

УЛУЧШЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕПЛОВОЗНОЙ МОДИФИКАЦИИ ДИЗЕЛЯ 6ТД ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НАДДУВОЧНОГО ВОЗДУХА

С.А. Алёхин, первый зам. генерального конструктора,

Казённое предприятие "Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению", г. Харьков, Украина

В настоящее время железнодорожный транспорт Украины испытывает острую потребность в новых дизель-поездах (ДП), выполняющих основной объем пригородных и межобластных пассажирских перевозок на неэлектрифицированных участках дорог. Кроме того, в связи с выработкой ресурса возникла потребность в замене двигателей в силовых установках ДП находящихся в эксплуатации более 20 лет. Экономически наиболее целесообразно удовлетворить эти потребности возможно за счет модернизации уже доведенных базовых образцов дизелей отечественного производства. Это выгодно как производителю (снижаются затраты на разработку и организации производства), так и потребителю (есть опыт эксплуатации и ремонтная база).

В наибольшей степени комплексу требований к силовым установкам ДП удовлетворяет танковый дизель 6ТД (6ДН 12/2×12), разработанный Казенным предприятием "Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению" (КП ХКБД) и выпускаемый серийно ГП "Завод им. В.А.Малышева".

В КП ХКБД был проведен комплекс работ по адаптации указанного дизеля к работе в составе силовой установки ДП ДР-1А и ДЭЛ-01 [1]. В депо Полтава наработка дизель - поезда ДР-1А №297 с дефорсированным вариантом дизеля 6ТД на июнь 2003 г. составила более 8000 часов.

Принципиально важной особенностью танкового дизеля 6ТД является то, что он не имеет промежуточного охлаждения наддувочного воздуха после компрессора. Это вызвано трудностями размещения дополнительного теплообменника в ограниченном пространстве моторно-трансмиссионного отсека танка.

Основными направлениями совершенствоания

дизелей, в том числе и для подвижного состава, является улучшение эксплуатационной топливной экономичности, экологических характеристик, а также повышение ресурса.

Мировой и отечественный опыт создания и эксплуатации дизелей с наддувом [2] свидетельствует, что эффективным средством улучшения указанных выше показателей является применение промежуточного охлаждения наддувочного воздуха. Охлаждение наддувочного воздуха применяют, как правило, либо в целях повышения (форсирования) мощности, либо в целях улучшения экономических и экологических показателей, а также снижения тепловой напряженности основных деталей дизеля для повышения его моторесурса.

Таким образом, применение промежуточного охлаждения наддувочного воздуха является резервом для дальнейшего улучшения технико-экономических и экологических показателей модификации дизеля 6ТД, предназначенной для дизель-поезда, либо для его форсирования по мощности.

В КП ХКБД был разработан и изготовлен оригинальный кольцевой охладитель наддувочного воздуха (ОНВ), описание которого приведено в работе [3].

В целях оценки эффективности применения промежуточного охлаждения наддувочного воздуха на моторном стенде КП ХКБД был проведен комплекс экспериментальных исследований модификации дизеля 6ТД, предназначенный для дизель-поезда, с кольцевым охладителем наддувочного воздуха и без охладителя.

На рис. 1 - 3 показаны результаты указанных исследований.

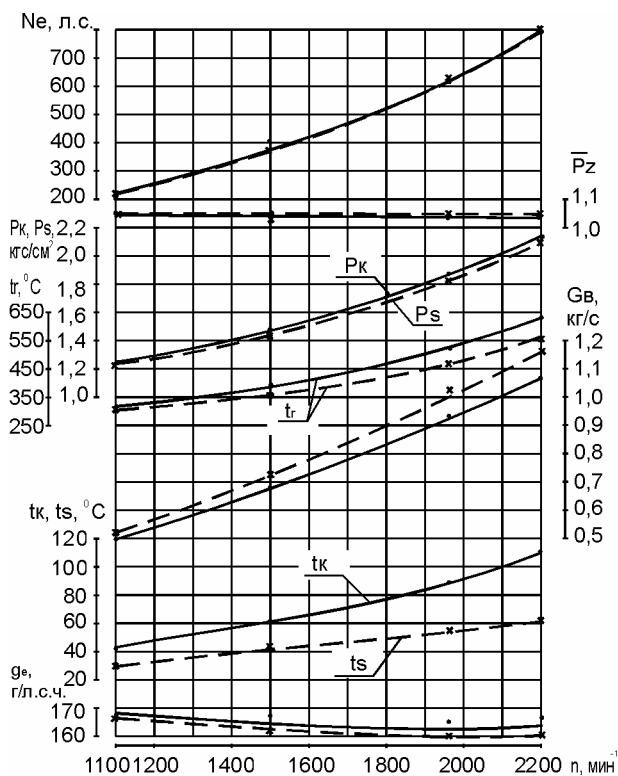


Рис. 1. Тепловозная характеристика дизеля 6ДП:

- базовый дизель;
- * — модернизированный дизель (с ОНВ)

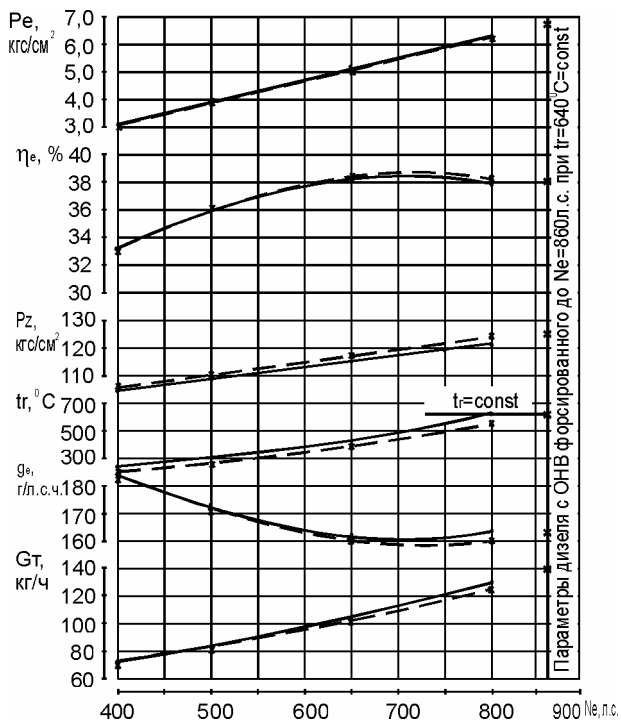


Рис. 2. Нагрузочная характеристика дизеля 6ДП при $n=2200 \text{ мин}^{-1}$:

- базовый дизель;
- * — модернизированный дизель (с ОНВ)

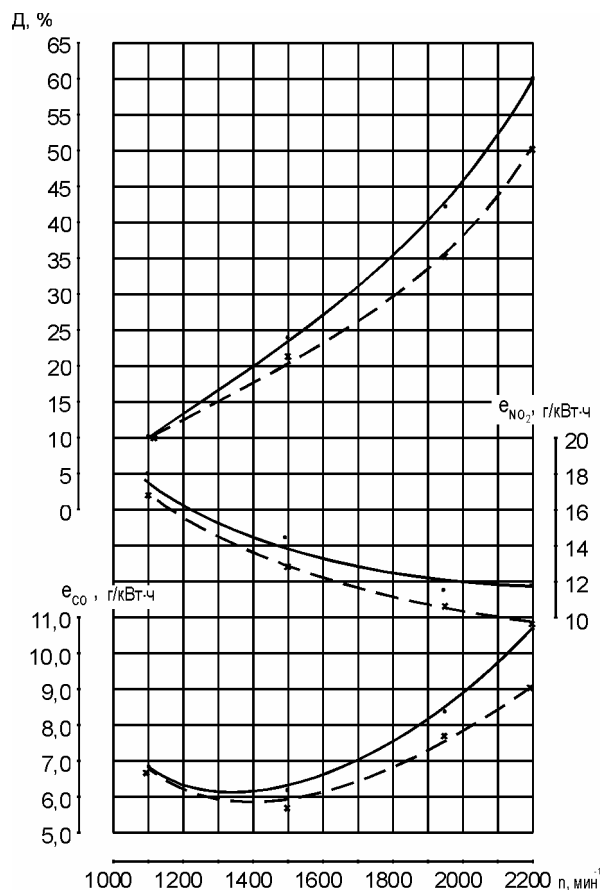


Рис. 3. Изменение экологических показателей дизеля 6ДП по тепловозной характеристике:

- базовый дизель;
- * — модернизированный дизель (с ОНВ)

