

*С.А. Алёхин, канд. техн. наук, Д.Ю. Бородин, канд. техн. наук.,  
П.Е. Куницын, канд. техн. наук.*

## АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ МНОГОТОПЛИВНОСТИ ДИЗЕЛЕЙ ТИПА 5ТДФ

Возможность бесперебойной и эффективной работы дизелей на любом, имеющемся в наличии товарном топливе, может иметь решающее значение в сложной обстановке. На дизелях типа 5ТДФ в течение длительного времени проводились интенсивные исследовательско-конструкторские работы по многотопливности с целью поиска и отработки конструкторских мероприятий, обеспечивающих возможность практического применения в условиях рядовой эксплуатации автомобильных бензинов и топлив для реактивных ГТД.

Анализ отечественного и зарубежного научно-технического задела по этой проблеме сводился к следующим основным положениям:

- в связи с большими различиями физико-химических свойств бензинов и дизельных топлив (плотность, вязкость, испаряемость) для работы на бензине требуется вмешательство в конструкцию топливной аппаратуры;

- ухудшение самовоспламеняемости приводит к необходимости предусмотреть конструкторские ме-

роприятия по обеспечению пуска и параметров рабочего процесса;

- данные по влиянию длительной эксплуатации на бензине на износ основных элементов дизелей противоречивы и недостаточны.

Исходя из этого анализа экспериментальные работы предусматривали: систематический контроль физико-химических свойств различных сортов топлив, поступавших на испытания, для последующего статистического обобщения, экспериментальные исследования процесса топливоподачи, экспериментальные исследования параметров дизелей и испытания на надежность.

### Основные физико-химические свойства

Все партии товарных топлив, предназначенных для испытаний, подвергались физико-химическому анализу. В результате обобщения полученных данных (более 20 партий каждого сорта от различных поставщиков) получены следующие результаты, табл. 1.

Таблица 1. Пределы значений основных физико-химических свойств партий топлив

Характеристика топлива	Дизельное	Бензин А-76	ТС-1
Плотность при 20 °С, г/см <sup>3</sup>	0,805...0,865	0,7...0,745	0,775...0,78
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с	3,0...4,5	0,5...0,6	1,3...1,4
Цетановое число	45...55	23...24	42...43

Как видно из таблицы бензины одного сорта также как и дизельные топлива могут существенно отличаться по плотности. Поэтому при назначении мощностно-экономических параметров при работе на бензине в технических требованиях и при сопос-

тавлении получаемых результатов необходимо учитывать эти различия.

Практическая реализация этого положения для серийного производства потребовала экспериментальной отработки таблиц приведения параметров дизелей по плотности и температуре бензина (анало-

гичных применяемым таблицам приведения на дизельном топливе).

Физико-химические показатели топлив для ГТД различных поставщиков и производителей практически не отличаются, что обеспечивает высокую стабильность и повторяемость показателей дизелей при работе на этих топливах. Как показали все дальнейшие исследования применение этих сортов топлив для дизелей не встречает проблем.

### Параметры подачи топлива

Работа топливного насоса на бензине при регулировке, соответствующей дизельному топливу со-

провождается снижением производительности на 17...20 %, вследствие существенных различий этих топлив по плотности, вязкости, сжимаемости и др. Увеличение давления подкачки с 0,1 до 1 МПа не приводит к увеличению производительности. Из этого следует, что для обеспечения приемлемого уровня мощности дизеля при работе на бензине конструкция топливного насоса должна иметь достаточный резерв по увеличению производительности за счет увеличения активного хода плунжера.

При одинаковой массовой производительности имеет место следующее изменение параметров топливоподачи, табл. 2.

