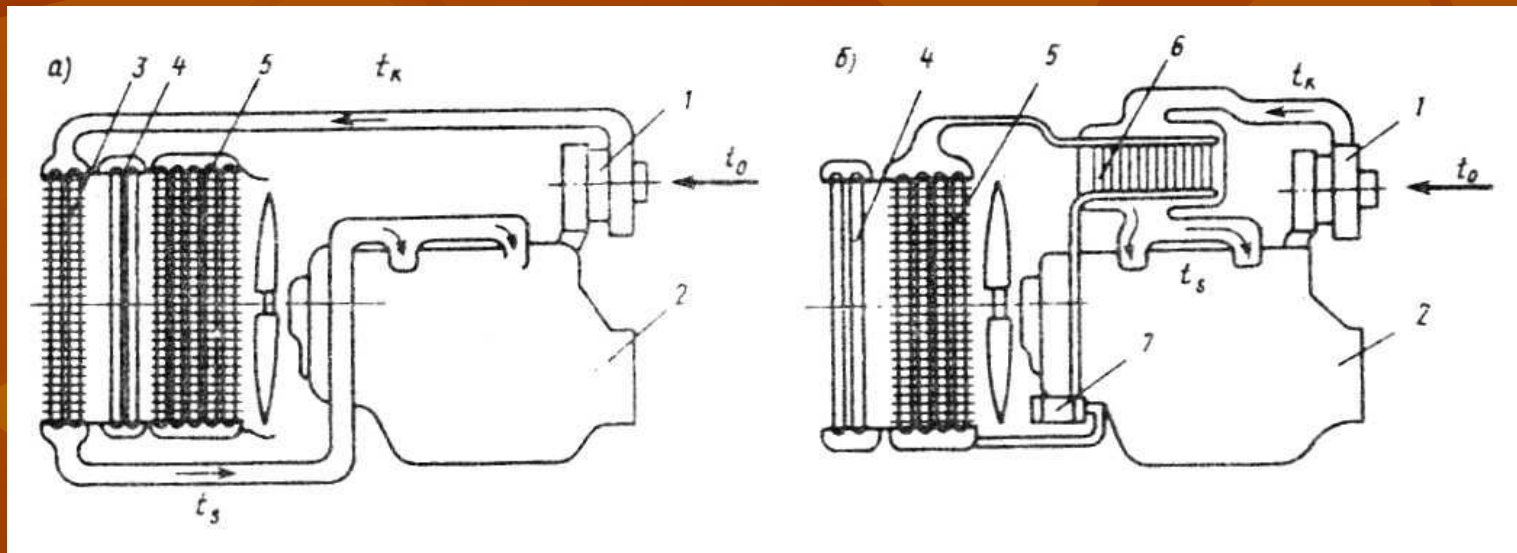


Рис. 14.5. Системы охлаждения воздуха:

а – воздухо-воздушная; *б* – водовоздушная;

1 – ТКР; *2* – двигатель; *3* – воздушный охладитель; *4* – масляный радиатор двигателя; *5* – водяной радиатор двигателя; *6* – водяной охладитель; *7* – водяной насос

В водовоздушном ОНВ используется жидкость из системы охлаждения двигателя, с дополнительным водяным насосом, а может использоваться и основной водяной насос системы охлаждения.

Теплообмен от горячего воздуха к охлаждающей жидкости происходит интенсивнее, чем к охлаждающему воздуху, поэтому водовоздушный ОНВ более компактен, а кроме того, он обеспечивает меньшую зависимость температуры надувочного воздуха от температуры окружающего воздуха. Воздухо-воздушный ОНВ обеспечивает более глубокое охлаждение, так как температура атмосферного воздуха ниже температуры жидкости из системы охлаждения.

Воздухо-воздушные охладители используются при невысоких степенях форсирования турбонаддувом и при наличии встречного потока воздуха, что, как правило, относится к автомобилям, а водовоздушный чаще устанавливают на тракторах и строительной технике, где применяются более высокие степени форсирования турбонаддувом.

- *Регулирование турбонаддува.* В силу различия характеристик поршневых и лопаточных машин при увеличении частоты вращения двигателя частота вращения ротора ТК возрастает в степени 1,3...1,5, а это приводит к получению недостаточной величины давления наддува на малых частотах вращения и чрезмерно высокой на больших. В результате на малых частотах вращения из-за недостатка воздуха снижается мощность, а у дизелей при отсутствии антикорректора подачи топлива по давлению наддува ухудшается экономичность и возрастают выбросы сажи. На высоких частотах вращения при высоком давлении наддува из-за увеличения потерь на трение и газообмен также ухудшается экономичность и возрастают максимальные давления сгорания, что может привести к поломке двигателя. Кроме того, поскольку у транспортных двигателей ТК, как правило, настраивается на промежуточную частоту вращения, на крайних частотах вращения его КПД снижается, что дополнительно ухудшает экономичность на этих режимах.

