

**Реферат на тему:**

**УПРАВЛЕНИЕ ТУРБОНАДДУВОМ ДВИГАТЕЛЯ  
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

Автор: Шаменов Б.М.

Научный руководитель: Эдигаров В.Р.

**2020**

## Реферат

Научная работа 34 страницы, 12 рисунков, 1 таблица, 10 использованных источников.

ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ, КАМЕРА СГОРАНИЯ, ЦИЛИНДР, НАДДУВ, КОМПРЕССОР

Объектом исследования являются поршневой двигатель внутреннего сгорания.

Цель работы – анализ элементов конструкции поршневого двигателя внутреннего сгорания, систем наддува, разработка конструкции устройства управления наддувом поршневого ДВС.

Научная новизна:

На основании выполненного анализа обоснована конструкция устройства управления наддувом поршневого ДВС позволяющего адаптивно регулировать подачу сжатого воздуха в цилиндры.

Практическая ценность заключается в разработанной конструкции и полученного по результатам исследования патента на полезную модель по предложенному техническому решению.

Степень внедрения - основные результаты научной работы реализованы:

В материалах публикаций по результатам исследования;

В тезисах выступлений на научно-практических конференциях;

В материалах лекционных занятий по дисциплине «Энергетические установки ВГиКМ. Теория и проектирование»

По результатам работы получен патент РФ на полезную модель, подана заявка на выдачу патента на полезную модель.

## Содержание

Введение	6
1. Повышение среднего эффективного давления впускного воздуха двигателя.....	8
2. Классификация систем наддува.....	10
3. Регулирование наддува.....	14
3.1. Внешние способы регулирования.....	16
3.1.1. Наддув с использованием электродвигателя.....	18
3.1.2. Система наддува с ТКР и отключаемым приводным нагнетателем.....	18
3.2. Внутренние способы регулирования.....	19
3.2.1. Поворотные лопатки в сопловом направляющем аппарате (СНА) турбины.....	19
3.2.2. Скользящая втулка в СНА турбины.....	22
4. Устройство управления турбонаддувом двигателя внутреннего сгорания.....	23
Заключение.....	35
Список использованных источников.....	35
Приложение 1 (Патент на полезную модель).....	37

## Определения

*Двигатель внутреннего сгорания* – тепловой двигатель, в котором тепловая энергия, выделяющаяся при сгорании топлива, преобразуется в механическую.

*Наддув* поршневых двигателей внутреннего сгорания – это процесс, обеспечивающий увеличение массового наполнения цилиндров по сравнению с возможным их наполнением при давлении окружающей среды перед впускными органами

## **Обозначения и сокращения**

БТВТ – бронетанковое вооружение и техника

ДВС – двигатель внутреннего сгорания

КПД – коэффициент полезного действия

## Ведение

Силовые установки относятся к числу ответственных агрегатов, формирующих технико-эксплуатационные свойства автобронетанковой техники. Наиболее широкое применение в качестве силовых установок автобронетанковой техники нашли поршневые двигатели внутреннего сгорания.

Непрерывно ускоряющееся развитие техники требует все более быстрого роста агрегатной мощности двигателей, уменьшения их удельных габаритов и улучшения экономичности без существенного увеличения массы при постоянно возрастающей надежности.

Увеличение мощности поршневых двигателей внутреннего сгорания без изменения их размеров связано с необходимостью решения задачи сжигания в цилиндрах больших порций топлива за один рабочий цикл. Решение этой задачи требует подачи в цилиндры большего количества воздуха (в дизелях) или горючей смеси (в двигателях с внешним смесеобразованием), т.е. увеличение количества свежего заряда

Увеличение количества свежего заряда при неизменном рабочем объеме двигателя может быть обеспечено только за счет повышения его плотности в результате предварительного сжатия. Этот способ, известный под названием наддува, успешно применяется в современном двигателестроении.

При сравнении же двух двигателей с одинаковой мощностью двигатель с наддувом имеет преимущество в существенном уменьшении габаритов и массы.

При использовании наддува возможно значительное (в разы) увеличение мощности и крутящего момента двигателей при сравнительно небольшом усложнении конструкции и увеличении стоимости. Однако при выборе системы наддува необходимо учитывать особенности конструкции

двигателя и режимов его работы на образце БТВТ. В зависимости от этого выбирается тип системы наддува (механический, газотурбинный, комбинированный), а в особых случаях возможно применение специальных систем наддува (Гипербар, двухступенчатый наддув, силовая турбина, волновой обменник давления Компрекс).

В зависимости от назначения двигателя необходимо выбрать систему охлаждения наддувочного воздуха и способ подвода отработавших газов к турбине, зависящий от числа и расположения цилиндров, который позволяет наиболее эффективно использовать энергию отработавших газов для привода турбокомпрессора.

Практически все выпускаемые в настоящее время дизели имеют наддув, в то время как на двигателях с искровым зажиганием наддув до недавнего времени применялся ограниченно, прежде всего из-за проблемы детонации. Лишь в последнее десятилетие началось активное применение наддува на двигателях с искровым зажиганием в связи с использованием электронных систем управления, позволяющих активно бороться с детонацией.

## 1. Повышение среднего эффективного давления впускного воздуха двигателя

Наиболее действенным способом повышения мощности двигателя является повышение среднего эффективного давления воздуха во впускном коллекторе путем его сжатия в компрессоре перед подачей его в цилиндры двигателя.

**Наддув** поршневых двигателей внутреннего сгорания – это процесс, обеспечивающий увеличение массового наполнения цилиндров по сравнению с возможным их наполнением при давлении окружающей среды перед впускными органами.

Применение наддува является сложной технической проблемой и предусматривает обеспечение следующих задач:

- увеличения плотности заряда при минимизации механических потерь;
- впрыскивания топлива с повышенными параметрами увеличенной цикловой подачи топлива;
- качественного смесеобразования и сгорания топлива;
- долговечности и безотказности двигателя при повышенном уровне тепломеханической нагруженности деталей.

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 1, а, б представлены схемы систем механического и газотурбинного наддува 4-тактных двигателей, а на рис. 1, в – комбинированного наддува 2-тактного двигателя.

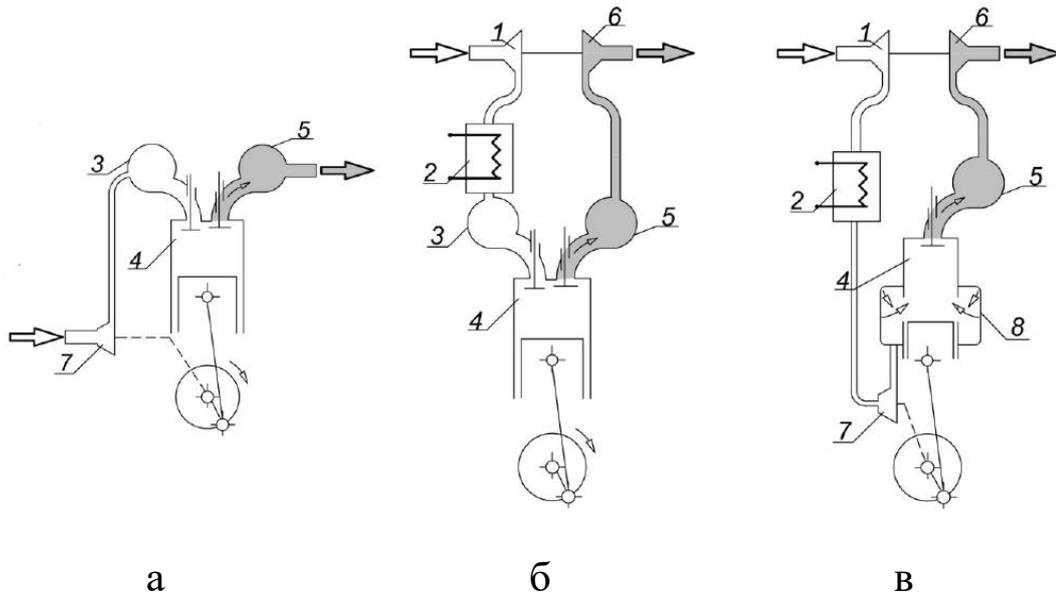


Рисунок 1- Схемы систем наддува:

