

УЛУЧШЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЫСОКОФОРСИРОВАННЫХ ДИЗЕЛЕЙ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ НАДДУВОЧНОГО ВОЗДУХА

*В.К. Ярошевич, д.т.н., проф., Г.А. Вершина к.т.н., доц., Е.С. Тамкович, инж.;
Белорусский национальный технический университет*

Результаты исследований дизельного двигателя, оснащенного промежуточным охладителем воздуха с автоматическим регулятором температуры, получены на основании теоретических и экспериментальных исследований.

Проведенные испытания показали, что применение охладителя с автоматическим регулятором температуры наддувочного воздуха на режимах низких нагрузок и холостого хода при работе в условиях отрицательных температур имеет существенное влияние на технико-экономические и экологические показатели работы двигателя.

Возрастающая энергонасыщенность сельскохозяйственных и транспортных средств требует повышения удельных мощностей существующих и разрабатываемых силовых установок.

Наиболее эффективным способом увеличения литровой мощности двигателя является повышение давления наддува, а также понижение температуры свежего заряда на впуске путем применения промежуточных охладителей наддувочного воздуха (ПОНВ).

Для изучения влияния характеристик газотурбинного наддува и ПОНВ при их работе в системе силовой установки в условиях динамического нагружения на основе работ [1, 2] на кафедре ДВС БНТУ была разработана нелинейная математическая модель САРЧ высокофорсированного дизельного двигателя [3, 4].

В общем виде она содержит дифференциальные уравнения элементов ДВС, включая, кроме общепринятых, уравнение турбокомпрессора с регулируемым наддувом, уравнения промежуточного охладителя с регулятором температуры наддувочного воздуха, уравнение автоматического регулятора частоты вращения.

Модель учитывает процессы, происходящие в цилиндре ДВС, в том числе в процессе подачи, испарения и сгорания топлива в зависимости от угла поворота коленчатого вала [6]. Таким образом, в любой момент времени определяется давление газов в цилиндре, а следовательно, и крутящий момент.

Данная модель позволяет исследовать влияние конструктивных параметров входящих в нее систем на технико-экономические показатели и, при необходимости, провести их оптимизацию.

Одной из величин, позволяющих качественно воздействовать на процессы, происходящие в цилиндре двигателя, может стать температура воздуха на выходе из ПОНВ. Это подтверждается результатами работ [7–9], в которых проведен анализ влияния изменения температуры воздуха на выходе из охладителя $T_{\text{вых}}$ на основные показатели и характеристики работы дизельного двигателя 6ЧН18/22. Авторами статей сделан вывод, что оптимальная степень понижения температуры наддувочного воздуха зависит от нагрузки дизеля. Данные выводы совпадают с результатами математического моделирования.

При работе двигателя в условиях неустановившихся режимов необходимо предусматривать возможность регулирования степени охлаждения воздуха в зависимости от нагрузки. На холостом ходу и малых нагрузках в условиях отрицательных температур целесообразно подогревать, а не охлаждать наддувочный воздух.

На основании теоретических исследований на кафедре ДВС был разработан и изготовлен опытный образец ПОНВ с устройством автоматического регулирования температуры воздуха по давлению наддува на входе в двигатель [10] (рис. 1). Регулятор температуры проектируется таким образом, чтобы на выходе из ПОНВ обеспечивалась близкая к постоянному значению температура наддувочного воздуха.

Известно, что температура воздуха после турбокомпрессора определяется по формуле:

$$T_k = T_0 \left(\frac{P_k}{P_0} \right)^{\frac{n}{n-1}},$$

где T_0, P_0 — температура и давление окружающей среды; T_k, P_k — температура и давление наддувочного воздуха после компрессора; n — показатель политропы сжатия в компрессоре.

Очевидно, что температура наддувочного воздуха зависит от давления наддува P_k и условий окружающей среды T_0 и P_0 .