Чтобы обеспечить более благоприятное изменение давления наддува и высокую экономичность двигателя в широком диапазоне рабочих режимов, применяют регулирование турбонаддува, при котором различными методами достигают увеличения давления наддува на малых частотах вращения и (или) уменьшения на больших. Желательно также уменьшать давление наддува на малых нагрузках. Необходимость регулирования турбонаддува возрастает с увеличением номинальной частоты вращения двигателя и степени его форсирования турбонаддувом.

Регулирование может быть внешним и внутренним. *Внешнее регулирование* осуществляется вне ТК. Это может быть дросселирование воздуха или газа на входе и выходе из компрессора и турбины (позволяет ограничить давление наддува, но при этом заметно ухудшается экономичность). Можно настраивать ТК на номинальный режим работы двигателя, а на малых частотах вращения и нагрузках искусственно подкручивать ротор либо струей масла, подающегося на специальную турбину, либо путем подачи топлива и воздуха в дополнительную камеру сгорания перед турбиной (система «Гипербар») либо установка электродвигателя на вал ротора турбины и компрессора. На режимах работы двигателя, где используются такие методы регулирования, ухудшается его экономичность.

Применяется также перепуск части воздуха после компрессора и части газа, минуя турбину. Последний способ регулирования (рис. 14.6) применяется наиболее широко. Перепуск газа конструктивно прост, надежен, не приводит к ухудшению экономичности двигателя на режимах, не требующих регулирования (при закрытом перепускном клапане).