а) 4-тактного двигателя с приводным нагнетателем, б) 4-тактного двигателя с турбокомпрессором, в) комбинированного наддува 2-тактного двигателя с приводным нагнетателем и турбокомпрессором, 1 – компрессор, 2 – охладитель впускного воздуха, 3 – впускной коллектор, 4 – цилиндр двигателя, 5 – выпускной коллектор, 6 – турбина, 7 – приводной нагнетатель, 8 – впускные окна

Величина наддува определяется изменением величин коэффициента наполнения ( $\eta_v$ ) и плотности воздушного заряда ( $\rho_B$ , кг/м<sup>3</sup>), входящих в уравнения среднего эффективного давления цикла ( $p_e$ , МПа) (1) и эффективной мощности ( $N_e$ , кВт) (2,3):

$$p_e = H_u \cdot \frac{\eta_v \cdot \rho_B}{\alpha \cdot l_0}; \quad (1)$$

$$N_e = H_u \cdot V_h \cdot i \cdot \frac{\eta_v \cdot \rho_B}{\alpha \cdot l_0} \cdot \eta_i \cdot \frac{n}{Z} \cdot \eta_M; \quad (2)$$

$$N_e = \frac{p_e \cdot V_h \cdot i \cdot n}{60 \cdot Z}, \quad (3)$$

где  $H_u$  – низшая теплота сгорания топлива;

$\alpha$  – коэффициент избытка воздуха;

$\ell_0$  – количество воздуха, теоретически необходимое для полного окисления 1 кг топлива, кг воздуха/ кг топлива;

$i$  – количество цилиндров;

$\eta_i$  – индикаторный КПД;

$\eta_m$  – механический КПД;

$n$  – частота вращения коленчатого вала, мин<sup>-1</sup>;

$Z$  – число тактов, приходящихся на один цикл: для четырехтактных двигателей  $Z = 4$ , для двухтактных ДВС  $Z = 2$ ;

$V_h$  – рабочий объем цилиндра, м<sup>3</sup>.

## 2. Классификация систем наддува

Наддув классифицируется по признакам: степени наддува, способу привода нагнетателя и другим.

*По степени наддува или по величине давления наддува* ( $P_k$ ) и соответствующему ему повышению мощности различают низкий, средний, высокий и сверхвысокий наддув (табл. 1).

Таблица 1

Классификация наддува по величине создаваемого давления

Степень наддува	Тип двигателя	Давление наддува $p_k$ , МПа	Степень повышения мощности
Низкий	Бензиновый	До 0,15	1,35–1,40
Средний	Дизель	0,18–0,25	1,40–1,70
Высокий	Дизель	0,25–0,35	Более 2,0
Сверхвысокий	Дизель	Более 0,35	Более 3,0

*По способу привода нагнетателя* различают механический, газотурбинный, комбинированный и газодинамический (инерционный) наддув (рис. 2).



Рисунок 2 - Способы наддува двигателей

При механическом наддуве избыточное давление на впуске создается нагнетателем, приводимым в действие от коленчатого вала двигателя механической передачей (рис. 3).

При газотурбинном наддуве для привода нагнетателя используется часть энергии отработавших газов, поступающих в газовую турбину, установленную на одном валу с нагнетателем (рис. 4,5).

Для наддува ряда танковых дизелей применяют комбинированный наддув. В этом случае первой ступенью наддува является наддув от приводного нагнетателя, а второй – наддув нагнетателем, вращающимся с помощью газовой турбины.

При газодинамическом наддуве повышение плотности заряда на впуске в двигатель осуществляется за счет использования газодинамических явлений во впускной и выпускной системах в период газообмена.

Достигается это путем подбора формы и размеров впускных и выпускных систем, но возможности такого наддува ограничены (рис. 6).

