

ТЕПЛОТЕХНИКА

Р. С. АПВАЗЯН

ВЛИЯНИЕ ДИАПАЗОНА ИЗМЕНЕНИЯ ПРОХОДНОГО
СЕЧЕНИЯ СОПЛОВОГО АППАРАТА ТУРБОКОМПРЕССОРА
НА РАБОТУ ДИЗЕЛЯ ПРИ ВЫСОТНЫХ УСЛОВИЯХ

Из исследований топливного процесса дизелей установлено, что индикаторный η_i при постоянной степени сжатия и повышении давления практически однозначно определяется величиной действительного коэффициента избытка воздуха α [1], который, в свою очередь, зависит от действительного расхода воздуха через дизель. При работе дизеля на высотах для сохранения α в приемлемых пределах степени сжатия в компрессоре должна повышаться. Исследования подобного рода в настоящее время весьма актуальны и позволяют выявить влияние изменения площади проходного сечения сопла на мощность и крутящий момент двигателя в зависимости от высоты и будет являться предпосылкой для создания системы регулируемого турбонаддува.

В практике использования регулируемых турбин имеются отдельные вопросы, решения которых не могут считаться в настоящий момент удовлетворительными. К ним относится пониженная экономичность турбины с сопловым регулированием.

Работа регулируемого соплового аппарата с поворотными лопатками связана с уменьшением угла выхода потока α , при котором степень понижения давления в турбине π_t может оставаться постоянной, а угол атаки потока на входе рабочих лопаток — возрасти. В целом, уменьшение α приводит к изменению всех параметров потока в турбине, а рост угла атаки и уменьшение степени реактивности — увеличению профильных и суммарных потерь проточной части [2]. Следовательно, работа турбины в условиях пониженного давления с уменьшением α , и расхода G_t может сопровождаться снижением и ухудшением преемственности турбины.

Оптимальное проходное сечение соплового аппарата турбины, в основном, зависит от изменения плотности газа перед турбиной и коэффициентов наполнения и продувки. Его можно определить, исходя из равенства расходов газа через турбину и воздуха в двигателе.

Расход газа через турбину определяется из соотношения:

$$G_t = \rho F_t \gamma_2 \sqrt{2gH_t}, \quad (1)$$

где γ_2 — плотность газов за турбиной; H_2 — адиабатический напор перед турбиной; μF_T — пропускная способность турбины, а расход воздуха через дизель равен:

$$G_a = K \cdot n_2 \cdot \gamma_k \cdot \eta_v \cdot \varphi, \quad (2)$$

где K — постоянная величина для данного дизеля. Удельный вес воздуха после компрессора:

$$\gamma = \frac{P_2}{R_s T_2}, \quad (3)$$

где P_2 и T_2 — давление и температура наддувочного воздуха.

Учитывая понижение давления в воздушном тракте дизеля, получим:

$$\gamma_k = \frac{z_{am} \cdot P_0 \cdot \pi_v}{R_s T_0 \left(1 + \frac{\pi_k^{\frac{n-1}{k}} - 1}{\gamma_{ad}} \right)}, \quad (4)$$

где P_0 и T_0 — давление и температура окружающего воздуха; z_{am} — коэффициент сопротивления впускной системы.

Приравнявая уравнения (1) и (2), получим:

$$\mu F_T = \frac{k \cdot n_2 \cdot \gamma_k \cdot \eta_v \cdot \varphi}{\gamma_2 V \sqrt{2gH_2}}. \quad (5)$$

Обозначив соответствующие параметры на уровне моря индексом «0», определим относительное значение μF_T :

$$\frac{\mu F_T}{\mu F_{T_0}} = \frac{n_2 \cdot \gamma_k \cdot \eta_v \cdot \varphi \cdot \gamma_{2_0}}{n_{2_0} \cdot \gamma_{k_0} \cdot \eta_{v_0} \cdot \varphi_0 \cdot \gamma_2} \quad (6)$$

или

$$\frac{\mu F_T}{\mu F_{T_0}} = \frac{n_2 \cdot \gamma_k \cdot \eta_v \cdot \varphi}{\gamma_2}.$$

Таким образом, для оценки требуемого диапазона изменения пропускной способности турбины от оптимального значения для нормальных условий к соответствующим значениям для различных высот необходимо определить параметры, входящие в уравнение (6).