Таблица 2. Значения параметров подачи топлива (числитель - режим  $N_{e \max}$ , знаменатель - режим  $M_{кр \max}$ )

Параметр	Дизельное топливо	Бензин А-76
Давление впрыскивания, МПа	$\frac{78,5}{60}$	$\frac{57}{45,5}$
Продолжительность впрыскивания, град.	$\frac{23,5}{20}$	$\frac{28,6}{24,1}$
Запаздывание действительного начала подачи от геометрического, град.	$\frac{8,8}{6,3}$	$\frac{11,6}{8,8}$

Из приведенных данных видно, что при компенсации производительности за счет увеличения активного хода плунжера продолжительность подачи и запаздывание на бензине существенно увеличиваются

Полученные результаты в большей или меньшей мере характерны для всех типов дизелей, что является одной из главных причин неизбежного ухудшения мощностно-экономических параметров при работе на бензине. Гипотетически обеспечение параметров впрыскивания на бензине, аналогичных таковым при работе на дизельном топливе, может быть достигнуто путем комплектовки ЗИП дизеля дополнительным специальным комплектом топливной аппаратуры и установкой его в эксплуатации при необходимости, что для дизеля спецназначения неприемлемо. Практически единственным общеприня-

тым средством компенсации ухудшения параметров топливоподачи при работе на бензине является реализация увеличения активного хода плунжера различными конструкторскими решениями.

### Особенности работы дизеля при применении бензинов

Пуск дизеля на бензине затруднен. Общепринятым средством улучшения пуска является увеличение степени сжатия и подогрев всасываемого воздуха. На дизелях типа 5ТДФ, имеющих систему впрыскивания масла в цилиндры для повышения степени сжатия и систему факельного подогрева, проблема пуска на бензине А-76 решена путем увеличения количества впрыскиваемого масла в цилиндры перед пуском. Проверялись и другие способы облегчения пуска, из которых самым эффективным и, относи-

тельно легко реализуемым конструктивно, признан способ подмешивания 10...15 % смазочного масла на вход в топливный насос высокого давления на период пуска и прогрева. Широкой экспериментальной проверкой этого способа отрицательного влияния на элементы топливной аппаратуры не обнаружено.

В отличие от работы на дизельном топливе пуск прогретого дизеля, остановленного после работы на бензине, невозможен без прокачки давлением не менее 0,1 МПа из-за повышенной испаряемости. Практически проблема решена общепринятым способом: установкой электрического подкачивающего насоса, который должен быть включен постоянно как при работе дизеля, так и во время кратковременной (до одного часа) остановки дизеля.

Минимальная устойчивая частота вращения дизеля на холостом ходу при работе на бензине должна быть установлена выше на 20...30 % для исключения работы с пропусками вспышек. Практическая реализация этого положения достигнута путем внесения соответствующего положения в инструкцию по эксплуатации.

Максимальное давление сгорания при работе на бензине А-76 на 10...12 % ниже, чем на дизельном топливе вследствие увеличения запаздывания действительного угла начала подачи топлива на 2,5...3. Установка механизма увеличения угла опережения подачи топлива при переходе на бензин позволяет обеспечить одинаковый уровень максимального давления сгорания при работе на бензине и дизельном топливе и некоторое улучшение параметров, однако комплексная оценка целесообразности внедрения такого механизма на дизеле 5ТДФ дала отрицательный результат.

Скорость нарастания давления при работе на бензине А-76 находится в пределах 0,3...0,37 МПа и не превышает значений, полученных на дизельном топливе, что объясняется высокой температурой наддувочного воздуха 130 °С и наличием жаровых

накладок на поршнях.

Мощность при работе на бензине на номинальной частоте вращения ниже на 20 %, а на частоте вращения, соответствующей режиму максимального крутящего момента, ниже на 10 % чем на дизельном топливе, рис. 1.

Как показали многочисленные испытания в условиях реальной эксплуатации такой уровень мощности вполне приемлем, т.к. обеспечивает решение поставленной перед экипажем задачи и требует минимального времени переключения дизеля для работы на бензине.