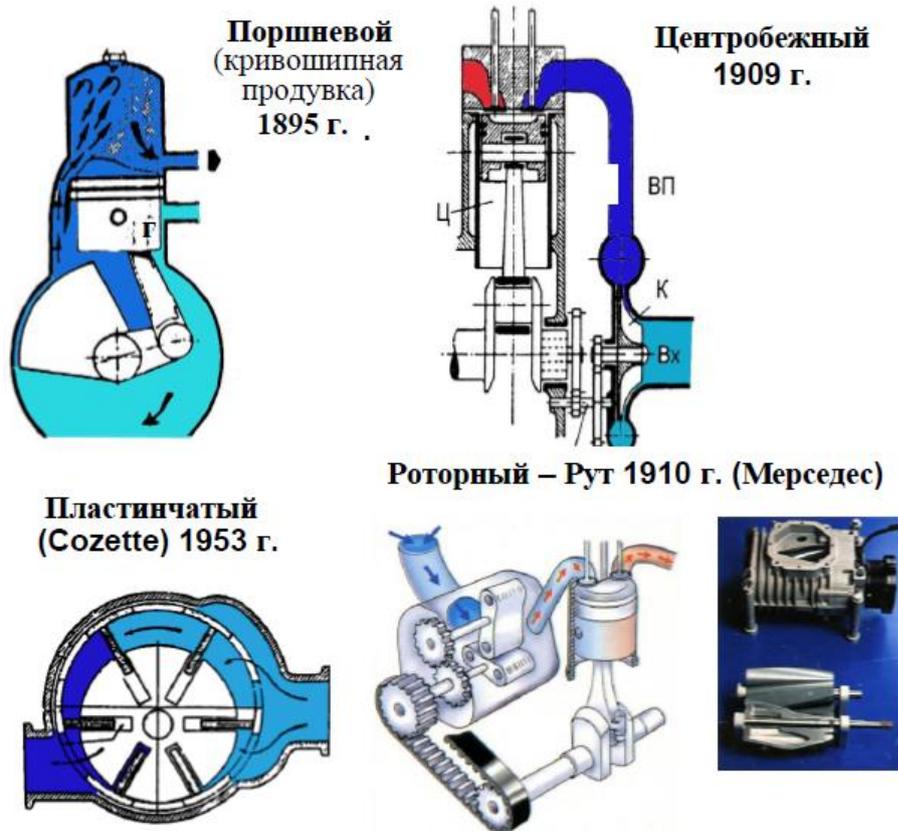


Рисунок 3 - Компрессоры для механического наддува

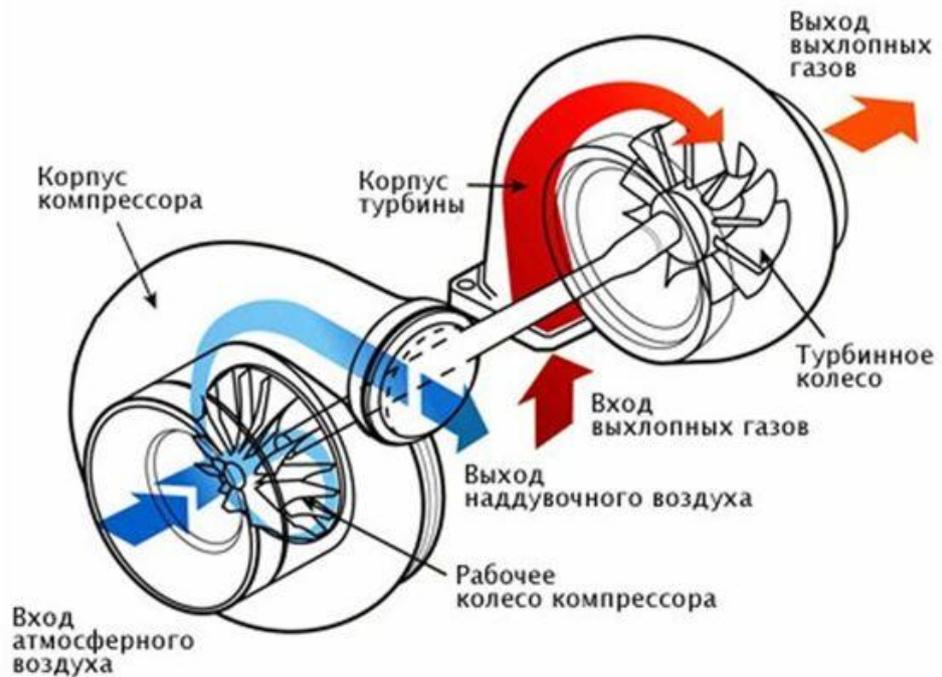
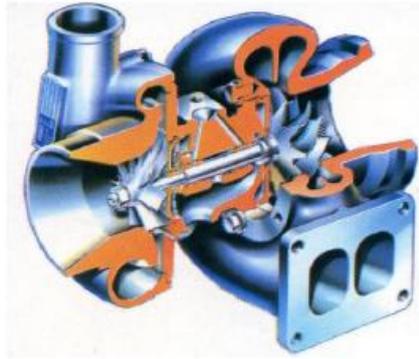
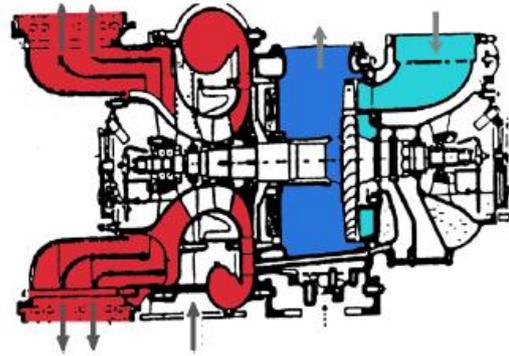


Рисунок 4 - Газотурбинный наддув



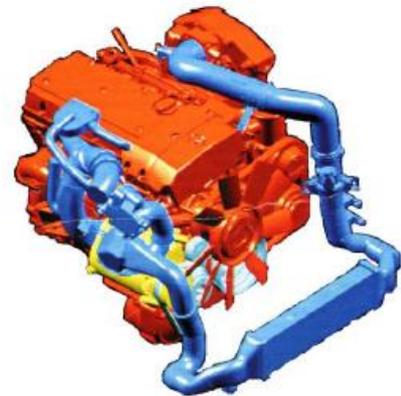
Раднальный (ТКР)



Осевой (ТК)



Регулируемый ТКР



ТКР с ОНВ

Рисунок 5 - Турбокомпрессоры для газотурбинного наддува

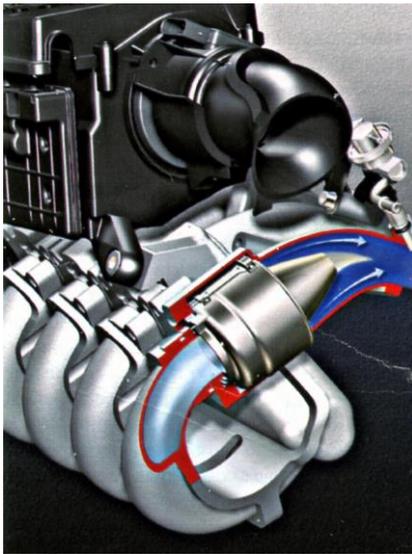
*По типу нагнетателей* различают объемные нагнетатели (поршневые и роторные), лопаточные нагнетатели (центробежные и осевые).

Применение поршневых нагнетателей практикуется только в стационарных условиях. Роторные нагнетатели используются, как правило, при механическом наддуве.

Центробежные нагнетатели выгодно отличаются от объемных повышенными значениями КПД, компактностью, меньшими весом и шумностью работы. Их применение возможно как при механическом, так и при газотурбинном видах наддува.

Осевые нагнетатели рассчитываются, как правило, на большие расходы воздуха, выполняются многоступенчатыми и применяются в дизелях со сверхвысоким наддувом и в газотурбинных двигателях.

На впуске



На впуске и выпуске

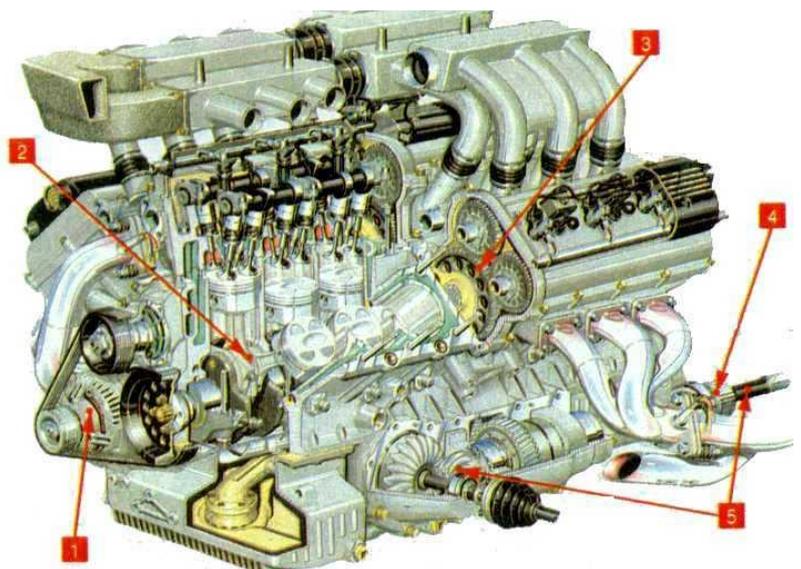


Рисунок 6 - Газодинамический наддув

### 3. Регулирование наддува

При увеличении частоты вращения двигателя давление наддува повышается в степени 1,3... 1,5. Это связано с различием гидравлических характеристик поршневых (ДВС) и лопаточных (ТКР) машин. Поэтому ТКР можно идеально настроить только на один режим работы двигателя, при котором он будет обеспечивать заданное давление наддува и работать с наибольшим КПД. Обычно это точка внешней скоростной характеристики, расположенная на режиме максимального крутящего момента или между режимами максимального крутящего момента и номинальной мощности.

При отклонении от точки настройки в сторону снижения частоты вращения давление наддува будет падать по отношению к оптимальному, а при повышении частоты вращения – увеличиваться. И то, и другое ухудшает показатели двигателя.

При снижении давления наддува на малых частотах вращения двигателя уменьшается крутящий момент и ухудшаются динамические качества автомобиля. Для предотвращения повышения выбросов сажи из-за

снижения давления наддува приходится уменьшать цикловую подачу топлива, что приводит к дополнительному ухудшению динамики автомобиля.

При чрезмерном повышении давления наддува на высоких частотах вращения возрастают механические потери (на трение и газообмен), что приводит к снижению мощности и экономичности дизеля. Также повышаются тепловые нагрузки и тепловая напряженность деталей. Кроме того, в связи с чрезмерным увеличением давления наддува увеличивается максимальное давление сгорания и достигает опасного значения частота вращения ротора ТКР, что может привести к выходу из строя как двигателя, так и ТКР.

