

05.11.13

# АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРОНАСОСНОГО АГРЕГАТА ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЯЗКОСТИ ТОПЛИВА

Е.Н. Малышев, В.В. Калмыков, В.Н. Атрощенко, Е.Д. Степанов

Калужский филиал ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», Россия, Калуга, ул. Баженова, д. 2

Показаны необходимые характеристики испытываемых видов топлива АИ-80, ТС-1 и Л-0,2. Рассмотрено влияние температуры топлива, силы тока, напряжения, давления на входе и выходе у электронасосного агрегата на производительность изделия при его работе на каждом виде топлива. В качестве инструмента для определения производительности и регулирования необходимых параметров агрегата применялся испытательный стенд, имитирующий работу электронасосного агрегата в составе изделия, изготовленный на ПАО «КАДВИ». Установлено что электронасосный агрегат обеспечивает работоспособность на всех видах топлива за установленный период времени без замечаний. Выявлена зависимость производительности изделия от кинематической вязкости применяемого топлива. Выявлено топливо, при котором электронасосный агрегат обеспечивает наибольшую производительность при всех прочих параметрах, установленных на одинаковом уровне.

*Ключевые слова:* электронасосный агрегат, производительность, топливо.

## ВВЕДЕНИЕ

Особое значение для обеспечения стабильной работы дизелей имеет топливная аппаратура. В отличие от двигателей с внешним смесеобразованием основным недостатком дизелей является сложность конструкции топливной системы и трудоемкость в определении ее технического состояния. Состояние топливной системы оказывает решающее влияние на все показатели работы дизелей – их мощность, расход топлива, величину механических и тепловых нагрузок и, как следствие, на надежность и токсичность отработавших газов. По данным различных источников от 25 до 50 % отказов у дизелей происходит вследствие неудовлетворительной работы топливной системы [1]. Ухудшение показателей топливopодачи, влияющих на работу дизеля, происходит по нескольким причинам: из-за износа и изменения состояния деталей, определяющих настраиваемые показатели (изменение жесткости пружин, регулировочных зазоров и др.), а также ввиду отклонения регулировочных показателей в процессе эксплуатации.

Тенденция к форсированию тепловозных и судовых дизелей по среднему эффективному давлению за счет наддува приводит к необходимости увеличения расхода топлива в линиях низкого давления при сохранении основных конструктивных размеров дизелей.

С другой стороны, практика эксплуатации и опыт [1, 2] показывают, что реальный процесс наполнения надплунжерного пространства топливного насоса высокого давления тепловозных и судовых дизелей является нестационарным. При этом уровень давления и скорости в различных сечениях топливного коллектора и всей линии низкого давления в период рабочего цикла неодинаков, непрерывно изменяется и может

существенно отличаться от усредненных значений. Неустановившийся характер течения топлива в топливный корректор и линию низкого давления определяется в основном тремя причинами: разгоном потока топлива в период быстрого открытия и наполнительных окон втулок плунжеров, выталкиванием топлива в период нагнетающего хода плунжера и истечением топлива через отсечные окна. Возможно влияние в линии низкого давления волн давления от работы автономного топливоподкачивающего насоса, а также влияние физических свойств жидкого топлива (вязкости, сжимаемости, плотности), значения которых могут существенно различаться для альтернативных видов топлива [1 – 4]. Взаимовлияние указанных процессов приводит к возникновению колебаний давления и скорости, к разрывам сплошности потока, к увеличению степени неравномерности наполнения надплунжерного пространства и к ухудшению экономичности работы дизеля [2 – 4].

В настоящее время существует недостаток информации по сравнению производительности насоса на различном рабочем топливе. При этом актуальность таких исследований крайне велика, так как необходимо обеспечить работу на заданных параметрах при различных внешних воздействиях. К примеру, электронасосный агрегат устанавливается на ГТД 9И56М-9, ГТА-40, СЭС-75, которые используются для обеспечения электроснабжения на аэродромах - ТС-1, в полевых условиях на шахтах добычи минералов - Л-0,2 или смесь автомобильного топлива АИ-80 и 10% дизельного топлива Л-0,2. Помимо этого важно учитывать возможность работы агрегата в различных погодных условиях, а именно температурных диапазонах (от.... до 65).

**ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

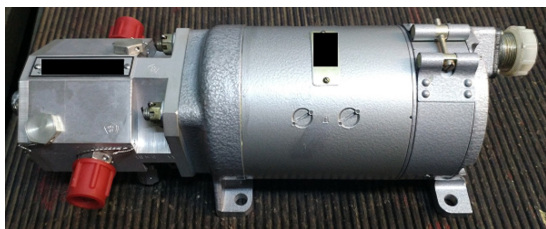
Ключевым параметром изделий типа «насос» является их производительность. Для начала выпуска таких изделий необходимо знать фактическую производительность. Испытания по замеру производительности связаны с такими трудностями как необходимость в узкоспециализированном оборудовании, предназначенном для конкретного агрегата или группы агрегатов.

Одним из параметров, влияющих на производительность, является теплотворная способность топлива. В таблице 1 представлены следующие виды топлива:

**Табл. 1. Теплотворная способность топлива**

Топливо	q	
	МДж/кг	ккал/кг
Бензин	44-47	10500-11200
Дизельное топливо	42,7	10200
Топливо для реактивных двигателей самолетов (ТС-1)	42,9	10250

В качестве объекта исследования был рассмотрен электронасосный агрегат ЭНА-300 предназначенный для работы на различных видах топлива (Л-0,2, ТС-1, смесь АИ-80 и Л-0,2), следовательно, и производительность необходимо замерять на всех вариантах используемого топлива.



**Рис. 1. Электронасосный агрегат**

Основные параметры топлива приведены в таблице 2.

**Табл. 2. Основные параметры топлива**

Наименование топлива	Л-0,2	ТС-2	АИ-80
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с	3-6	1,3	0,5-0,7
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup> , не более	860	780	725-780
Октановое число	-	-	80
Цетановое число, не менее	45	-	-
Высота некопящего пламени, мм, не менее	-	25	-
Температура застывания, °С, не выше	-10	-50	-
Кислотность, мг КОН на 100 см <sup>3</sup> топлива, не более	5	0,7	3
Содержание воды	Отсутствие	Отсутствие	Отсутствие
Содержание механических примесей и воды	Отсутствие	Отсутствие	Отсутствие

Испытания проводились на стендах СИП ГТД ПАО «КАДВИ»: 600 часов на доработанном стенде для испытаний ЭНА-300, 894 час.на стенде для периодических испытаний и 6 час. на бензиновом стенде для периодических испытаний, имитирующего высоту до 3 км.

Испытательный стенд представляет собой установку имитирующую работу электронасосного агрегата в составе изделия. Также стенд позволяет изменять рабочие параметры агрегата. Стенд является автономным благодаря встроенной системе подачи топлива и установленному насосу для первичной подачи давления в систему. Испытательный стенд представлен на рисунке 2.



**Рис. 2 Стенд для испытаний электронасосного агрегата**

Испытания проводились по программе-методике периодических испытаний в объеме 1500 часов, при этом продолжительность включения с 66 по 73 циклов было одно на 48 часов (непрерывная работа).

Последовательность работ и результаты испытаний представлены в Таблице 3.

**Табл. 3. Параметры электронасосного агрегата ЭНА-300**

№ циклов (включений)	Вид топлива	t, °С	P		U, В	I, А	Q, л/мин	Примечание
			P <sub>вх</sub>	P <sub>вых</sub>				
ПСИ		20	0	1,8	27	6	0	Работа в гупик
1	Дизельное, топливо. Л-0,2	20	-0,01	0,6	26,5	5	10,1	Непрерывная работа 48 час.
10		30	-0,01	0,6	26,8	4,5	9,5	
66... 73		20	-0,01	0,6	26,5	4,3	9,6	
100		30	-0,02	0,6	26,7	4,4	9,7	
124		28	-0,01	0,6	26,0	4,5	9,3	