Значение относительных величин коэффициентов наполнения η_v и продувки φ при постоянном числе оборотов n_2 изменяются пренебрежимо мало. Следовательно, для компенсации потери мощности на высоте необходим рост γ_k , что можно представить в следующем виде:

$$\gamma_k = \frac{\gamma_{k_0}}{1 + \frac{\pi_k^{\frac{n-1}{k}} - 1}{\gamma_{ad}}}.$$

Очевидно, что величина γ_1 не зависит от P_0 и T_0 и отражает изменение как π_k , так и *кпо* γ_{k2} . Отношение $\frac{\gamma_k}{\gamma_2}$ зависит прежде всего от α и части тепла, отводимого газами. При постоянных конструктивных параметрах ротора турбины турбокомпрессора пропускная способность и проходное сечение соплового аппарата турбины связаны прямопропорциональной зависимостью (1). Поэтому, изменяя проходное сечение соплового аппарата, изменится пропускная способность и увеличится мощность турбины, а, следовательно, и давление наддува P_k .

Площадь сечения соплового аппарата турбины можно определить по формуле (1) и $\mu F_1 = z_1 \varphi \cdot F_c \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \sqrt{1-\rho}$ [2]:

$$F_c = \frac{G_r}{\gamma_1 z_1 \gamma_2 \sqrt{2gH_r(1-\rho)}}, \quad (7)$$

где $z_1 = 1-1,1$ — коэффициент, равный отношению полного напора, срабатываемого в соплах, к статистическому; $\varphi = 0,94-0,97$ — коэффициент скорости в соплах; $\rho = 0,45-0,5$ — степень реактивности турбины; γ — плотности газов перед турбиной.

Если обозначить нормальное (заводское) проходное сечение соплового аппарата турбины F_n , то относительное значение на данной высоте выразится:

$$\bar{F}_c = \frac{F_{opt}}{F_n}.$$

где F_{opt} — оптимальное проходное сечение соплового венца турбины на данной высоте при выбранном режиме работы дизеля

Экспериментальное исследование влияния атмосферных условий на тракторный дизель проводились на четырехтактном двигателе А-41 без наддува и газотурбинным наддувом при нормальном и варьируемом проходном сечении соплового аппарата турбины.

На всех видах испытаний максимальные величины часовых расходов топлива оставались постоянными. Подготовительные работы стенда с дизелем, а также снятие серии характеристик были выполнены в лаборатории двигателей ЮФ на высоте 1250 м над уровнем моря с последующими переездами на другие высоты (750, 2000 и 3250 м). Двигатель после обкатки испытывался в полной комплектации (вентилятор, генератор, радиатор, воздухоочиститель). Для проведения полной программы исследования разработана и изготовлена передвижная тормозная установка, которая была создана на базе высокопроходимого автомобиля КрАЗ-255Б.

Пределы изменения проходного сечения соплового аппарата были установлены предварительными расчетами. Изменение сечения достигалось изменением высоты лопаток соплового аппарата турбины путем

шлифования их до нужного размера. Для компенсации изменений высоты лопаток были применены специально изготовленные плоские кольца.

Дизель А-41 с турбонаддувом в высотных условиях при сохранении часового расхода топлива и применении соплового аппарата с оптимальным сечением дает возможность частичного восстановления потерянной мощности с существенным обогриванием рабочего процесса (рис. 1).