Отклонение нагрузки двигателя от режима настройки ТКР также приводит к снижению КПД последнего и, соответственно, ухудшению мощностных и экономических показателей двигателя.

Для решения данной проблемы на автомобильных двигателях применяются различные способы регулирования турбонаддува.

### **3.1. Внешние способы регулирования**

Это наиболее простой способ, который давно применяется на быстроходных дизелях и бензиновых двигателях с турбонаддувом (рис. 7).

На входе в турбину устанавливается перепускной клапан, который при открытии направляет часть газа, минуя турбину, в выпускную систему. При этом ТКР настраивается так, чтобы обеспечивать высокое давление наддува на малых и средних частотах вращения двигателя, а на высокой частоте вращения дальнейший рост давления ограничивается путем открытия перепускного клапана. Электронный блок управления двигателем регулирует величину открытия клапана, обеспечивая оптимальное давление наддува на каждом режиме работы. Недостатком этой системы является снижение экономичности двигателя при открытом перепускном клапане, так как теряется часть энергии, затрачиваемой на сжатие воздуха в компрессоре ТКР.

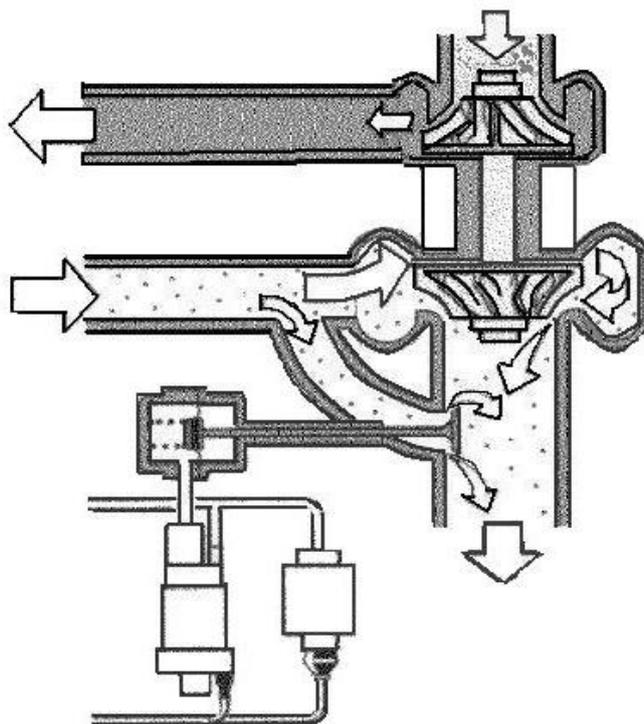


Рисунок 7 - Схема ТКР с регулированием перепускного газа в обход турбины: 1 – электромагнитный клапан; 2 – вакуумный насос; 3 – вакуумная камера; 4 – ТКР; 5 – клапан перепуска ОГ; 6 – вход ОГ из двигателя; 7 – выход сжатого воздуха; 8 – турбина; 9 – компрессор

### 3.1.1. Наддув с использованием электродвигателя

На малых частотах вращения двигателя, когда давление наддува недостаточно, можно применять подкрутку ротора ТКР электродвигателем, интегрированным в корпус ТКР (система «e-turbo»). Либо в дополнение к штатному ТКР применяется компрессор, приводимый электродвигателем (система «e-turbo»).

Показатели двигателя при использовании обеих систем получаются близкими, но система «e-turbo» получается компактнее, чем «e-charger», хотя интегрирование электродвигателя в корпус ТКР представляет собой сложную техническую задачу и возникает проблема перегрева электродвигателя.

Недостатком обеих систем является большое потребление электрической энергии на привод компрессора, что приводит к быстрому разряду аккумуляторной батареи автомобиля. Такие системы рационально

применять, к примеру, на тепловозных дизелях, которые работают на генератор. В этом случае всегда имеется достаточно электроэнергии.

### 3.1.2. Система наддува с ТКР и отключаемым приводным нагнетателем

Возможно регулирование наддува за счет отключения ПН в системах с последовательно установленными ПН и ТКР, как показано на рис. 8. На малых частотах вращения воздушная заслонка 3 закрыта, воздух проходит через ПН и ТКР. ТКР создает малое давление наддува, а ПН – достаточно высокое, что обеспечивает хорошую динамику автомобиля в начале разгона и высокий крутящий момент на малых частотах вращения двигателя. При увеличении частоты вращения двигателя ТКР создает достаточно высокое давление наддува и ПН отключается путем перепуска воздуха за счет открытия клапана 3. Одновременно с «гидравлическим» отключением ПН может отключаться механически с помощью электромагнитной муфты сцепления в механизме ременного привода. ПН также отключается на малых нагрузках.

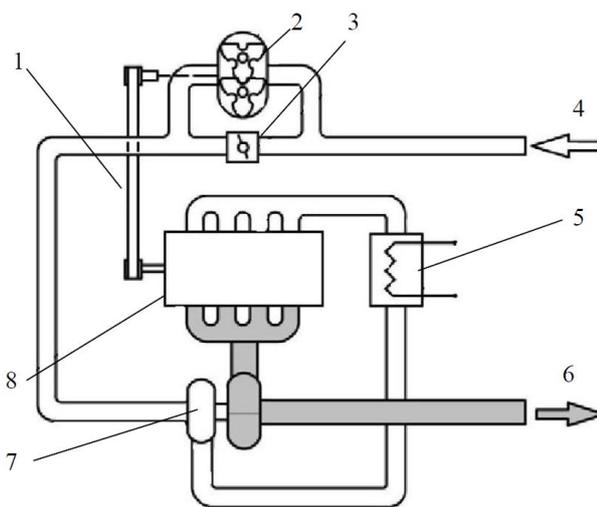


Рисунок 8 - Система наддува с отключаемым ПН и ТКР:

- 1 – приводной шкив; 2 – ПН; 3 – воздушная заслонка; 4 – вход воздуха;  
5 – ОНВ; 6 – выход ОГ; 7 – ТКР; 8 – двигатель

В результате мощность, отбираемая от двигателя на привод ПН, снижается до минимума, что обеспечивает высокую топливную экономичность.

Также применяются аналогичные системы с двумя последовательно установленными ТКР, в которых вместо отключаемого ПН используется отключаемый ТКР, создающий высокое давление на малых частотах вращения двигателя. Такие системы обеспечивают несколько худшую разгонную динамику, но лучшую топливную экономичность.

### 3.2. Внутренние способы регулирования

#### 3.2.1. Поворотные лопатки в сопловом направляющем аппарате (СНА) турбины

ТКР с поворотными лопатками на входе газа в турбину показан на рис. 9, а схема регулирования за счет поворота лопаток – на рис.10.

