

11192186

НА ДОМ
НЕ ПОДАЕТСЯ

Перов Константин Юрьевич

УДК 621.43.013.1

УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ
ТРАНСПОРТНЫХ КДВС ВВЕДЕНИЕМ В СИСТЕМУ ТУРБО-
НАДДУВА ПЕРЕПУСКА ВОЗДУХА ИЛИ ГАЗА.

(05.04.02 - тепловые двигатели)

московское ордена Ленина, ордена Октябрьской
революции и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

Перов Константин Юрьевич

УДК 621.43.013.1

УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ
ТРАНСПОРТНЫХ КДВС ВВЕДЕНИЕМ В СИСТЕМУ ТУРБО-
НАДДУВА ПЕРЕПУСКА ВОЗДУХА ИЛИ ГАЗА.

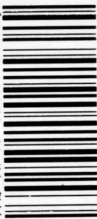
(05.04.02 - тепловые двигатели)

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

МОСКВА - 1988

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1492186

Перов К. Ю. Улучшение эксплу

сдк 492186

МГТУ
им. Н.Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

имени Э.В. Куйбышева

Научный руководитель

- кандидат технических наук,
профессор Г.Н. Мизерник

Официальные оппоненты

- доктор технических наук,
профессор С.В. Камкин
- кандидат технических наук
С.И. Козлов

Будущее предприятие

- Всесоюзный научно-иссле-
довательский тепловозный
институт

Защита диссертации состоится " 26 " декабря 1988 г.

в 14⁰⁰ часов на заседании специализированного совета К.053.15.05

" Тепловые машины и теоретические основы теплотехники" МВТУ им.

Н.Э. Баумана по адресу:

107005, Москва, Лефортовская набережная, д. I, корпус

" Энергомашиностроение".

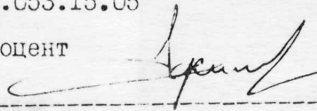
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
МВТУ им. Н.Э. Баумана.

Автореферат разослан " 25 " ноября 1988 г.

Учёный секретарь

специализированного совета К.053.15.05

кандидат технических наук, доцент

 Ефимов С.И.

Актуальность проблемы. Основными направлениями развития народного хозяйства СССР на 1986-1990 годы и на период до 2000 года, принятыми XXVI съездом КПСС, предусматривается увеличение производства дизелей с прогрессивными технико-экономическими показателями. Одной из основных проблем при форсировании транспортных КДВС со свободным турбонаддувом по среднему эффективному давлению является ухудшение характеристик на частичных нагрузках. Это вызвано резким снижением частоты вращения ротора турбокомпрессора $n_{тк}$ и, соответственно, давления наддува p_{int} при уменьшении расхода газа. Вследствии этого уменьшается коэффициент избытка воздуха при сгорании α , что ограничивает мощность P_e и ухудшает экономичность β_e двигателя. Одним из путей улучшения параметров КДВС на частичных нагрузках является регулирование режимов работы агрегатов турбонаддува с целью приближения α к оптимальному, для данного режима работы двигателя, значению. Применение для этой цели лопаточного регулирования соплового аппарата турбины и диффузора компрессора приводит к существенному усложнению конструкции и, как следствие, к снижению надёжности. При регулировании p_{int} перепуском части рабочего тела происходит изменение положения рабочей точки на характеристике турбины или компрессора без изменения самой характеристики. Это создаёт предпосылки для улучшения согласования характеристик агрегатов наддува и поршневой части двигателя. Поэтому в работе рассмотрена возможность управления параметрами агрегатов наддува за счёт перепуска части рабочего тела. К таким способам относятся:

- перепуск части газа из полости перед турбиной в объём за турбиной или в атмосферу (выпуск газа);
- перепуск части воздуха из полости нагнетания компрессора в объём за турбиной в атмосферу или на вход в компрессор (выпуск воздуха);
- перепуск части сжатого в компрессоре воздуха на вход в турбину.

Цель работы. Целью настоящей работы явилось рассмотрение возможностей улучшения эксплуатационной экономичности транспортных КДВС за счёт управления согласованием режимов совместной работы агрегатов наддува и двигателя методом различных перепусков

части воздуха или газа.

Методы исследований. Комплексный подход к решению задачи обусловил необходимость применения расчётных и экспериментальных методов исследований, включающих использование современных средств вычислительной техники, измерительной техники и испытаний на развёрнутых двигателях И6ЧН26/26.

Научная новизна. Разработана математическая модель расчёта характеристик КДВС, основанная на известных и проверенных на практике методах расчёта процессов в элементах комбинированного двигателя, с использованием новых эмпирических и полумэмпирических зависимостей, позволивших повысить точность расчёта.