136	Реактивное топливо ТС-1	28	-0,01	0,6	26,5	4,3	8,8		
		28	-0,1	1,4	24,5	4,5	3,2		
203		67	-0,01	0,6	26	4,4	9,5		
		67	-0,1	1,4	24,5	4,6	3,42		
211	Дизельное, топливо Л-0,2	67	-0,01	0,6	26	4,4	8,55		
		67	-0,1	1,4	24,5	4,6	2,17		
226	Смесь автомобильного, бензина АИ-80 с 10% дизельного, топлива Л-0,2	20	-0,01	0,6	26	4,3	8,42		
		20	-0,1	1,4	26	4,5	2,47		
249		21	-0,01	0,6	26	4,5	8,56		
		21	-0,1	1,4	24,5	4,6	3,06		
250	Смесь автомобильного бензина АИ-80 с 10% дизельного топлива Л-0,2	25	-0,36	1,4	27	4,5	3,66	* Давление в, баке Имитация высоты до 3 км При давлении в баке с -0,22 кгс/см <sup>2</sup> и ниже из топлива выделяются пузырьки воздуха Работа в тупик	
			-0,34*						
		25	-0,17	1,4	27	4,5	6,33		
			-0,1*						
		25	-0,07	1,4	27	4,5	7,0		
			0*						
		25	-0,3	1,4	27	4,5	4,16		
			-0,22*						
		25	-0,32	1,4	24,5	4,5	3,9		
			-0,25*						
		25	-0,15	1,4	24,5	4,5	5,6		
			-0,1*						
25	-0,1	1,8	27	5	0				

Где  $U$  – напряжение,  $P_{вх}$  – давление входа,  $P_{вых}$  – давление выхода,  $I$  – сила тока,  $Q$  – подача,  $t$  – температура топлива.

Работа редукционного клапана в тупик: режим работы клапана, используемый в процессе его настройки на стенде завода изготовителя. Для этого перекрывался основной слив топлива из агрегата, из-за чего всё давление подкачки направлялось в клапан. Клапан имеет регулировочный винт, поворот которого устанавливает необходимую затяжку пружины клапана, соответствующую настроенному давлению открытия клапана [7].

В ходе испытаний замечаний по запуску, работе и параметрам электронасосного агрегата ЭНА-300 на всех видах топлива, при разных температурах топлива и при имитации высоты до 2,5 км не было. За все время испытаний через дренажный штуцер капельных течей не обнаружено.

Производительность насоса на дизельном топливе при настройке редукционного клапана насоса на 1,8 кгс/см<sup>2</sup>, давлении на выходе из насоса 1,4 кгс/см<sup>2</sup>, давлении на входе в насос - 0,1 кгс/см<sup>2</sup>, температуре топлива +65°С и минимальном напряжении питания

электромотора Д-200 (привод агрегата) 24,5 В составляет не менее 2,17 л/мин.

Производительность насоса на самом «легком» топливе - смеси автомобильного бензина АИ-80 с 10% дизельного топлива Л-0,2), при настройке редукционного клапана 1,8 кгс/см<sup>2</sup>, давлении на выходе из насоса 1,4 кгс/см<sup>2</sup>, температуре топлива +25°С и имитации высоты до 3 км составляет не менее 3,66 л/мин.

Давление на входе в насос до - 0,36 кгс/см<sup>2</sup> (высота 3 км) возможно только при выходе из строя подкачивающего насоса объекта типа БЦН (бензиновый центробежный насос), необходимого для создания начального разрежения.

По техническим условиям на электронасосный агрегат ЭНА-300 на входе в этот агрегат БЦН объекта должен обеспечивать давление от -0,1 до 0,8 кгс/см<sup>2</sup>, при этом, как видно из Таблицы 3, подача насоса увеличивается до 6...7 л/мин.

При давлении в баке - 0,22 кгс/см<sup>2</sup> и ниже на выходе из насоса наблюдаются пузырьки воздуха (кавитация топлива).

Электронасосный агрегат ЭНА-300 с настройкой редукционного клапана 1,8<sup>0,1</sup> кгс/см<sup>2</sup> при крайних его условиях работы (повышенная температура топлива, высота до 3 км, легкое топливо, выход из строя подкачивающего насоса БЦН объекта) обеспечивает работу насоса-регулятора изделия СЭС-75, т.к. подача насоса составляет 2,17...3,66 л/мин. против требуемой для работы изделия СЭС-75 – 81 кг/час (1,35 л/мин.) топлива.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Электронасосный агрегат ЭНА-300 обеспечил работоспособность на всех видах топлива, при крайних допустимых положительных температурах топлива и на высоте над уровнем моря на самом «лёгком» топливе (смесь автомобильного бензина АИ-80 с 10% дизельного топлива Л-0,2). Работоспособность агрегата за требуемый период 1500 часов обеспечен. После проведения испытаний и оценки технического состояния агрегат соответствует установленным техническим нормам.