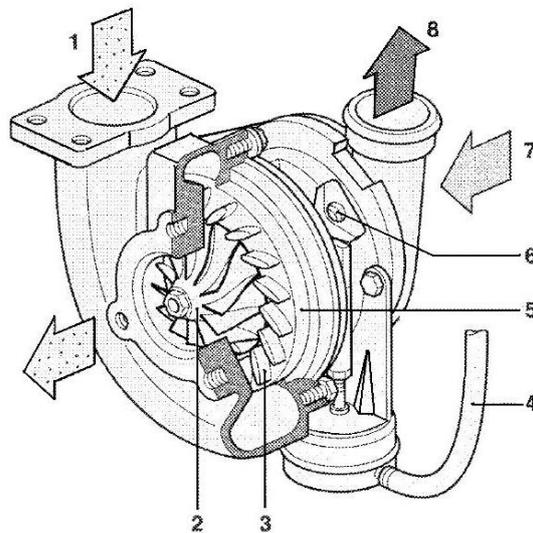


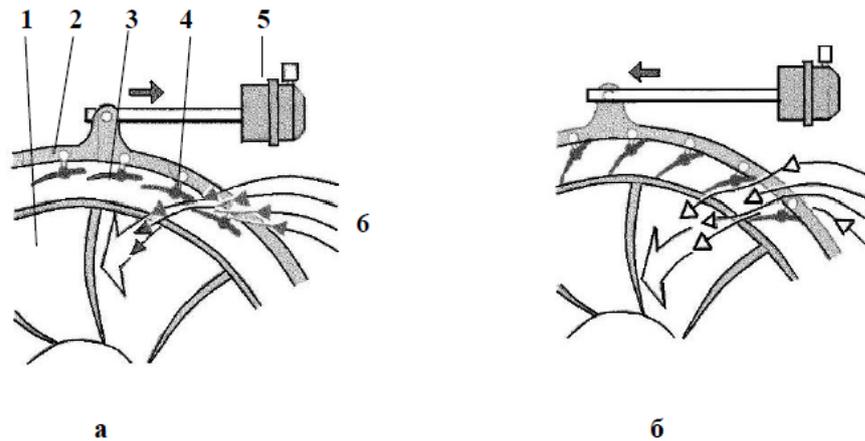
Рисунок 9 - Регулируемый турбокомпрессор с поворотными лопатками:

1 – вход ОГ из двигателя; 2 – колесо турбины; 3 – поворотные лопатки;

4 – вакуумная трубка; 5 – поворотное кольцо; 6 – отверстие

для подвода масла; 7 – выход сжатого воздуха

При малой частоте вращения лопатки повернуты на максимальный угол, обеспечивая минимальное проходное сечение СНА турбины.



**Рисунок 10 - Схема регулирования турбины путем поворота лопаток:**

а – закрытое положение лопаток, макс. скорость входа газа на колесо турбины; б – открытое положение лопаток, мин. скорость входа газа на колесо турбины; 1 – колесо турбины; 2 – поворотное кольцо; 3 – поворотная лопатка; 4 – приводной рычажок; 5 – пневматический регулятор; 6 – поток отработавших газов

При этом скорость газа на входе в колесо будет увеличиваться, что повышает частоту вращения ротора ТКР и, соответственно, давление наддува. Повышение противодавления на выпуске из цилиндров в этом случае не играет большой роли, так как на малых частотах вращения у двигателей с ТКР работа выталкивания невелика. При большой частоте вращения двигателя лопатки повернуты на минимальный угол, обеспечивая максимальное проходное сечение СНА. В этом случае скорость газа на входе в колесо турбины снижается, что предотвращает повышение давления наддува.

Также снижается противодавление на выпуске из цилиндров, что приводит к снижению работы выталкивания и как следствие – повышению мощности и экономичности двигателя. Применению этого способа регулирования на малоразмерных ТКР препятствует заметное снижение КПД турбины в связи с сопротивлением, которое представляли собой лопатки в СНА на пути движения потока газа, потери, связанные с утечками через зазоры между лопатками и стенками СНА, а также трудности обеспечения

работоспособности поворотных лопаток в условиях отложения сажи при малых зазорах.

С появлением аккумуляторных систем топливоподачи с электронным управлением типа Common Rail выбросы сажи дизелями снизились в разы, что позволило уменьшить зазоры между лопатками и стенками СНА и применять поворотные лопатки в ТКР, имеющих значительные размеры. ТКР с таким способом регулирования применяется на автомобильных дизелях обычно рабочим объемом больше 2 л.

### 3.2.2. Скользящая втулка в СНА турбины

Перемещающаяся горизонтально скользящая втулка (рис. 11) может заходить в СНА турбины, существенно изменяя его проходное сечение. Как показано на рис. 11, а, при перемещении втулки до упора влево проходное сечение СНА турбины минимально (открыт только левый канал подвода газа к турбине), что обеспечивает увеличение скорости входа газа на лопатки колеса турбины и повышение давления наддува, а при перемещении вправо (рис. 11, б) – максимально (открыты оба канала подвода газа к турбине), что обеспечивает уменьшение скорости входа газа на лопатки колеса турбины и снижение давления наддува.

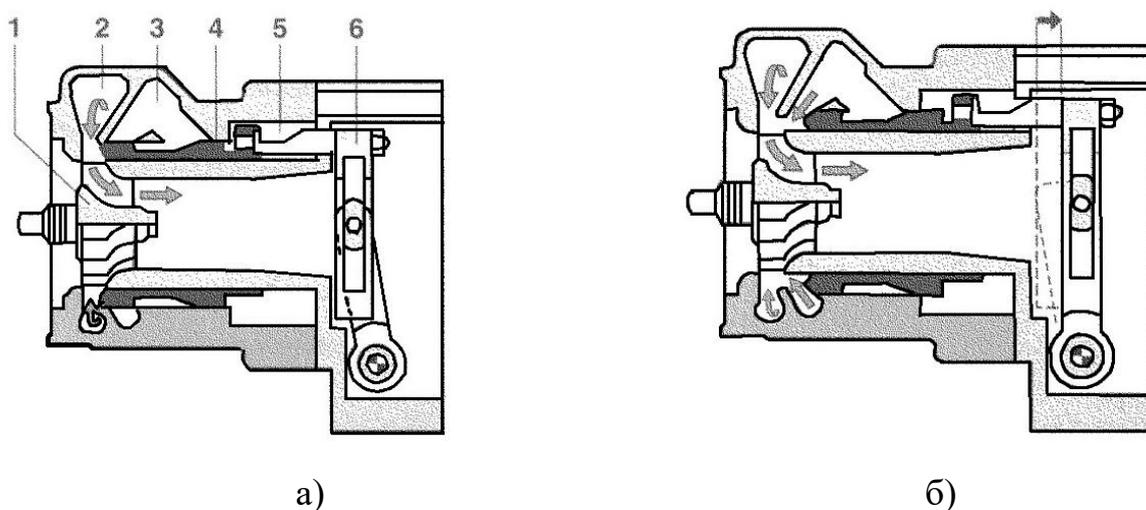


Рисунок 11 - Схема регулирования турбины ТКР

с помощью скользящей втулки: а – открыт только один канал подвода газов в корпусе турбины; б – открыты оба канала, подвода газов в корпусе турбины; 1 – колесо

турбины; 2 – первый канал в корпусе турбины; 3 – второй канал в корпусе турбины; 4 – скользящая втулка; 5 – перепускной канал, 6 – привод скользящей втулки

Противодавление на выпуске из цилиндров изменяется аналогично случаю поворотных лопаток в сопловом направляющем аппарате турбины, как описано выше. Огромным достоинством данного способа регулирования является возможность его применения на ТКР с самыми маленькими диаметрами колес, где невозможно использование поворотных лопаток в корпусе турбины. Это позволяет использовать такой способ регулирования на двигателях малого рабочего объема.

#### **4. Устройство управления турбонаддувом двигателя внутреннего сгорания**

Применение турбонаддува, основанного на использовании энергии отработавших газов двигателя, приводящих во вращение турбину турбокомпрессора и установленный с ней на одном валу компрессор, который сжимает воздух и нагнетает его во входной коллектор двигателя, является весьма эффективным решением.

Известно применение турбонаддува в двигателях внутреннего сгорания (Газотурбинный наддув двигателей внутреннего сгорания. М., Машгиз, 1961. 171 с. и Байков Б.П. и др. Турбокомпрессоры для наддува дизелей. Справочное пособие. М., «Машиностроение», 1975. 199 с.), направленного на увеличение выходной удельной мощности, уменьшение расхода потребляемого топлива и повышение коэффициента полезного действия двигателя.