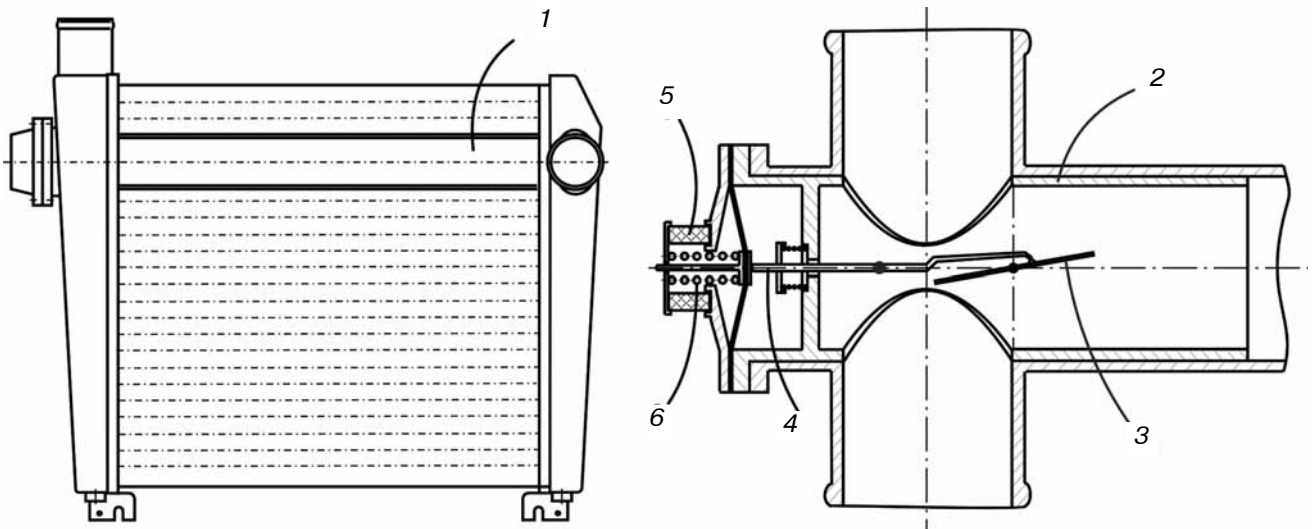


Рис. 1. Схема ПОНВ и автоматического регулятора

Конструктивной особенностью разработанного охладителя является наличие в его верхней части обводного канала 1, в котором вмонтирован регулятор температуры наддувочного воздуха 2; составной частью регулятора — заслонка 3, соединенная штоком с пневмокорректором 4, отрегулированным на давление наддува 0,65–0,7 кгс/см².

При давлении наддувочного воздуха выше этой величины заслонка находится в закрытом состоянии (перепускной канал закрыт) и воздух проходит через трубки охлаждения. При избыточном давлении 0,65–0,7 кгс/см² и ниже (на режимах средних и низких нагрузок) под действием штока пневмокорректора открывается заслонка, и воздух, минуя трубки охлаждения, через обводной канал частично поступает во всасывающий коллектор двигателя.

Температурный компенсатор 5 позволяет вносить поправку в зависимости от температуры окружающей среды T_0 на более точное определение температуры T_k . Жесткость пружины 6 подбирается таким образом, чтобы температура на выходе из ПОНВ была близкой к температуре на выходе из ПОНВ в условиях номинального режима работы двигателя.

В рамках программы «Белавтотракторостроение» были проведены сравнительные испытания разработанной конструкции, которые проходили в два этапа.

На первом этапе совместно с УП «Минский моторный завод» проводились стендовые испытания высокофорсированного дизельного двигателя Д-245.12, оснащенного штатным и экспериментальным ПОНВ.

Сравнительная оценка полученных результатов и теоретические исследования позволили сделать следующие выводы.

1. При коэффициентах избытка воздуха менее 3,2 экономические показатели двигателя при его работе с серийным и экспериментальным ПОНВ на установившихся режимах являются практически равнозначными (рис. 2).

2. При значениях коэффициента избытка воздуха более 3,2 наблюдается тенденция к снижению удельного эффективного расхода топлива (рис. 2, 3).

3. Применение экспериментального ПОНВ обеспечивает увеличение на 7 % интенсивности прогрева охлаждающей жидкости при пуске двигателя, а также способствует увеличению отвода теплоты от масляного картера двигателя (рис. 4). Последнее объясняется снижением количества теплоты, передаваемого материалом ПОНВ потоку охлаждающего воздуха с вентилятора, при перепуске наддувочного воздуха мимо охладителя.