В процессе отработки многотопливности накоплен значительный опыт и при проверке других направлений: добавления к бензину присадок, увеличивающих цетановое число, использования бензинов в смесях с маслом, дизельным и реактивным топливами, подогрева воздуха на впуске. Полученные результаты могут найти практическое использование, однако до настоящего времени не востребованы реальной эксплуатацией.

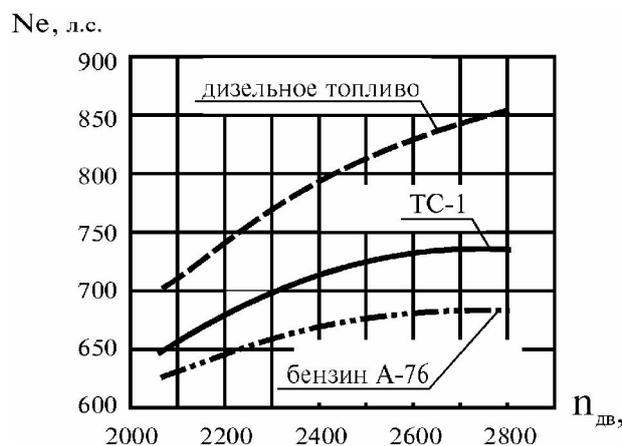


Рис. 1. Изменение мощности дизеля 6ТД-1 по внешней характеристике на различных сортах топлива

### Надежность при работе на бензине

За все время работы на бензине при стендовых испытаниях и в эксплуатации случаев схватывания плунжерных пар, разжижения масла или увеличения расхода масла на угар не отмечено.

Износы зеркала цилиндров, корпусов поршней и колец не превышают износов, имеющих место при работе на дизельном топливе.

Вместе с тем обнаружено, что при длительной работе на отдельных партиях бензина А-76 отмечается закоксовывание сопловых отверстий распылителей, для борьбы с которым пришлось ограничить время непрерывной работы на бензине тридцатью часами, после чего обязателен переход на дизельное

топливо или топливо ТС-1. Общая наработка на бензине ограничена одной третьей наработки на дизельном топливе.

### Вывод

Отработан и прошёл всестороннюю проверку комплекс конструкторских мероприятий, позволивший обеспечить на дизелях типа 5ТДФ возможность практического применения в условиях рядовой эксплуатации автомобильных бензинов и топлив для реактивных ГТД наряду с дизельным топливом.

УДК 621.43

*Ю.В. Сторчеус, канд. техн. наук, А. В. Черных, М. А. Брянцев*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА УТИЛИЗАЦИОННОЙ ТУРБИНЫ НА НЕРАСЧЕТНЫХ РЕЖИМАХ

В настоящее время остро стоит вопрос о экономии энергоресурсов. Одним из путей решения данной проблемы является утилизация сбросной тепловой энергии. В качестве цикла утилизации такой энергии наиболее высоким КПД характеризуется цикл Ренкина с полной конденсацией пара [1].

При проектировании систем утилизации функционирующих по циклу Ренкина, одним из ключевых вопросов является определение характеристик паровых турбин на нерасчетных режимах.

Определение данных характеристик экспериментальным путем сопряжено со значительными материальными затратами. Кроме того, экспериментальные исследования не всегда дают возможность получить такие параметры как степень реактивности  $r$ , степени деформации треугольников скоростей в

характерных сечениях турбины, изменение характеристического параметра  $\left(\frac{U}{C_{ad}}\right)$ , особенно на нерасчетных режимах.

В данной работе была поставлена задача разработки методики расчета характеристик турбины при отклонении режима работы от номинального.

Традиционно, исходными данными к расчету турбин являются [2,3]:

- массовый расход рабочего тела через турбину  $G_0$ ;
- термодинамическими показателями рабочего тела на входе в турбину  $P_0, T_0, C_p, R$ , а также давлением за турбиной  $P_2$ ;
- оптимальной для данной конструкции турбины степени реактивности  $r$  и характеристическим