Однако известные устройства имеют ряд негативных особенностей, характерных для двигателей с турбонаддувом, среди которых можно назвать эффект «турбоямы», под которым подразумевается запаздывание роста

давления воздуха во входном коллекторе двигателя вследствие инерции нарастания давления выхлопных газов в турбине при резком нажатии на педаль акселератора. С другой стороны, после преодоления «турбоямы» имеет место резкое увеличение давления воздуха во входном коллекторе двигателя - так называемый «турбоподхват», также обусловленный инертностью турбокомпрессора.

Как известно, температура отработавших газов на выходе турбины турбокомпрессора может составлять несколько сот градусов, а их энергия используется неэффективно вследствие выброса в атмосферу. Двигатели внутреннего сгорания преобразуют приблизительно две трети энергии топлива в тепло, которое либо поглощается системой охлаждения двигателя внутреннего сгорания, либо выводится через выхлопную систему.

В основу разработанного технического решения положена задача создать устройство управления турбонаддувом двигателя внутреннего сгорания, в котором за счет управления утилизацией тепла отработавших газов обеспечивалось улучшение динамики управления, в частности достигалась компенсация эффектов «турбоямы» и «турбоподхвата», и, как следствие, повышалась приемистость двигателя внутреннего сгорания, что привело бы к повышению общего коэффициента полезного действия двигателя внутреннего сгорания.

Поставленная задача решается тем, что в устройстве управления турбонаддувом двигателя внутреннего сгорания, содержащем турбокомпрессор, включающий турбину, выпуск которой соединен с выходным коллектором двигателя внутреннего сгорания, и компрессор, выход которого через дроссельную заслонку сообщен с входным коллектором двигателя внутреннего сгорания, теплообменник паровой турбины, выпуск которой через регулирующую паровую заслонку, аккумулятор пара, обратный клапан и сепаратор сообщен с выходом теплообменника, а выпуск через обратный клапан соединен со входом конденсатора, выход которого сообщен с входом резервуара, насос, включенный между выходом

резервуара и входом теплообменника, блок управления, информационные входы которого электрически связаны с датчиками температуры и давления, установленными на входе компрессора, входе дроссельной заслонки, на входном и выходном коллекторах двигателя внутреннего сгорания, блоке цилиндров двигателя внутреннего сгорания, аккумуляторе пара и теплообменнике, управляющий вход блока управления подключен к датчику акселератора, а его управляющие выходы подключены к дроссельной заслонке, регулируемой паровой заслонке, насосу, сепаратор, соединенный с выходом теплообменника и имеющий выход конденсата и выход пара, аккумулятор пара, вход которого через обратный клапан соединен с выходом пара сепаратора, первый выход аккумулятора пара сообщен через регулируемую паровую заслонку с впуском паровой турбины, при этом паровая турбина размещена на валу турбокомпрессора, предлагаемое устройство содержит выхлопной патрубков, внутри которого установлены форсунки подачи пара и форсунки распыла жидкости, установленный на втором выходе аккумулятора пара управляемый двухканальный электромагнитный клапан первый канал которого сообщен с конденсатором, а второй с форсунками подачи пара в выхлопном патрубке, установленный на втором выходе сепаратора управляемый двухканальный электромагнитный клапан первый канал которого сообщен с резервуаром, а второй с насосом высокого давления, управляющие выходы блока управления подключены кроме того к управляемым двухканальным электромагнитным клапанам, а также к насосу высокого давления, для пополнения устройства жидкостью к резервуару подключена емкость с заправочной горловиной.

Технический результат предлагаемого устройства заключается в улучшении динамики управления, а именно минимизации эффектов «турбоямы» и «турбоподхвата», что повышает приемистость двигателя внутреннего сгорания. Названный технический результат достигается за счет организации управления турбонаддувом, функционирующего совместно с

турбокомпрессором двигателя внутреннего сгорания, а также подачей жидкости или пара (или и то и другое) за турбиной турбокомпрессора, что позволяет обеспечить возрастание давления наддувочного воздуха на турбокомпрессоре и повышение частоты его вращения при резком увеличении топливоподачи акселератором.

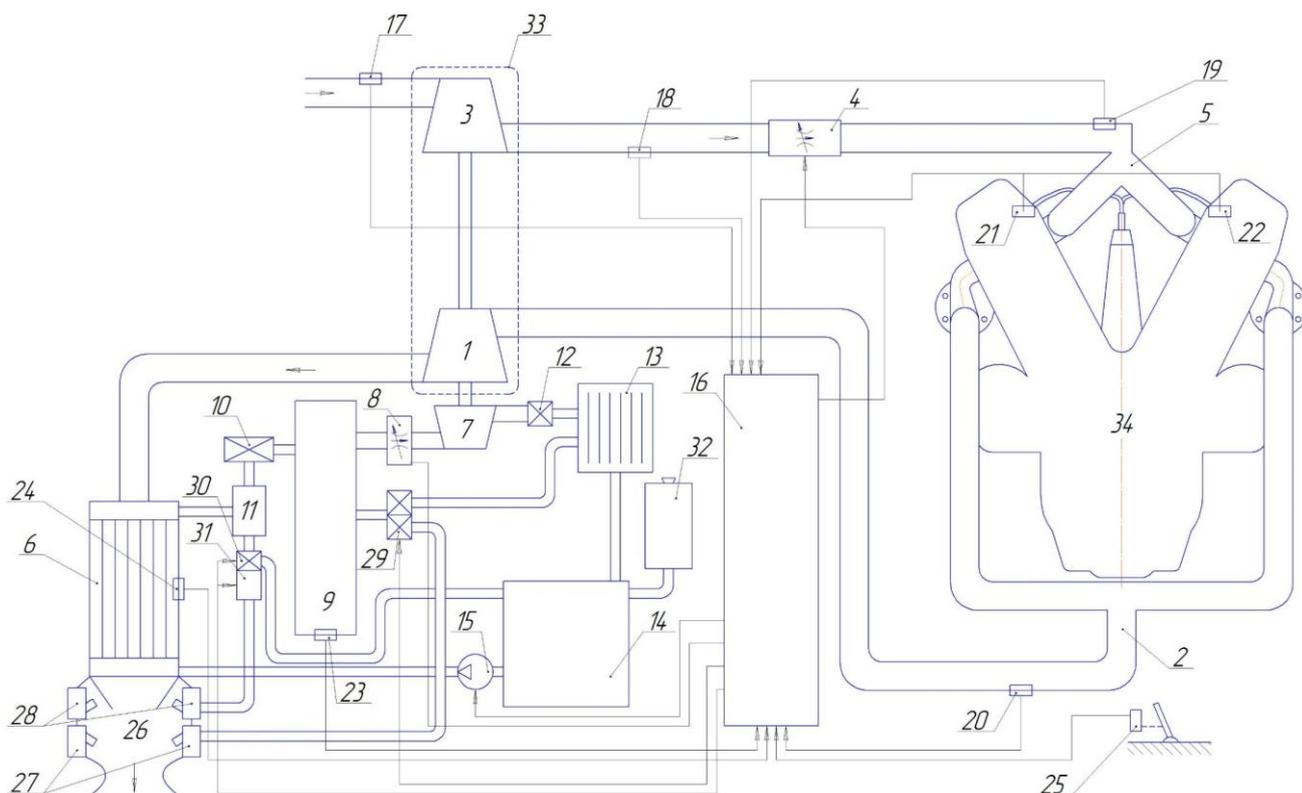


Рисунок 12 – Устройство предлагаемой конструкции

Предложенное устройство имеет более эффективную систему регулировки потока наддувочного воздуха и использования энергии выхлопных газов.

Работа устройства поясняется чертежом. Связи, указанные между функциональными блоками, в общем случае являются многоканальными для обеспечения алгоритма работы устройства. Электропитание функциональных блоков осуществляться от бортового аккумулятора (на чертеже не показан).