Разработана методика расчёта характеристик КДВС с различными способами перепусков воздуха или газа, позволяющая учитывать влияние режимов работы агрегатов турбонаддува на изменение универсальной характеристики двигателя в разных схемах перепуска.

Показано влияние уровня и характера изменения КПД агрегатов наддува на параметры КДВС при перепуске части сжатого в компрессоре воздуха на вход в турбину.

Показана возможность расширения области работы с высоким средним эффективным давлением двигателя с силовой турбиной за счёт применения перепуска части сжатого в компрессоре воздуха на вход в силовую турбину, установленную после турбокомпрессора.

Практическая ценность. Разработанная математическая модель позволяет на стадии проектирования анализировать изменение параметров двигателя с различными системами турбонаддува и способами перепуска части воздуха или газа.

Расчётно-экспериментальными методами показаны возможности улучшения характеристик тепловозных дизелей И6ЧН26/26 по снижению на 1,5...4% расхода топлива на частичных нагрузках.

Предложенная схема системы наддува обеспечивает беспомпажную работу транспортного двигателя в широком диапазоне изменения температуры окружающей среды и позволяет улучшить экономичность КДВС на режимах средних нагрузок ($P_e = 50...70\%$).

Внедрение и реализация в промышленности. Разработанная методика расчёта рабочего процесса внедрена на ПО "Коломенский завод" и является составным элементом САПР "Турбокомпрессор". Методика расчёта характеристик КДВС с различными способами перепуска части воздуха или газов внедрена в практику исследований по выбору схем

воздухоснабжения и включена в состав разрабатываемой на ПО "Коломенский завод" САПР "Мощный транспортный дизель".

Разработанная автором экспериментальная установка используется на ПО "Коломенский завод" при доводке газодизельного цикла на двигателе 16ЧН26/26 мощностью 2200 кВт при номинальной частоте вращения коленчатого вала 1000 мин⁻¹.

По результатам исследований, проведённых на дизелях типа ЧН26/26 разработана и принята к внедрению система наддува, обеспечивающая беспомпажную работу двигателя в широком диапазоне изменения температур окружающей среды, при этом на установившихся режимах средних нагрузок обеспечивается улучшение экономичности КДВС на 1,5...3,0 г/кВт.ч.

Апробация работы. Результаты работы доложены и обсуждены на XXXII и XXXIII научно-технических конференциях молодых специалистов и ИТР ПО "Коломенский завод", 1987 и 1988 гг. на Всесоюзной научно-технической конференции, посвящённой 70-летию Великого Октября, МВТУ им. Н.Э.Баумана, 1987г., на конструкторской секции ИТО Машпром ПО "Коломенский завод", 1988г.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в трёх печатных работах, получено два авторских свидетельства.

Объём работы. Диссертация изложена на 98 страницах основного текста, содержит введение, шесть разделов, выводы, список литературы из 83 наименований, 48 рисунков и I приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении показана актуальность работы, отмечено, что для улучшения согласования характеристик агрегатов наддува и поршневой части в широком диапазоне нагрузок необходимо применение регулирования параметров системы турбонаддува.

В первом разделе. проведён обзор литературных источников. Показано влияние *Pint* на характеристики тепловозных дизелей. Проведён анализ различных способов улучшения характеристик КДВС. Рассмотрены количественный и качественный способы регулирования *Pint*, указаны преимущества и недостатки. Отмечено, что в известных работах недостаточно отражена количественная оценка величины перепускаемого рабочего тела и не чётко определены области характеристики КДВС, где применение перепуска позволяет улучшить параметры двигателя. В результате проведённого обзора сформулиро-

ваны задачи исследования:

1. Разработка методики расчёта характеристик КДВС, позволяющей анализировать изменение параметров двигателя при воздействии на режимы работы агрегатов наддува перепуском воздуха или газа.

2. Определение области улучшения характеристик КДВС за счёт включения в систему наддува различных перепусков рабочего тела.

3. Оценка возможности улучшения характеристик КДВС со сложными системами наддува за счёт перепуска части воздуха или газа.

4. Разработка принципа построения схемы системы наддува, обеспечивающей улучшение согласования характеристик транспортного двигателя и агрегатов наддува в широком диапазоне нагрузок и изменения температуры окружающей среды.

Во втором разделе рассмотрено влияние кпд турбины и компрессора на изменение параметров системы наддува включающей перепуск части воздуха, сжатого в компрессоре, на вход в турбину, показана необходимость проведения расчёта всей области характеристики и представлена методика расчёта.