4. Перепуск части воздушного заряда, минуя ПОНВ, для сохранения его температуры при работе двигателя в области малых нагрузок и холостого хода способствует уменьшению периода

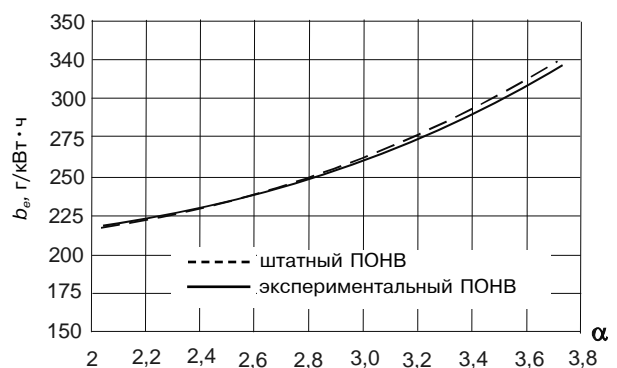


Рис. 2. Зависимость удельного эффективного расхода топлива b_e от коэффициента избытка воздуха α по нагрузочной характеристике

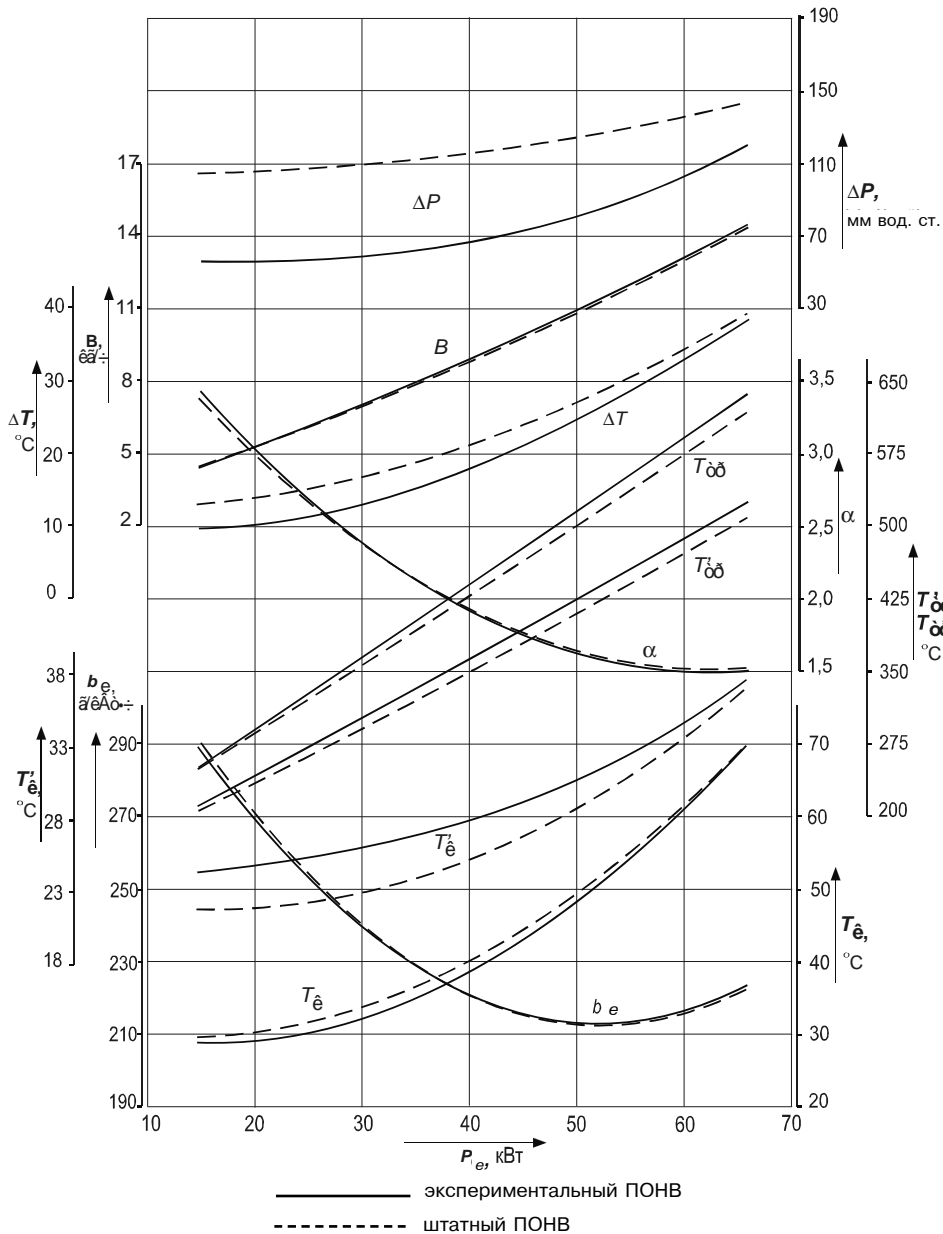


Рис. 3. Нагрузочная характеристика дизеля ($n = 1400$ об/мин):