Устройство управления турбонаддувом двигателя внутреннего сгорания 34 (рис.12) содержит турбокомпрессор 33, включающий турбину 1 и компрессор 3, выход которого через последовательно включенную

дроссельную заслонку 4 сообщен с входным коллектором 5 двигателя внутреннего сгорания 34. Вход компрессора 3 соединен через воздушный фильтр (на чертеже не показан) с атмосферой, а на выпуске турбины 1 установлен теплообменник 6, на выходе которого закреплен выхлопной патрубок 26 и далее сообщен с атмосферой.

Устройство содержит блок 16 управления, информационные входы которого электрически связаны с датчиками температуры и давления, установленными на входе компрессора 3 (датчик 17), входе дроссельной заслонки 5 (датчик 18), на входном коллекторе 5 (датчик 19), блоке цилиндров (датчики 21,22), выходном коллекторе 2 (датчик 20) двигателя 34 внутреннего сгорания, в теплообменнике 6 (датчик 24), аккумуляторе пара 9 (датчик 23).

Кроме того, устройство содержит паровую турбину 7, установленную на одном валу с турбокомпрессором 33, конденсатор 13, вход которого через обратный клапан 12 сообщен с выпуском паровой турбины 7, а выход соединен с резервуаром 14 для жидкости (теплоносителя), в качестве которой может быть использована, например, вода. Резервуар 14 для жидкости соединен с емкостью 32 с заправочной горловиной для пополнения жидкостью. Выход резервуара 14 посредством трубопровода, на котором установлен насос 15, сообщен с входом теплообменника 6, выход которого сообщен с сепаратором 11, имеющим выход конденсата, который соединен с управляемым двухканальным электромагнитным клапаном 30, один выход которого сообщен со вторым входом резервуара 14 для жидкости, а второй сообщен с насосом высокого давления 31, который соединен с форсунками распыла жидкости 28 в выхлопном патрубке 26.

Выход пара из сепаратора 11 через обратный клапан 10 сообщен с аккумулятором 9 пара, первый выход которого через регулирующую паровую заслонку 8 сообщен с впуском паровой турбины 7, а его второй выход соединен с управляемым двухканальным электромагнитным клапаном 29, один выход которого сообщен с входом конденсатора 13, а второй сообщен с

форсунками подачи пара 27 в выхлопном патрубке 26. Насос 15 и насос высокого давления 31 выполнены электрически управляемыми, управление которыми осуществляется блоком управления 16.

Регулируемая паровая заслонка 8, управляемый двухканальный электромагнитный клапан 29, управляемый двухканальный электромагнитный клапан 30 электрически управляемые, управление которыми осуществляется блоком управления 16.

Предложенное устройство включающее паровую турбину 7, конденсатор 13, резервуар 14 для жидкости, емкость 32, теплообменник 6, сепаратор 11 и аккумулятор пара 9, выхлопной патрубков 26 с установленными в нем форсунками подачи пара 27 и форсунками распыла жидкости 28 представляет собой средство утилизации отводящего тепла от двигателя внутреннего сгорания 34.

Управление турбонаддувом, реализуемое за счет управления утилизацией отводящего тепла, осуществляется посредством блока управления 16. К блоку управления 16 подключен датчик 25 акселератора.

Устройство управления турбонаддувом двигателя внутреннего сгорания работает следующим образом.

При запуске поршневого двигателя внутреннего сгорания 34 поток атмосферного воздуха поступает на вход компрессора 3 турбокомпрессора 33, где происходит сжатие воздуха, проводящее к его нагреву. Далее воздушный поток через дроссельную заслонку 4 поступает во входной коллектор 5 и далее в цилиндры поршневого двигателя внутреннего сгорания 34. Количество поступающего воздуха регулируется блоком управления 16 по сигналам датчика акселератора 25 и датчиков температуры и давления (17,18,19,20,21,22,23,24) путем управления дроссельной заслонкой 4.

Отработавшие газы, поступающие из выходного коллектора 2 поршневого двигателя внутреннего сгорания 34, направляются в турбокомпрессор 33, раскручивая установленные на общем валу турбину 1 и компрессор 3. Далее отработавшие газы, проходя через теплообменник 6,

поступают в выхлопной патрубок 26 нагревая его стенки и далее в атмосферу. В теплообменнике 6 обеспечивается передача тепла от отработавших газов жидкости. По команде блока управления 16 насос 15 находится в отключенном положении, а жидкость из резервуара 14 в теплообменник 6 не поступает, который, соответственно, не генерирует пар.

Если на момент запуска поршневого двигателя внутреннего сгорания 34 пар в аккумуляторе пара 9 отсутствует или его количество недостаточное, например, после длительной стоянки транспортного средства, то паровая турбина 7 свободно вращается на валу турбокомпрессора 33. Если в аккумуляторе пара 9 имеется остаточный пар, то через регулирующую паровую заслонку 8 пар поступает на лопасти паровой турбины 7, создавая крутящий момент на валу турбокомпрессора 33.

По мере прогрева поршневого двигателя внутреннего сгорания 34 и, как следствие, увеличения температуры отработавших газов, повышается температура газов, поступающих на вход теплообменника 6. При нагреве теплообменника 6 до температуры, достаточной для парообразования жидкости, по сигналу датчика 24, установленного на теплообменнике 6, блок управления 16 формирует управляющий сигнал на включение насоса 15, который обеспечивает подачу жидкости в теплообменник 6. Интенсивность подачи жидкости на начальном этапе регулируется блоком управления 16 посредством изменения уровня управляющего сигнала, подаваемого на электрически управляемый насос 15 в соответствии с текущей температурой теплообменника 6, обеспечивая оптимальный процесс парообразования. Пар, который может содержать остаточное количество жидкости, поступает в сепаратор 11, где происходит разделение на фракции - жидкость и пар, при этом пар через обратный клапан 10 поступает в аккумулятор пара 9, а жидкость возвращается в резервуар 14 через управляемый двухканальный электромагнитный клапан 30 при открытом канале, сообщающем его с резервуаром 14.

В результате происходит наполнение паром аккумулятора пара 9, который через регулирующую паровую заслонку 8 подается на лопасти паровой турбины 7, создавая дополнительный крутящий момент на валу турбокомпрессора 3.

Пар с выпуска паровой турбины 7 через обратный клапан 12 поступает в конденсатор 13, где преобразуется в жидкость, которая поступает в резервуар 14. При достижении заданных значений температуры и давления пара в аккумуляторе пара 9 по сигналам датчика 23, установленного на аккумуляторе пара 9, блок управления 16 формирует управляющий сигнал, который подается на электрически управляемый насос 15 на снижение скорости перекачивания жидкости из резервуара 14 в теплообменник 6.

Таким образом, обеспечивается автоматическое поддержание температуры и давления пара в заданном рабочем диапазоне в аккумуляторе пара 9 и, соответственно, на входе регулируемой паровой заслонки 8.

Управление крутящим моментом паровой турбины 7 осуществляет блок управления 16 путем изменения положения регулируемой паровой заслонки 8 по сигналам датчика 25 акселератора, датчика 18 на выходе компрессора 3.

При резком нажатии на педаль акселератора и при наличии соответствующего сигнала с датчика акселератора 25 давление и температура отработавших газов и связанный с ними крутящий момент турбины 1 в силу тепловой инерции не может адекватно резко измениться. По управляющему сигналу с блока управления 16 в соответствии с сигналом с датчика акселератора 25 происходит практически мгновенное увеличение (от номинального значения) пропускной способности регулируемой паровой заслонки 8 и соответствующее увеличение крутящего момента паровой турбины 7, что позволяет минимизировать эффект «турбоямы» в поршневом двигателе внутреннего сгорания.