Режим работы газовой турбины (Т) определяется расходом (G) и температурой (T_{g1}) газа. При свободном турбонаддуве мощность турбины используется для привода центрального компрессора, при этом всегда выполняется условие баланса мощностей. На рис. I показана характеристика осевой турбины. Линия АВ означает работу турбины при постоянных π_k и η_k . Если η_k уменьшается, то работа турбины происходит по линии АД, а линия АГ означает работу турбины при увеличении η_k ($\pi_k = const$). При перепуске части сжатого в компрессоре воздуха на вход в турбину температура газа перед ней T_{g1} снижается за счёт смешения перепускаемого воздуха (ΔG) с выпускными газами, поэтому для анализа изменения режима работы турбины использовано выражение, полученное из уравнения баланса энергий при смешении в случае равенства расходов через турбину и компрессор.

$$\Delta T = T_{g1} - \frac{c_{p2}}{c_{pcm}} \cdot \frac{G_2 - \Delta G}{G_2} \cdot T_{g1} - \frac{c_{p2}}{c_{pcm}} \cdot \frac{\Delta G}{G_2} \cdot T_2, \quad (I)$$

где:

ΔT — снижение температуры газа при смешении;
 G_2 — расход воздуха (газа);

$T_g = T_a \left[1 + \frac{1}{\eta_k} \left(\sqrt[k]{\frac{p_g}{p_a}} - 1 \right) \right]$ - температура перепускаемого воздуха.

В диапазоне $\pi_k = 1,5 \dots 2,5$ КПД компрессора слабо влияет на величину T_g , поэтому, при определении T_g , изменением η_k можно пренебречь.

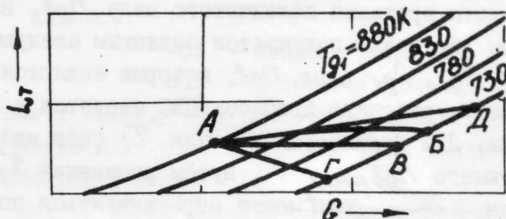


Рис.1. Изменение режима работы турбины в случае перепуска части воздуха из компрессора в турбину.

Расчёты, проведённые с использованием уравнения (I) показали, что применение рассматриваемого перепуска переводит режим работы турбины из т. А в т. Б (рис. 1) Если это сопровождается повышением η_k (линия АГ), то турбина развивает большую, чем требует компрессор мощность, что создаёт предпосылки для повышения π_k и улучшения параметров двигателя. При уменьшении η_k (линия АД) мощности турбины оказывается недостаточно для поддержания $\pi_k = const$, что приводит к падению π_k . Проведение такого расчёта для, различных режимов позволяет определить области характеристик ТК, где возможно повышение π_k . Однако рост π_k сопровождается повышением π_T за счёт увеличения G . При этом прирост π_T опережает прирост π_k , т.е. увеличиваются насосные потери в четырёхтактном двигателе с изобарной системой наддува. Поэтому для выяснения возможностей улучшения параметров КДЭС необходимо проводить анализ совместной работы двигателя и ТК в области работы, где за счёт перепуска повышается π_k .

Для этой цели, на основе применяемой на ПО "Коломенский завод" методики расчёта характеристик систем воздухообеспечения, была разработана математическая модель расчёта характеристик КДЭС. Модель состоит из самостоятельных блоков (модулей), каждый из которых можно совершенствовать и корректировать по мере развития теории, обобщения опытных данных. В каждый модуль введена методика иденти-

фикации с опытными данными, что позволяет предварительно проверить достоверность результатов на ограниченном количестве режимов. При согласовании параметров системы турбонаддува и рабочего процесса двигателя выходные данные одного модуля являются входными для другого. Условием связи параметров системы турбонаддува и двигателя принята частота вращения коленчатого вала n_{gb} . В этом случае режим работы двигателя получается заданным следующими величинами: p_{int} , T_{int} , T_{g1} , p_{g1} , G_{air} , n_{gb} , которые являются граничными условиями. Расчёт рабочего процесса ДВС сводится к определению цикловой подачи. Для принятого значения τ_i счёт идёт до значения, соответствующего n_{gbmax} , путём изменения τ_T на заданный шаг $\Delta\tau_T$. Кривая " $\tau_i = const$ " может ограничиваться помпажом компрессора, максимальным давлением сгорания p_{max} или минимальным значением коэффициента избытка воздуха. При достижении граничных значений осуществляется переход к следующему значению τ_{i+1} и так до τ_{max} .

Расчёт процесса сгорания проводится по методу И.И. Вибс с использованием зависимостей для m и φ_2 , полученных Г. Вошни. Теплоотвод в процессе "сгорание-расширение" рассчитывается по зависимости, полученной на основании литературных и экспериментальных данных для двигателей типа ЧН26/26 и ЧН30/38:

$$Q_i = Q_{max} \cdot (\varphi_i / \Delta\varphi_{max})^{0,7}, \quad (2)$$

где:

Q_{max} - полный теплоотвод;

φ_i - текущий угол поворота коленчатого вала (к.в.);

$\Delta\varphi_{max}$ - угол поворота к.в., соответствующий периоду процесса "сгорание-расширение".