P_e — эффективная мощность двигателя; α — коэффициент избытка воздуха; b_e и B — удельный эффективный и часовой расходы топлива; T_k и T_k — температура наддувочного воздуха перед и после ПОНВ; T_{tr} и T_{tr}' — температура отработавших газов перед и после турбины; ΔT и ΔP — перепад температуры и потери давления в ПОНВ

задержки воспламенения и снижению выбросов СН и твердых частиц, так как температура свежего заряда на данных режимах возрастает на 20–25 °С.

5. Применение регулятора температуры наддувочного воздуха сокращает на 6–8 % время переходного процесса двигателя при мгновенном набросе номинальной нагрузки.

Второй этап сравнительных испытаний проводился совместно с экспериментальным центром РУП «Минский тракторный завод». Его целью было определение эффективности влияния перепуска воздуха мимо ПОНВ на режиме пуска и

прогрева двигателя до рабочей температуры охлаждающей жидкости на присутствие «белого дыма» в отработавших газах двигателя в условиях низких температур окружающей среды. В качестве базовой модели для испытаний был выбран трактор Беларус-923.3, оснащенный дизельным двигателем Д-245.5С2 ($P_e = 95,2$ л. с., $n = 1800$ об/мин) и входящими в штатную комплектацию турбокомпрессором ТКР-6 и ПОНВ.

Испытания трактора проводились в полевых условиях при максимально возможной на момент их проведения одинаковой отрицательной температуре окружающей среды $t_0 = -10$ °С. Перед проведением испытаний апробировался запуск двигателя в штатной комплектации. Затем монтировался опытный ПОНВ и апробировался запуск двигателя в штатном и опытном режимах.

После 12-часового охлаждения на открытом воздухе осуществлялись запуск двигателя в штатном режиме и дальнейший его прогрев в режиме холостого хода при 1200 об/мин в течение 20 мин. При этом с интервалом в 1 мин фиксировались температура охлаждающей жидкости и давление масла.

Через 24 часа после остановки двигателя ПОНВ переключался в опытный режим, и испытания проводились повторно при $t_0 = -10$ °С. Измерения значений параметров температуры и давления осуществляется приборами штатной комплектации трактора.

Визуальное наблюдение белого дыма фиксировалось на видеокамеру. Анализ полученных при сравнительных испытаниях данных показал, что перепуск части воздуха мимо решетки ПОНВ на режиме прогрева позволяет сократить время достижения рабочей температуры охлаждающей жидкости с 20 до 14 мин, что в 1,43 раза меньше

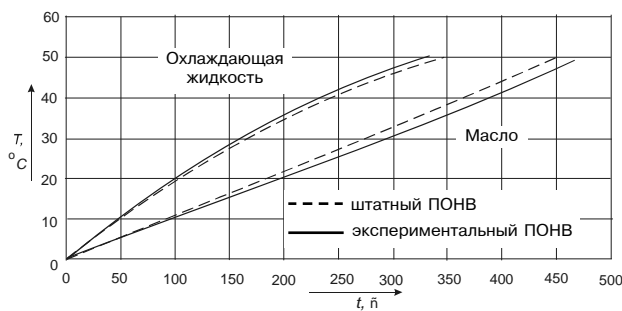


Рис. 4. Графики прогрева охлаждающей жидкости и масла

времени прогрева в условиях отрицательной температуры окружающей среды при штатной комплектации.

Интенсивность прогрева охлаждающей жидкости составляет:

- при использовании опытного охладителя — 0,1048 °C/с;
- при использовании штатного охладителя — 0,0733 °C/с;

Визуальное наблюдение отработавших газов показало, что «белый дым» при штатной комплектации трактора пропадает через 6 мин 40 с. При комплектации трактора ПОНВ с автоматическим регулятором температуры «белый дым» исчезает через 3 мин 40 с. Таким образом, применение частичного перепуска воздуха мимо решетки ПОНВ на режимах пуска и прогрева привело к сокращению выделения «белого дыма» на 3 мин или в 1,8 раза. Данный показатель косвенно свидетельствует об уменьшении токсичности отработавших газов и в частности выбросов СН.