Эффективные показатели дизеля

Анализ результатов показывает, что при отсутствии форсировки дизеля по мощности ($Ne=800 \text{ л.с.}=\text{const}$ на номинальном режиме при $n=2200 \text{ мин}^{-1}$) применение охладителя наддувочного воздуха с коэффициентом тепловой эффективности (КПД) $E_{ох.}=0,7$ и коэффициентом гидравлической эффективности $\sigma_{ох.}=0,98$ приводит к уменьшению температуры наддувочного воздуха со 110°C (при $\pi_k=2,21$ и температуре охлаждающей воды на входе в ОНВ, равной 40°C , и окружающего воздуха $t_{вс}=20^{\circ}\text{C}$) до 60°C (плотность наддувочного воздуха при этом возросла с $1,89$ до $2,12 \text{ кг/м}^3$), в результате чего расход воздуха через дизель увеличился с $1,08$ до $1,17 \text{ кг/с}$ (~ на 8%).

Увеличение плотности воздуха и расхода воздуха

обуславливают изменения следующих параметров рабочего процесса:

- увеличивается весовой заряд цилиндров воздухом, что приводит к росту коэффициента избытка воздуха для сгорания при $\text{Ne}=\text{const}$ и снижению средней температуры цикла;
- уменьшаются потери тепла в стенки цилиндра (теплоотдача в воду);
- увеличиваются период запаздывания воспламенения и максимальное давление сгорания P_Z ;
- увеличивается степень повышения давления и изменяется ряд других параметров.

Увеличение коэффициента избытка воздуха для сгорания и снижение потерь тепла в стенки оказывают решающее влияние на повышение индикаторного КПД (η_i) в результате улучшения процесса сгорания. Повышение η_i вызывает улучшение экономических и экологических показателей. Так, на номинальном режиме $n=2200 \text{ мин}^{-1}$ при $\text{Ne}=800 \text{ л.с.}=\text{const}$ с ОНВ удельный эффективный расход топлива уменьшился на $\sim 2,5\%$ (с 164 до 160 г/л.с.ч.).

Тепловые нагрузки дизеля

Увеличение коэффициента избытка воздуха для сгорания и уменьшение температуры наддувочного воздуха привело к существенному (на 70°C) снижению температуры выпускных газов (температура выпускных газов t_g является одним из косвенных оценочных критериев теплонапряженности основных деталей двигателей внутреннего сгорания).

Уровень тепловых нагрузок двигателя также часто оценивается параметром (Костина) K_t . Согласно расчетам уменьшение температуры наддувочного воздуха дизеля 6ДП с ОНВ на 50°C при прочих одинаковых показателях рабочего процесса приводит к снижению K_t на 12%.

Таким образом, понижение тепловых нагрузок дизеля 6ДП при применении ОНВ может быть использовано и в качестве способа повышения его ресурса.

Экологические показатели дизеля

Наряду с тепловой напряженностью в настоящее

время очень важным является вопрос токсичности выпускных газов.

Промежуточное охлаждение наддувочного воздуха, как было сказано выше, одновременно снижает среднюю температуру цикла, что сказывается на кинетике процессов образования оксидов азота (NO_x) и, соответственно, на снижении их содержания в выпускных газах [4].

На двигателе 6ДП был проведен комплекс экспериментальных работ по определению состава продуктов сгорания на выпуске по тепловозной характеристике. Из рис. 3 видно, что на номинальном режиме содержание оксидов азота с охладителем наддувочного воздуха меньше на 17% по сравнению с базовым вариантом дизеля без охлаждения наддувочного воздуха, дымность (\bar{D}) выпускных газов при этом уменьшается на 20% (отн.), а содержание окиси углерода (CO)- на $\sim 15\%$.

Тепловой баланс дизеля

Установлено, что охлаждение наддувочного воздуха оказывает влияние на тепловой баланс двигателя. При неизменной мощности двигателя и температуре охлаждающей жидкости помимо отмеченных выше изменений в рабочем процессе снижаются потери теплоты в систему охлаждения практически на ту же величину, какая характеризует уменьшение теплосодержания наддувочного воздуха (охлаждение воздуха практически не влияет на потери тепла в масло). Это дает возможность осуществить относительно незначительные изменения в системе охлаждения двигателя при применении промежуточного охлаждения наддувочного воздуха.