Изменение теплоотвода на различных режимах учитывается зависимостью, полученной С.И. Погодиным, показателя степени которой уточнены по опытными данным для дизелей ПО "Коломенский завод":

$$Q_{max} = Q_{max0} \cdot (\alpha / \alpha_0)^{-0,12} (n_{gb} / n_{gb0})^{-0,8}, \quad (3)$$

где:

$\alpha, \alpha_0, n_{gb}, n_{gb0}$ - коэффициент избытка воздуха и частота вращения к.в. на рассматриваемом и номинальном режимах.

Для расчёта характеристик КДВС с различными схемами перепуска части рабочего тела уравнение баланса расходов представляется

В виде:

$$f_1 \cdot G_{кнд} = f_2 \cdot G_{квд} = G_{атч} = f_3 \cdot G_{твд} = f_4 \cdot G_{тнд}, \quad (4)$$

где:
 $f_i = (G_i - \Delta G_i) / G_i$ - коэффициент перепуска;
 ΔG_i - количество перепускаемого воздуха.

индексы:

$нд$ - низкого давления;

$вд$ - высокого давления.

Применение уравнения (4) позволяет обобщить различные схемы перепуска воздуха или газа. Изменение f_i в различных схемах перепуска представляется в виде:

1. Выпуск части воздуха за компрессором низкого давления

$$f_1 < 1; f_2 = f_3 = f_4 = 1$$

2. Выпуск воздуха за компрессором высокого давления

$$f_1 = f_2 < 1; f_3 = f_4 = 1$$

3. Выпуск газа перед турбиной высокого давления

$$f_1 = f_2 = 1; f_3 = f_4 < 1$$

4. Выпуск газа перед турбиной низкого давления

$$f_1 = f_2 = f_3 = 1; f_4 < 1$$

5. Перепуск части сжатого в компрессоре воздуха на вход в турбину

$$f_1 = f_2 = f_3 = f_4 > 1$$

6. Перепуск части воздуха после компрессора низкого давления на вход в турбину низкого давления

$$f_1 = f_4 > 1; f_2 = f_3 = 1$$

В случае расчёта одноступенчатой системы наддува коэффициенты $f_2 = f_3 = 0$. Системы с перепуском воздуха или газа обычно выполняются регулируемые, поэтому для таких систем на первом этапе выполняется расчёт универсальных характеристик КДВС без перепуска. Затем определяются такие зоны характеристики ТК, где целесообразно применить тот или иной перепуск части рабочего тела и в этих зонах повторяется расчёт рабочего процесса с вариацией f_i . В результате такого расчёта определяются области универсальной характеристики КДВС, где возможно улучшение параметров за счёт перепуска. Одновременно определяется закон управления перепусковыми устройствами. Это позволяет получить исходные данные для проектирования системы регулирования.

В третьем разделе представлены результаты математического

моделирования характеристик КДВС с разным уровнем ρ_{me} и различными способами перепуска части воздуха или газа. Приведено сравнение методов воздействия на параметры системы наддува за счёт выпуска воздуха или газа. Показаны возможности улучшения экономичности двигателя за счёт перепуска части сжатого в компрессоре воздуха на вход в турбину.

Исследование ограничения ρ_{int} методом выпуска части воздуха или газа в атмосферу проводилось на режиме номинальной мощности двигателя I6ЧН26/26 ($\rho_{me} = 1,22$ МПа) с вариацией коэффициентов f_1 и f_4 в диапазоне $1,0 \dots 1,1$ ($f_2 = f_3 = 0$). Проведённые расчётные исследования показали, что схема с выпуском газа обладает более широкими возможностями (рис.2). Выполнение условия $\Delta \beta_e = 1\% = const$ возможно при снижении давления наддува на 4% в схеме с выпуском газа, а при выпуске воздуха на 2%. Это позволяет применить меньшие сечения соплового аппарата турбины, что способствует улучшению экономичности двигателя на частичных нагрузках за счёт более благоприятного изменения давления наддува. При одинаковом снижении ρ_{int} экономичность двигателя лучше при выпуске газа, причём разница в β_e увеличивается с ростом $\Delta \rho_{int}$.