В случае недостаточной эффективности работы устройства управления турбонаддувом двигателя внутреннего сгорания и дальнейшим поступлением

сигнала с датчика акселератора 25 блок управления 16 подает сигнал на управляемый двухканальный электромагнитный клапан 30, который перекрывает выход сообщенный с вторым входом резервуара 14 для жидкости, и открывает выход подачи предварительно разогретой в теплообменнике 6 жидкости от сепаратора 11 на насос высокого давления 31. Одновременно блоком управления 16 подается управляющий сигнал на насос высокого давления 31 который подает жидкость под высоким давлением в выхлопной патрубке 26 к форсункам распыла жидкости 28, при этом предварительно разогретая мелкодисперсная распыленная в выхлопном патрубке 26 жидкость попадая на стенки выхлопного патрубка 26 и взаимодействуя с горячими выхлопными газами испаряется устремляясь на выход из выхлопного патрубка 26, тем самым создавая разрежение в выхлопной системе поршневого двигателя внутреннего сгорания 34 и понижая температуру, увлекая за собой поток выхлопных газов, дополнительно раскручивая турбину 1 турбокомпрессора 33.

В случае недостаточной эффективности работы устройства управления турбонаддувом двигателя внутреннего сгорания и дальнейшим продолжающимся поступлением сигнала с датчика акселератора 25, блок управления 16 подает сигнал на управляемый двухканальный электромагнитный клапан 29, который перекрывает выход сообщенный с вторым входом в конденсатор 13 и открывает выход пара к форсункам подачи пара 27 в выхлопном патрубке 26, при этом пар взаимодействуя с выхлопными газами устремляются вместе с ними на выход в атмосферу тем самым понижая температуру в выхлопном патрубке 26 создавая разрежение в объеме выхлопного патрубка 26 и повышая тем самым скорость движения выхлопных газов через турбину 1 турбокомпрессора 33.

При этом блок управления 16 подает сигналы на управляемый двухканальный электромагнитный клапан 29, управляемый двухканальный электромагнитный клапан 30 и насос высокого давления 31 только в случае наличия сигнала с датчика акселератора 25, а также при соответствующих

сигналах с датчиков 23 температуры и давления газов в аккумуляторе 9, и 24 температуры и давления в теплообменнике 6. Если температура или давление пара в аккумуляторе пара 9 или производительность его образования в теплообменнике недостаточные, то блок управления 16 управляющие сигналы на управляемые двухканальные электромагнитные клапаны 29,30 и насос высокого давления 31 не подает до момента поступления соответствующих сигналов с датчиков 25 и 24.

В устройстве управления турбонаддувом двигателя внутреннего сгорания предусмотрена некоторая потеря жидкости (пара) при работе форсунок подачи пара 27 и форсунок распыла жидкости 28, с целью обеспечения работы устройства, в устройстве установлена емкость 32 с заправочной горловиной для пополнения жидкости.

В целях снижения запаздывания реакции поршневого двигателя внутреннего сгорания 34 на нажатие педали акселератора и чрезмерное увеличение скорости вращения турбины 1 турбокомпрессора 33 с последующим резким возрастанием давления наддувочного воздуха на выходе компрессора 3 в предлагаемом устройстве в соответствии с информационным сигналом с датчика 18 на выходе компрессора 3, по управляющему сигналу с блока управления 16, будет произведено практически мгновенное снижение (от номинального значения) пропускной способности регулируемой паровой заслонки 8, закрытие канала подвода пара к форсункам подачи пара 27 и закрытие канала подачи жидкости к форсункам распыла жидкости 28 в выхлопном патрубке 26, подачей управляющих сигналов с блока управления 16 на управляемые двухканальные электромагнитные клапаны 29 и 30, что приведет к уменьшению крутящего момента паровой турбины 7 и позволит практически полностью исключить эффект «турбоподхвата» в поршневом двигателе внутреннего сгорания 34.

В случае возрастания давления пара в аккумуляторе пара 9 выше заданного критического значения, о чем будет сигнализировать датчик 23,

блок управления 16 подаст команду на управляемый двухканальный электромагнитный клапан 29, через канал которого избыток пара, минуя паровую турбину 7, сбрасывается в конденсатор 13. Обратный клапан 12 исключает прохождение избытка пара к выпуску паровой турбины 7.

Для компенсации потери жидкости на распыл жидкости форсунками распыла жидкости 28 и подачу пара форсунками подачи пара 27 в выхлопной патрубок 26 к резервуару 14 подключена емкость 32 с заправочной горловиной в которую по мере необходимости заливается жидкость.

Устройство управления турбонаддувом двигателя внутреннего сгорания представляет собой систему автоматического регулирования наддувов двигателя, что обеспечивает улучшение динамики управления наддувом, а также повышает общий коэффициент полезного действия поршневого двигателя внутреннего сгорания.

### **Заключение**

Анализ устройства силовых установок автобронетанковой техники показал, что наиболее действенным способом повышения мощности двигателя является повышение среднего эффективного давления воздуха во впускном коллекторе путем его сжатия в компрессоре перед подачей его в цилиндры двигателя, то есть обеспечением наддува.

Совершенствование систем управления наддувом двигателя позволяет повысить общий КПД двигателя и эффективность его работы.

Разработанное в рамках военно-научной секции кафедры двигателей устройство управления турбонаддувом двигателя внутреннего сгорания позволяет обеспечить адаптивное управление наддувом, а также увеличение общего коэффициента полезного действия поршневого двигателя внутреннего сгорания.

### Список использованных источников

1. Бурячко, В.Р. Автомобильные двигатели: Рабочие циклы. Показатели и характеристики. Методы повышения эффективности энергопреобразования. / В.Р. Бурячко, А.В. Гук. – СПб.: НПИКЦ, 2005. – 292 с.
2. Двигатели внутреннего сгорания. 1 кн. Теория рабочих процессов: Учеб. Для вузов / Под ред. В.Н. Луканина. – М.: Высш. шк., 2005. – 479 с.
3. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей / Под общ. ред. А.С. Орлина. Изд. 4-е. – М.: Машиностроение, 1983. – 372 с.
4. Кавтарадзе, Р.З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы: Учебник для вузов / Р.З. Кавтарадзе. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 720 с.
5. Лазарев, Е.А. Основные принципы, методы и эффективность средств совершенствования процесса сгорания топлива для повышения технического уровня тракторных дизелей / Е.А. Лазарев. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 288 с.
6. Системы управления дизельными двигателями. Перевод с нем. – М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. – 480 с.
7. Борисов, А.О. Рабочий процесс многотопливного поршневого двигателя / А.О. Борисов, М.Д. Гарипов, Р.Д. Еникеев, А.А. Чероусов. – Уфа: Изд-во УГАТУ, 2008. – 272 с.
8. Кудряш, А.П. Надежность и рабочий процесс транспортного дизеля / А.П. Кудряш. – Киев: Наукова думка, 1981. – 135 с.
9. Чернышев, Г.Д. Рабочий процесс и теплонапряженность автомобильных дизелей / Г.Д. Чернышов, А.С. Хачиян, В.И. Пикус. – М.: Машиностроение, 1986. – 181 с.



## Приложения

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 193000

**УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ТУРБОНАДДУВОМ  
ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**Патентообладатели: *Кольб Валерий Викторович (RU), Эдигаров  
Вячеслав Робертович (RU)*Авторы: *см. на обороте*

Заявка № 2019102464

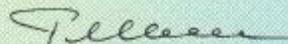
Приоритет полезной модели 29 января 2019 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных  
моделей Российской Федерации 09 октября 2019 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 29 января 2029 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности Г.П. Ильин