Показано, что при использовании промежуточного охлаждения на дизеле 6ДП на режиме номинальной мощности потери тепла в систему непосредственного охлаждения дизеля \bar{Q}_B снизились на $\sim 3,0\%$; при этом доля тепла, отнимаемого охлаждающей водой от наддувочного воздуха в ОНВ ($\bar{Q}_{\text{охл.возд}}$) составляет 3,75%. Снижение теплоотдачи в воду также косвенно подтверждает уменьшение тепловой нагрузки на де-

тали цилиндрично-поршневой группы.

Динамика цикла дизеля

В принципе, и это необходимо отметить, применение охлаждения наддувочного воздуха на дизеле 6ДП незначительно повлияло на увеличение максимального давления сгорания P_Z . На номинальном режиме P_Z увеличилось с 120 до 122 кгс/см² (на 1,5%). Такое малое изменение P_Z объясняется тем, что охлаждение наддувочного воздуха приводит, с одной стороны, к возрастанию периода задержки воспламенения, а значит, и к увеличению значения P_Z , но с другой стороны, наличие "горячих" жаровых накладок на поршнях двигателей типа 6ТД уменьшает период задержки воспламенения и уровень значений P_Z . К уменьшению P_Z приводит также и некоторое снижение давления наддува в ОНВ (коэффициент гидравлической эффективности холодильника $\sigma_{хол}=0,98$).

Тепловозная и нагрузочная характеристики дизеля

На рис. 1 и 3 представлено изменение параметров дизеля 6ДП по тепловозной характеристике с охлаждением и без охлаждения воздуха. Видно, что при всех представленных на ней режимах работы дизеля эффективные показатели при охлаждении воздуха улучшаются. Наибольший эффект от охлаждения воздуха наблюдается на номинальном режиме; с уменьшением частоты вращения коленвала (т.е. с уменьшением глубины охлаждения) и нагрузки эффективность охлаждения заметно снижается. На режимах холостого хода и малых нагрузках охлаждение воздуха становится нецелесообразным.

При работе по нагрузочной характеристике (рис.2) наибольшее повышение эффективного КПД (η_e) от охлаждения воздуха наблюдается при $\eta_e=100\%$, а с уменьшением нагрузки сходит на нет.

Форсирование дизеля

И последнее, в работе выполнена важная оценка по возможности дальнейшего форсирования дизеля 6ДП за счет применения промежуточного охлаждения наддувочного воздуха.

Из рис. 2 видно, что при условии сохранения температуры выпускных газов (т.е. теплонпряженности основных деталей) на уровне базового варианта ($t_r=640^0C=const$) возможно повышение мощности дизеля с ОНВ на 7,5% (с 800 до 860 л.с.).

Итак, анализ полученных результатов свидетельствует о том, что эффективным средством дальнейшего улучшения технико-экономических и экологических показателей, а также повышения ресурса тепловозможной модификации дизеля 6ТД при отсутствии его форсировки является применение промежуточного охлаждения наддувочного воздуха. Охлаждение наддувочного воздуха является также эффективным средством для форсирования дизеля по среднему эффективному давлению при сохранении тепловой и динамической напряженности основных деталей на уровне базового варианта дизеля без охлаждения наддувочного воздуха.

Литература

1. Конверсия специальных дизелей применительно к потребностям промышленности Украины / Н.К. Рязанцев, Ю.С. Бородин, С.А. Алехин, В.З. Дубровский, В.И. Фальков // Двигатели 21 века (23 – 26 сент 1996 г.): Материалы конгресса двигателестроителей Украины.- Харьков: ИмиС НАН Украины, 1996.- С. 11.
2. Рязанцев Н.К. Конструкция форсированных двигателей наземных транспортных машин: Уч. пособие.- Ч. 2.- Харьков: ХГПУ, 1996.- 388 с.
3. Кольцевой охладитель наддувочного воздуха для высокооборотных двухтактных транспортных машин типа 6ТД / Н.К. Рязанцев, С.А. Алехин, А.В. Борисенко, В.Н. Любченко // Двигатели внутреннего сгорания, 2003.- № 1.- С. 13-16. (ХПИ).
4. Филипов А.З. Токсичность отработавших газов тепловых двигателей.- К.: Вища школа.- 1980.- 160 с.

Поступила в редакцию 01.06.03

Рецензенты: канд. техн. наук, нач. сектора П.Я. Перерва, КП ХКБД, г. Харьков; д-р техн. наук, профессор А.П. Кудряш, ИПМаш НАН Украины, г. Харьков.