Исследование системы наддува с перепуском части сжатого в компрессоре воздуха на вход в турбину проводилась по методике, описанной во втором разделе. Коэффициенты перепуска f_1 и f_4 варьировались в диапазоне $1,0 \dots 1,2$. Расчётное исследование такой схемы наддува показало, что применение перепуска позволяет улучшить согласование экономической и тепловозной характеристик КДВС с одноступенчатой системой наддува при работе последнего в транспортных условиях. За счёт этого экономичность двигателя I6ЧН26/26 улучшается на $1,0 \dots 1,5$ г/кВт.ч. в диапазоне средних нагрузок тепловозной характеристики. Применение рассматриваемого перепуска увеличивает коэффициент запаса по помпажу, так как компрессор работает с большим, по сравнению с двигателем, расходом воздуха. При смешении перепускаемый воздух снижает температуру газов перед турбиной, за счёт чего повышается её надёжность. Применение перепуска воздуха из компрессора в турбину улучшает показатели двигателя в определённой области работы двигателя, остальные режимы при этом не изменяются. Это является преимуществом по сравнению с регулированием за счёт выпуска части воздуха или газа, которое всегда сопровождается ухудшением экономичности КДВС.

На основе анализа универсальной характеристики двигателя 16ЧН32/32 ($\rho_{me} = 1,56$ МПа) показана возможность расширения диапазона работы двигателя за счёт применения перепуска части воздуха из компрессора в турбину (рис.3). Повышение ρ_{int} таким методом позволяет расширить область работы двигателя с $\rho_{me} = const$. Одновременно улучшаются режимы средних нагрузок. Улучшение экономичности при работе КДВС по внешней характеристике за счёт применения регулируемого перепуска составляет 3...4%.

Таким образом, расчётное исследование по разработанной методике позволило определить области работы двигателя, где применение перепуска улучшает параметры КДВС, а также закон управления перепускаемым воздухом или газом.

В четвёртом разделе описана разработанная автором экспериментальная установка, измерительная аппаратура, используемая при проведении экспериментальных исследований. Приведена методика экспериментальных исследований и методы обработки результатов испытаний. Проведена оценка погрешности измеряемых величин.

В качестве объекта исследования был взят тепловозный двигатель 16ЧН26/26 с изобарной одноступенчатой системой наддува. Схема экспериментальной установки приведена на рис.4. Целью экспериментальных исследований являлась проверка результатов расчётного анализа. Двигатель с экспериментальной системой наддува выходил на режим работы путём задания нагрузки с помощью воздушных реостатов, заданная частота вращения поддерживалась всережимным регулятором. Испытания проводились в несколько этапов.

На первом этапе проверялась возможность улучшения параметров двигателя за счёт перепуска части сжатого в компрессоре воздуха на вход в турбину. На втором этапе проверялась возможность ограничения ρ_{int} методом выпуска части воздуха или газа. На третьем этапе проверялась возможность расширения области работы КДВС за счёт перепуска части воздуха из компрессора в турбину. На четвёртом этапе проверялась возможность улучшения параметров двигателя с ростом его форсировки за счёт повышения ρ_{int} . Для этой цели был установлен турбокомпрессор (ТК) с большей пропускной способностью и степенью повышения давления. Это позволило форсировать двигатель на режиме номинальной мощности примерно на 35%.

Проведённая оценка погрешности измерений показала соответствие требованиям действующих стандартов.

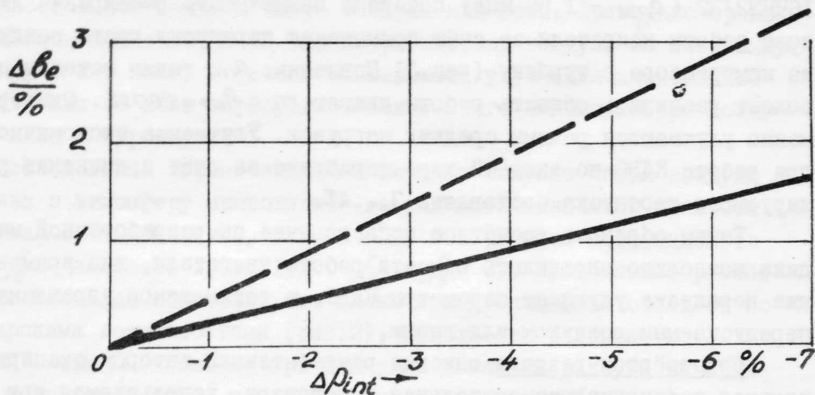


Рис.2. Сравнение методов ограничения ρ_{int} за счёт выпуска части рабочего тела.

— — выпуск воздуха; — — выпуск газа.