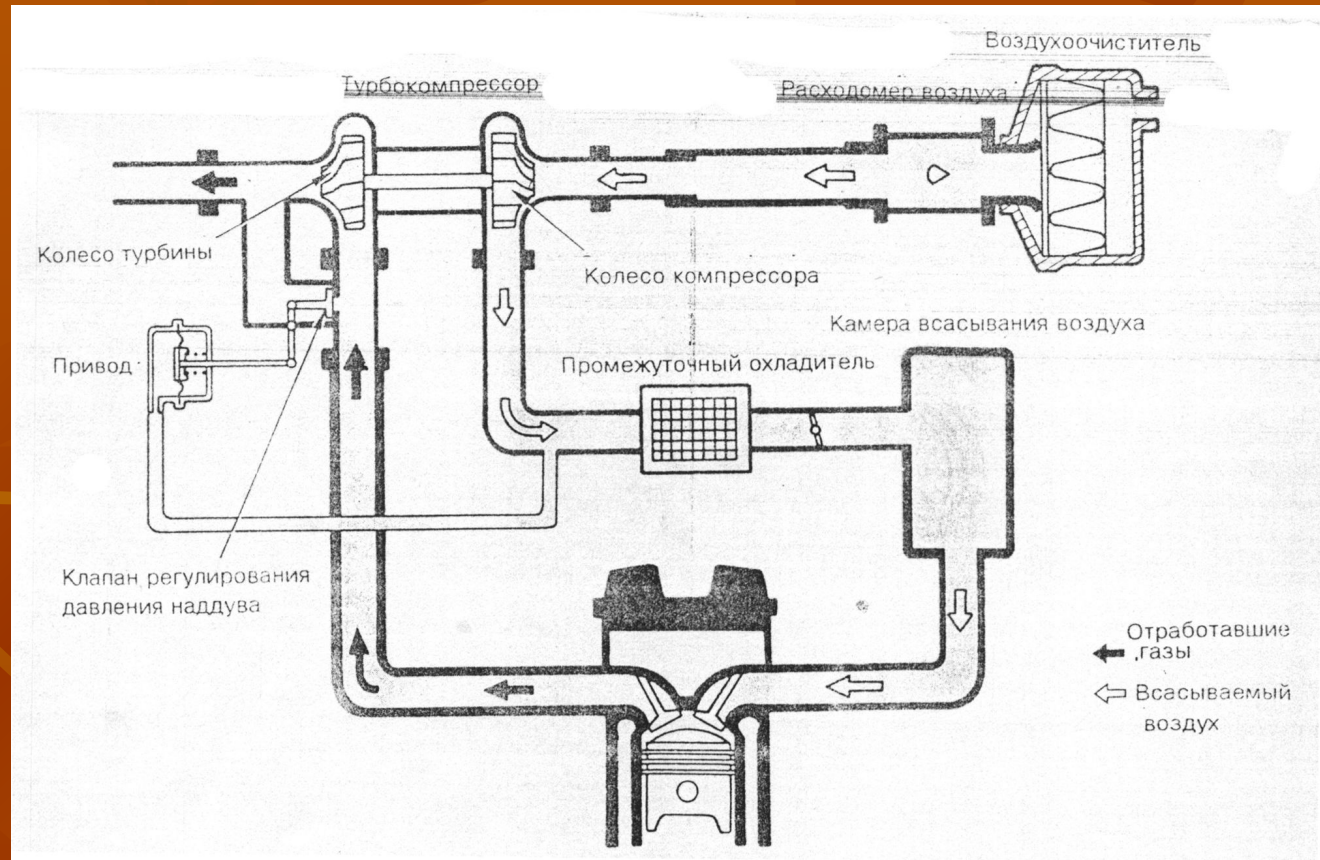


Рис. 14.6. Способ регулирования турбонаддува

В то же время при открытии перепускного клапана не удастся в полной мере достичь наилучших показателей экономичности, поскольку при этом теряется энергия части ОГ, движущихся в обход турбины.

Потерь энергии газа можно избежать при использовании *внутреннего регулирования*, основанного на использовании подвижных элементов в проточных частях компрессора и турбины. Наиболее эффективна установка поворотных лопаток в диффузоре компрессора и направляющем аппарате турбины (рис. 14.7, *а*), однако такой способ может успешно применяться в ТК, имеющих диаметры колес более 110 мм, которые не используются для наддува основной массы автомобильных и тракторных двигателей. Для небольших ТК предложены различные способы изменения минимального сечения подводящей улитки турбины $F_{то}$. С уменьшением $F_{то}$ увеличивается скорость входа газа на лопатки колеса турбины, что ведет к повышению частоты вращения и соответственно росту давления наддува. Однако при этом происходит повышение противодавления газа в выпускном коллекторе, что приводит к увеличению работы выталкивания. На малых частотах вращения выгодно уменьшать величину $F_{то}$, поскольку работа выталкивания на этом режиме мала, а на больших частотах вращения и малых нагрузках — увеличивать.

На рис. 14.7, б показана турбина со ступенчатым регулированием минимального сечения подводящей улитки. При открытой заслонке газ подводится к колесу по обоим каналам ($F_{то\ max}$), а при закрытой — только по одному каналу ($F_{то\ min}$). Бесступенчатое регулирование показано на рис. 14.7, в, г. На рис. 14.7, в уменьшение $F_{то}$ достигается путем поворота диска с язычком, на рис. 14.7, г — при закрытии двух заслонок на выходе из входного патрубка.

Широкому применению внутреннего регулирования препятствуют конструктивная сложность и недостаточная надежность работы подвижных элементов в условиях высоких температур и сажеотложения, которые имеют место в турбине. Кроме того, наличие в проточных частях компрессора и турбины дополнительных поворотных элементов приводит к уменьшению их КПД на всех режимах работы.