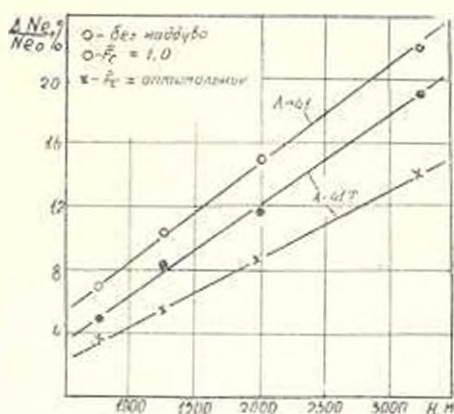


Рис. 1. Зависимости относительного изменения мощности дизелей А-41Т ($N_e = 112$ л. с.) и А-41 ($N_e = 90$ л. с.) от высоты над уровнем моря, H .

Для безнаддувного варианта коэффициент наполнения η_v с повышением высоты несколько ухудшается, понижаясь от 0,825 на высоте 750 м до 0,785 на высоте 3250 м (рис. 3). Уменьшение η_v с высотой происходит за счет того, что по мере увеличения разрежения воздуха уменьшается масса, и, следовательно, скорость впуска воздуха в цилиндры двигателя. Вследствие этого повышаются потери во время такта впуска, несмотря на некоторое улучшение очистки цилиндров от остаточных газов.

Изменение η_v с наддувом при $F_c = 1$ в сравнении с F_{opt} незначительно и в тех же пределах изменения высоты несколько повышается, достигая значения 0,91. Незначительное ухудшение η_v при оптимальном F_c происходит вследствие уменьшения отношения P_x/P_c (относительное повышение ΔP_x) в связи с уменьшением сечения соплового венца турбины.

Выводы

1. Применение турбонаддува на дизеле А-41 при работе в высотных условиях весьма эффективно, т. к. позволяет не только повысить эффективную мощность и улучшить топливную экономичность двигателя, но и создает благоприятные условия для протекания рабочего процесса.

Положительный эффект от применения турбонаддува с увеличением высоты становится более ощутимым.

2. Работа дизеля в этих условиях сопровождается некоторым саморегулированием турбины (повышение частоты вращения турбокомпрессора), которое на каждой высоте, вследствие увеличения температуры газов перед турбиной и уменьшения противодавления за турбиной, приводит к увеличению степени повышения давления в компрессоре. Несмотря на это, показатели дизеля при работе на высотах значительно ухудшаются.

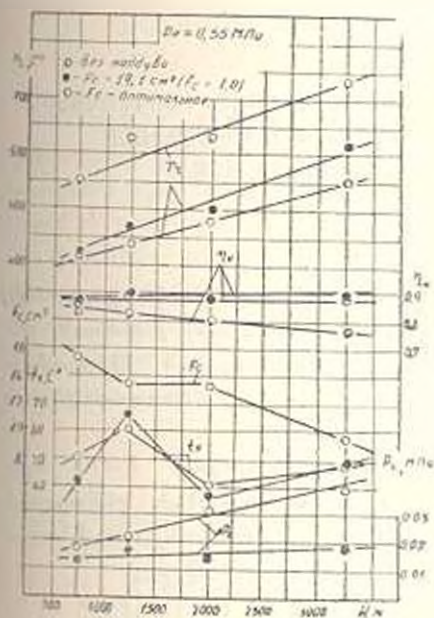


Рис. 2. Сравнительная высотная характеристика дизеля А-41Т при $n = 1750$ об/мин: —○— при нормальном (заводском) проходном сечении соплового аппарата турбины, --- при оптимальном проходном сечении соплового аппарата турбины на каждой высоте.