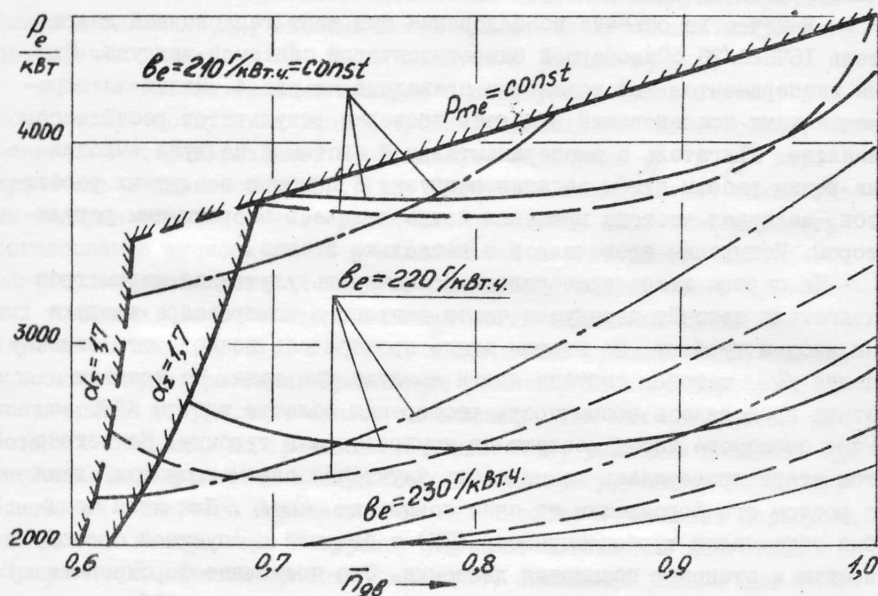


Рис.3. Влияние перепуска части воздуха из компрессора в турбину на универсальную характеристику дв. 16CH32/32.

— $f_1 = f_4 = 1,0$; — — $f_1 = f_4 = 1,1$; — — — $f_1 = f_4 = 1,2$.

чение F_{ca} приводит к недопустимому увеличению P_{int} . Это обуславливает необходимость ограничения P_{max} на этих режимах. Сравнение методов ограничения P_{max} за счёт выпуска воздуха или газа показало, что экономичность двигателя выше при выпуске газа. Это связано с различным согласованием режимов совместной работы ТК и ДВС. При выпуске газа изменение режима работы компрессора происходит по нагрузочной характеристике, т.е. с малым изменением кпд. В случае ограничения P_{int} за счёт выпуска воздуха расход рабочего тела через компрессор оказывается большим, чем через двигатель, что приводит к смещению рабочей точки в область правых ветвей характеристик компрессора, вследствие этого происходит падение его кпд. При выпуске газа P_{q1} снижается сильнее, поэтому эффект регулирования проявляется частично за счёт разницы расходов через компрессор и турбину, а частично за счёт уменьшения работы выталкивания газов из цилиндра.

Исследование возможностей повышения P_{int} методом перепуска части сжатого в компрессоре воздуха на вход в турбину проводилось на режимах средних нагрузок тепловозной характеристики. На каждом режиме работы двигателя по результатам обработки данных испытаний определялось количество перепускаемого воздуха, при котором удельный эффективный расход топлива достигал минимума. Проведённые испытания показали (рис.5), что на режиме $P_e = 60\%$ и $\bar{P}_{g8} = 0,7$ экономичность двигателя улучшилась на 2,7 г/кВт.ч. Характер изменения P_{int} , P_{q1} , α_z , η_{TK} , η_K подтверждает возможность управления согласованием характеристик ТК и ДВС. Основное улучшение параметров КДВС проявляется в области $P_e = 50...70\%$, т.е. на основных режимах эксплуатации двигателя в транспортных условиях. На каждом режиме величина открытия поворотной заслонки $F_{откр}$ изменяется, что подтверждает необходимость применения регулируемого перепуска. Аналогичные испытания, проведённые на двигателе I6ЧН26/26 с большей форсировкой, показали, что регулирование таким способом позволяет улучшить экономичность двигателя в диапазоне $P_e = 40...60\%$ на 2,2...2,5 г/кВт.ч. Температура газов перед турбиной снизилась на 20 К. При работе двигателя по внешней (ограничительной) характеристике его экономичность за счёт повышения P_{int} при перепуске воздуха из компрессора в турбину улучшается на 3...4 г/кВт.ч. в диапазоне $\bar{P}_{g8} = 0,55...0,65$.