В настоящее время разработан ряд регулируемых ПОНВ, в том числе для автомобилей и авто-

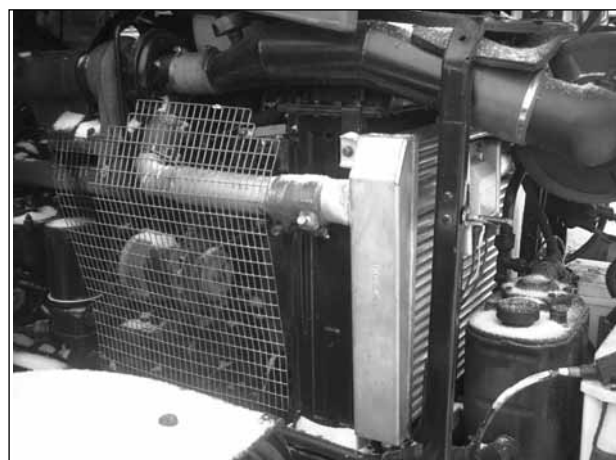
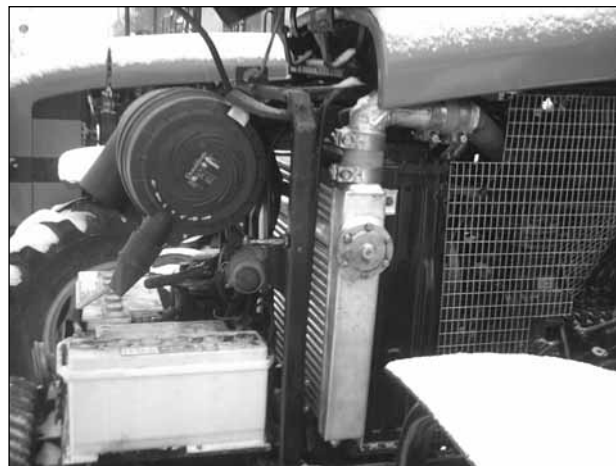


Рис. 5. Установка ПОНВ на тракторе

бусов производства ЗиЛ, ГАЗ, МАЗ, ПАЗ. Наиболее эффективное использование таких ПОНВ возможно в условиях, где наиболее вероятна отрицательная температура окружающей среды.

Литература

1. Основы теории автоматического регулирования: Учебник для машиностроительных специальностей вузов / В.И. Крутов, Ф.М. Данилов, П.К. Кузьмик и др.; Под ред. В.И. Крутова. 2-е изд., доп. и перераб. — М.: Машиностроение, 1984. — 368 с.
2. Хрипун Ю.Н. Расчет динамических характеристик воздухоохладителя как объекта с сосредоточенными параметрами // Двигателестроение. — 1988. — № 3. С. 31–32.
3. Вершина Г.А., Тамкович Е.С. Моделирование работы систем высокофорсированных дизелей. Вестник БНТУ № 5 2002 г. — С. 63–67.
4. Математическая модель САРЧ дизеля с наддувом. Материалы 2-й международной научно-технической конференции 21–23 мая 2003 г. Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств. Ч. 2. — Пенза: ПГАСА, 2003. — 500 с.
5. Патент РБ № 7914, МКИ F 02 В 29/04, 33/44. Турбокомпрессор с регулируемым давлением наддува. Вершина Г.А., Тамкович Е.С., Соловей Ю.В., Рудков-

- ский А.А. Информационный бюллетень «Изобретения, полезные модели и промышленные образцы» № 4. — Минск, 2005.
6. Разлейцев Н.С. Моделирование и оптимизация процессов сгорания в дизелях. — Харьков, 1980. — 165 с.
7. Слотин Е. И. Подогрев наддувочного воздуха турбопоршневого двигателя при низких температурах, Нииинформтяжмаш. Двигатели внутреннего сгорания. — 1978 г. — № 4. — С. 13–15.
8. Слотин Е. И. О влиянии условий окружающей среды на показатели работы транспортного дизеля с турбонадувом. Труды МАДИ. — М., 1978. Вып. 178. — С. 33–36.
9. Молодцов Н. И. Охлаждение наддувочного воздуха дизелей. — М.: Нииинформтяжмаш, 1966.
10. Заявка РБ № а20050223, МКИ F 02 В 29/04, 33/44 Двигатель внутреннего сгорания. Вершина Г.А., Тамкович Е.С., Жарнов В.М., Информационный бюллетень «Изобретения, полезные модели и промышленные образцы». — Минск, 2005. — № 3.