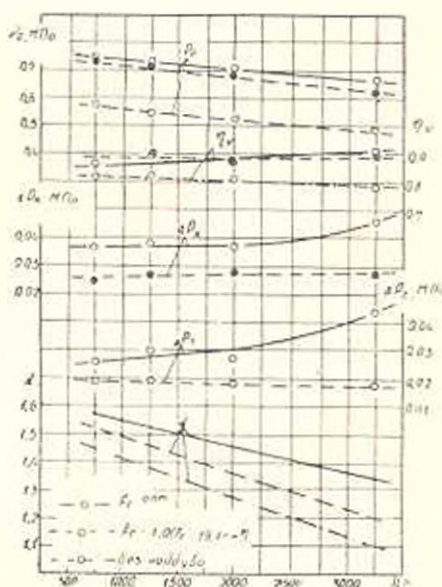


Рис. 3. Зависимости среднего эффективного давления P_e , коэффициента наполнения η_v , избыточных давлений наддува P_k и газов перед турбиной ΔP_t и коэффициента избытка воздуха α от высоты над уровнем моря, H .

3. Для данной высоты эффективные показатели двигателя и ТК имеют наилучшие значения при оптимальном проходном сечении соплового аппарата турбины при условии, если отношение давления наддува к давлению газов перед турбиной не меньше 1.05—1.1. Для двигателя А-41 с ТК ТКР-11ЧТЗ установлены следующие оптимальные значения проходного сечения соплового аппарата турбины: от 750 до 1700 м — 15,5 см²; от 1700 до 2500 м — 12,2 см²; от 2500 до 3300 м — 10,1 см².

4. Увеличение количества подаваемого в дизель воздуха (при $\eta = \text{const}$) при работе дизеля А-41Т с оптимальным сечением соплового аппарата приводит к повышению эффективной мощности и снижению удельного расхода топлива на каждой высоте в следующих пределах:

$H = 750 \text{ м} - \Delta N_e/N_{e0} = 3,35\%$ и $\Delta g_e/g_{e0} = 3,65\%$; $H = 1250 \text{ м} - 3,92$ и $3,55\%$; $2000 \text{ м} - 3,53$ и $3,57\%$; $3250 \text{ м} - 5,56$ и $4,04\%$.

5. Установленные значения оптимальных проходных сечений сопловых венцов могут служить основой не только для перенастройки ТК ТКР-11 на различные высоты, но и предпосылкой для создания и осуществления системы регулируемого наддува дизеля А-11Т при работе в высотных условиях.

КОФ ЦНПО НАТИ

25. VII 1982

И. И. ԱՅՎԱԶՅԱՆ

ԲԱՐՁՐՈՒՆՔԱՅԻՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ ՏՈՒՐՐԵՈՎՈՐԵՍՈՐԻ ՓՈՂԱԿԱՅԻՆ ՈԱՐՔԻ ԱՆՁՈՒՄԱՆ ԿՏՐՎԱԾՔԻ ՓՈՓՈԽՄԱՆ ԴԻԱՊԱԶՈՆԻ ԱԶԳԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԴԻԶԵԼԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՎՐԱ

Ա. մ. փ. ո. փ. ո. մ.

Հոգաւածում շարադրւած են դիզելի ներմղման ճնշման կարգավորման հնարավորութիւնները՝ կախւած ծովի մակերեւոյթից տարբեր բարձրութիւններից: Տեսականորեն հիմնաւորւած տվյալները հաստատւած են իրական բարձունքային պայմաններում կատարւած փորձարարական հետազոտութիւնների միջոցով:

Արդյունքում պարձնական առաջարկութիւններ են արվում А-11Т շարժիչը ТКР-11 աւարտիումըրեսորի հետ համառոտ աշխատանքի ընթացքում հոդրութիւն կորստի փոխհատուցման, ինչպես նաև վառելանյութի խնայողութիւն լավացման համար, կախւած բարձունքային պայմաններից:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Портнов Л. А. Быстрходные трубопоршневые двигатели с воспламенением от свечи. М.: Машино, 1963. 267 с.
2. Иванченко И. И. Наддув дизелей с камерами в поршнях. Труды ЦНИДИ, ОНТИ, вып. 10, 1960 — 42 с.