Применение на двигателе I6ЧН26/26 ПО "Коломенский завод" сис-

темы турбонаддува с силовой турбиной позволяет существенно улучшить параметры КДВС при работе последнего с неполной нагрузкой. Однако в этом случае область работы двигателя ограничивается помпажом компрессора. Для устранения этого недостатка экспериментально была проверена возможность расширения диапазона работы двигателя с силовой турбиной за счёт перепуска части воздуха из объёма после компрессора на вход в силовую турбину. Система турбонаддува была дополнительно оборудована воздушным трубопроводом который соединял полость высокого давления компрессора с газовым трактом между турбинами. В трубопровод была установлена регулируемая поворотная заслонка. Испытания проводились на двигателе 16ЧН26/26 мощностью 2950 кВт при номинальной частоте вращения $n_{гв} = 1000 \text{ мин}^{-1}$. Применение предложенного перепуска воздуха снимает ограничения по помпажу компрессора, что позволяет увеличить эффективную мощность двигателя на 10...30% при $\bar{p}_{гв} = 0,6...0,75$.

Проведённый комплекс экспериментальных исследований подтвердил достаточную достоверность результатов, получаемых при математическом моделировании характеристик КДВС с разным уровнем форсировки.

В шестом разделе рассматривается схема системы наддува разработанная автором в результате проведённых исследований. Показана возможность управления коэффициентом избытка воздуха при сгорании за счёт применения различных перепусков рабочего тела в газожидкостном процессе. Проведена оценка экономической эффективности проведённых исследований.

Предложенная система наддува позволяет поддерживать необходимый коэффициент избытка воздуха за счёт регулируемого перепуска части сжатого в компрессоре воздуха на вход в турбину и тем самым улучшить параметры двигателя на режимах средних нагрузок. На режимах, близких к полной мощности работа двигателя происходит по обычной схеме "свободного" турбонаддува. При изменении условий окружающей среды, что характерно для эксплуатации транспортных двигателей, на режимах $\bar{p}_e \geq 0,95$ такой перепуск приводит к снижению ρ_{int} , что позволяет ограничивать ρ_{max} . В случае, если снижения ρ_{int} недостаточно, срабатывает предохранительный клапан, который ограничивает ρ_{max} за счёт выпуска части воздуха.

Повышение ρ_{int} на средних нагрузках при перепуске части воздуха из компрессора на вход в турбину позволяет обеспечить работу двигателя по дизельному и газожидкостному циклам. При переходе КДВС на

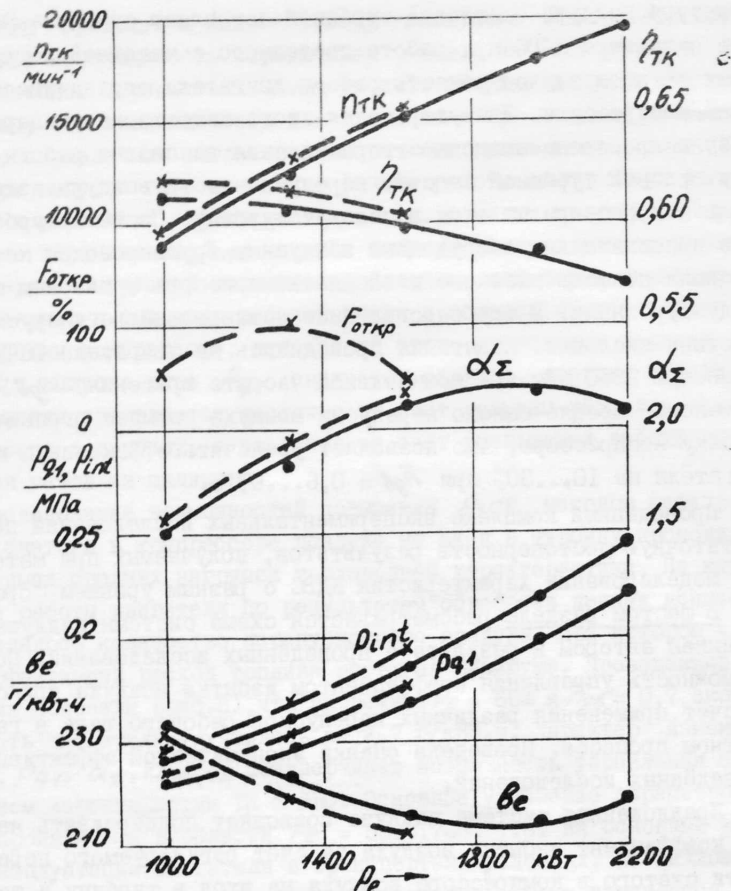


Рис. 5. Влияние перепуска части воздуха на вход в турбину на параметры двигателя ИВЧН26/26.

- x — работа с перепуском;
 — • — работа без перепуска.