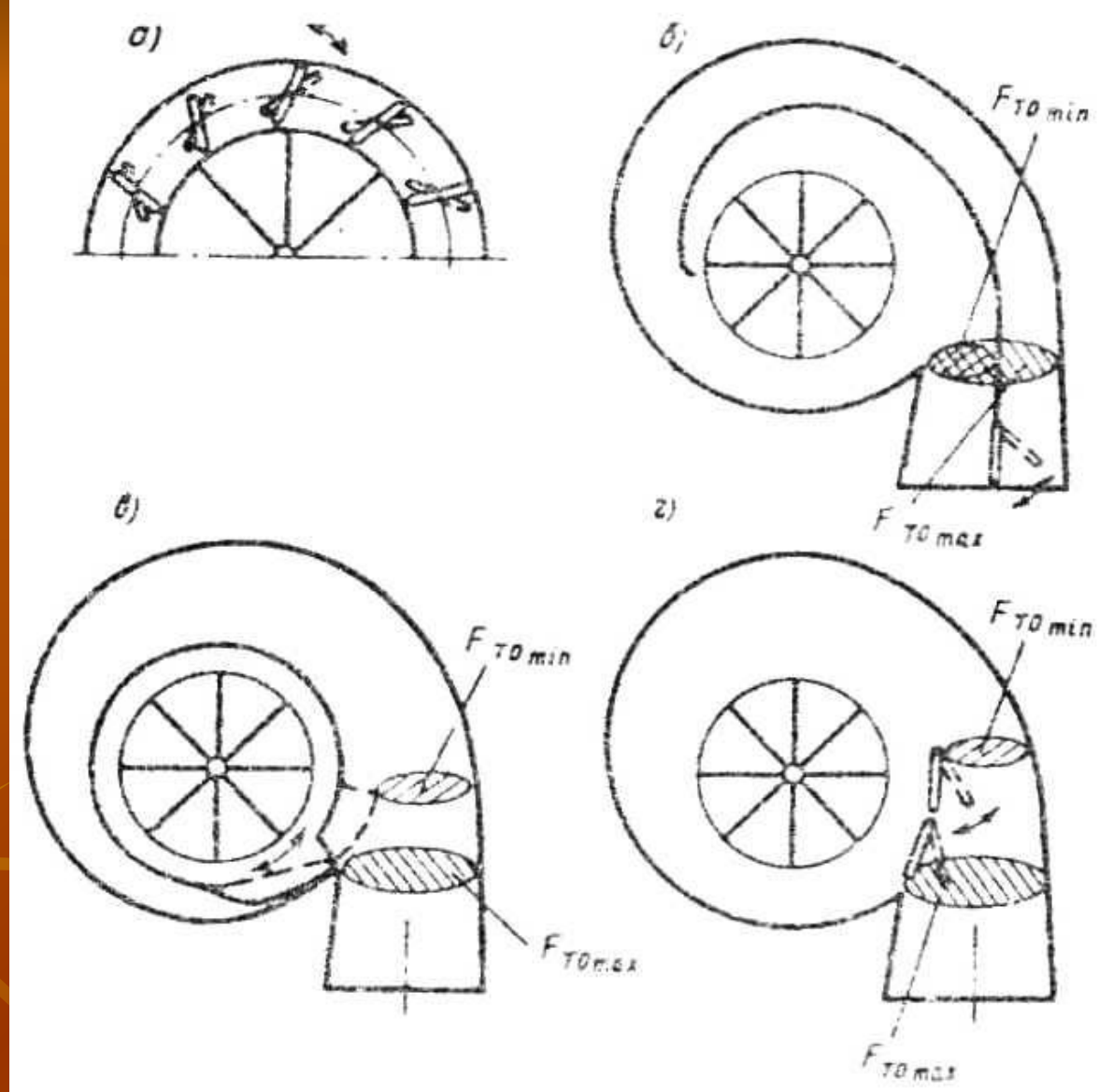


Рис. 14.7. Методы внутреннего регулирования турбины:

а – поворотные лопатки в диффузоре компрессора и направляющем аппарате турбины; *б* – подвод газа к колесу по одному или двум каналам; *в* – поворотный диск с язычком; *г* – поворотные заслонки на выходе из входного патрубка

14.1 Динамический наддув

В трубопроводах автомобильных быстроходных двигателей в процессе впуска и выпуска образуется колебательное движение газов, вследствие чего возникает волна давления. Это явление в выпускных и впускных трубопроводах можно использовать для увеличения поступающего в цилиндр массового заряда. Если, например, настроить выпускную систему так, чтобы к концу процесса выпуска в момент перекрытия клапанов вблизи выпускного клапана образовалось разрежение, то количество ОГ, вытекающих из цилиндра и него поступит большое количество свежего заряда. Аналогичный эффект возможен также в том случае, если концу процесса впуска (в период дозарядки) в трубопроводе у впускного клапана давление будет выше атмосферного.

Динамический наддув осуществляют путем подбора соответствующих длин коллекторов.

14.2 Турбокомбинационный наддув

Фирма SCANIA разработала дизель с оригинальной системой турбокомбинационного наддува состоящего из двух турбин. Первая турбина вращает компрессор (общепринятая система турбонаддува), вторая — передает свою энергию коленчатому валу двигателя (силовая турбина).

Силовая турбина на связана с компрессором, передает вращение коленчатому валу через две понижающие передачи. Частота вращения силовой турбины $50 \cdot 10^3 \text{ мин}^{-1}$.

Контрольные вопросы

1. Как связана мощность двигателя с потреблением воздуха двигателем?
2. Способы увеличения мощности.
3. В чем преимущество увеличения мощности за счет увеличения плотности воздуха на впуске?
4. Какие устройства применяются для наддува?
5. Какие виды систем наддува используются в современных двигателях?
6. Когда необходимо охлаждать надувочный воздух?
7. Каким способом выполняется регулирование наддува?
8. Что такое динамический наддув?