работу по газожидкостному циклу на режимах $\bar{p}_e \geq 0,9$ давление наддува ограничивается за счёт выпуска части воздуха, а при $\bar{p}_e < 0,9$ давление наддува повышается за счёт применения названного выше перепуска. Этим обеспечивается беспомпная работа двигателя и поддержание коэффициента избытка воздуха при сгорании в заданном диапазоне, что способствует улучшению параметров КДВС.

Ожидаемый экономический эффект от реализации результатов работы на Коломенском тепловозостроительном заводе им. В.В.Куйбышева составит 50960 рублей в год.

ВЫВОДЫ

1. Разработана методика расчёта характеристик КДВС с различными способами перепуска части рабочего тела (выпуск воздуха или газа, перепуск части воздуха из компрессора в турбину), которая позволяет учитывать влияние режимов работы агрегатов турбонаддува на изменение универсальной характеристики двигателя в разных схемах перепуска и оценить количественно и качественно возможности улучшения эффективных показателей двигателя.

2. Сравнение способов ограничения давления наддува на режиме полной мощности тепловозного двигателя I6ЧН26/26 показало, что при выпуске газа экономичность двигателя на 3 г/кВт.ч. лучше, чем при выпуске воздуха.

3. Численные эксперименты, проведённые с помощью разработанной математической модели выявили возможности улучшения согласования экономической и эксплуатационной характеристик КДВС за счёт применения регулируемого перепуска воздуха из компрессора в турбину, что способствует повышению экономичности двигателя в определённой области работы. Остальные режимы КДВС при этом не изменяются.

4. Увеличение расхода воздуха через компрессор при перепуске воздуха из компрессора в турбину обеспечивает работу с увеличенным запасом по помпажу на режимах средних нагрузок, при этом снижается температура газов за цилиндрами ДВС и перед турбиной, что даёт возможность увеличить эффективную мощность двигателя на пониженных частотах вращения коленчатого вала.

5. Сочетание перепуска воздуха из компрессора на вход в турбину на режимах средних нагрузок и выпуска части воздуха (или газа) на полной мощности приводит к уменьшению области работы КДВС с ограничением давления наддува, что уменьшает потери экономичности на режимах близких к полной мощности.

6. Применение регулируемого перепуска воздуха сжатого в компрессоре на вход в турбину улучшает экономичность двигателей I6ЧН26/26 с разным уровнем среднего эффективного давления.

На режимах средних нагрузок тепловозной характеристики эконо-

мичность двигателя повысилась на 1,5...2,0%, а на внешней характеристике выигрыш составил 3...4%.

7. Применение системы турбонаддува с силовой турбиной, включающей перепуск части сжатого в компрессоре воздуха на вход в силовую турбину, установленную после турбокомпрессора (по ходу газа), позволило увеличить мощность двигателя 164Н26/26 в диапазоне $\bar{n}_{g6} = 0,60 \dots 0,85$ на 10...30%.

8. Разработана схема системы наддува, которая обеспечивает улучшение согласования характеристик двигателя и турбокомпрессора в широком диапазоне изменения нагрузок и температур окружающей среды.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Перов К.Ю. и др. Создание высокоэффективных систем турбонаддува КДВС с $\rho_e > 17 \text{ кг/см}^2$ на базе оптимизации их параметров / Е.А. Никитин, Д.А. Дехович, К.Ю. Перов и др.: По "Коломенский завод", Коломна, 1986.- 14 с.: ил.- Библиогр.: 3 назв.- Деп. в ВНИИЦентр, 02.86, № 070818.

2. Дехович Д.А., Перов К.Ю. Математическая модель характеристик КДВС с различными системами турбонаддува // Двигателестроение.- 1988.- № 7.- С.5-9.

3. Перов К.Ю., Дехович Д.А. Исследование способов улучшения характеристик КДВС за счёт перепуска воздуха или газов // Перспективы развития комбинированных двигателей внутреннего сгорания и двигателей новых схем и на новых топливах: Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции.- М., МВТУ им. Н.Э.Баумана, 1987.- С.38-39.

4. А.с. 1177522 СССР, МКИ³ F 02 В 37/00. Турбокомпрессор для наддува двигателя внутреннего сгорания/ Д.А. Дехович, А.Ф. Карпов, К.Ю. Перов, Д.А. Ли (СССР).- № 3720194 : Заявлено 30.03.84 : Опубл. 07.09.85, Бюл. № 33// Открытия. Изобретения.-1984.-№ 33.- С.56.

5. А.с. 1420204 СССР, МКИ³ 4 F 02 В 37/00. F 02 D 23/00 Двигатель внутреннего сгорания/ Д.А. Дехович и К.Ю. Перов (СССР).- № 4170058: Заявлено 30.12.86: Опубл. 30.08.88, Бюл. № 32// Открытия. Изобретения.- 1988.- № 32.

Дехович