По результатам испытаний (Таблица 3) электронасосный агрегат на смеси автомобильного топлива АИ-80 и 10% дизельного топлива Л-0,2 показал наилучшую производительность.

Из таблицы 3 видно, что наилучшую производительность при 28°С показывает смесь АИ-80 с 10% Л-0,2. Это обусловлено тем, что автомобильное топливо имеет минимальную вязкость, но при этом его не используют при высоких температурах (67°С), так как испаряемость данного вида топлива при таких температурах достигает 50%.

Также можно заметить, что при увеличении температуры реактивного топлива ТС-1 производительность агрегата уменьшается. Установление более точ-

ность зависимости производительности от температуры топлива возможно при большем количестве уровней изменения температуры.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Файнлейб, Б.Н. Топливная аппаратура автотракторных дизелей / Б.Н. Файнлейб. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
2. Ведрученко, В. Р. Топливоиспользование в тепловозных дизелях. Системные методы исследований: Учебное пособие / В. Р. Ведрученко / Омский гос. ун-т путей сообщения. - Омск, 1990. - 89 с.
3. Григорович, Д.Н. Альтернативные виды топлива на железнодорожном транспорте / Д.Н. Григорович // Энергия: экономика, техника, экология. – 2009. – № 11. – С. 28-35.
4. Селиверстов, В. М. Экономия топлива на речном флоте / В. М. Селиверстов. – М.: Транспорт, 1983. – 231 с.
5. Ведрученко, В.Р. Неравномерность рабочего процесса и процессов топливоподачи как диагностических параметров дизелей, работающих на разных сортах топлива / В.Р. Ведрученко, В.В. Крайнов // Известия Транссиба. – 2014. – № 1 (17). С. 42-50.
6. Жигadlo, А.П. Влияние различных факторов на величину и равномерность подачи топлива в цилиндры дизеля / А.П. Жигadlo, А.Л. Иванов, М.М. Саенко // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2013. – № 4 (32). – С. 29-35.
7. Анкуда, Э.С., Атрощенко В.Н., Малышев Е.Н., Степанов Е.Д. Оценка виброустойчивости электронасосных агрегатов / Э.С. Анкуда, В.Н. Атрощенко, Е.Н. Малышев, Е.Д. Степанов // Электронный журнал: наука, техника и образование. –2018. –№3 (21). – С. 20-24. – Режим доступа: <http://nto-journal.ru/uploads/articles/a54844ab3a74be98085928b9cba8e1bf.pdf>

*Малышев Евгений Николаевич – кандидат технических наук, заведующий кафедрой "Машиностроительные технологии", Калужский филиал ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», тел. (4842)740572, e-mail: m1@bmstu-kaluga.ru.*

*Калмыков Вадим Владимирович – старший преподаватель кафедры "Машиностроительные технологии", Калужский филиал ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», тел. (4842)740572, e-mail: melnickov.yar2017@ya.ru.*

*Атрощенко Виктор Николаевич – магистрант кафедры "Машиностроительные технологии", Калужский филиал ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», тел. 89105224036, e-mail: atroshchenkoviktor@gmail.com.*

*Степанов Евгений Дмитриевич – магистрант кафедры "Машиностроительные технологии", Калужский филиал ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», тел. 89105978859, e-mail: 20jenua04@mail.ru.*

# ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF THE ELECTRIC PUMP UNIT OF GAS TURBINE ENGINES DEPENDING ON VISCOSITY OF FUEL

**E.N. Malyshev, V.V. Kalmykov, V.N. Atroschenko, E.D. Stepanov**

*Kaluga branch OF the Moscow state technical University. N. Eh. Bau-mana", Russia, Kaluga, Bazhenov str.*

The necessary characteristics of the tested fuels AI-80, TS-1 and L-0.2 are shown. The influence of the fuel temperature, current, voltage, pressure at the inlet and outlet of the electric pump unit on the performance of the product during its operation on each fuel type is considered. As a tool to determine the performance and regulation of the necessary parameters of the Assembly was applied a test stand simulating the operation of the electric pump unit in the composition of the products manufactured at JSC "KADVI". It is established that the electric pump unit provides working capacity on all types of fuel for a set period of time without comments. The dependence of the product production on the kinematic viscosity of the fuel used was revealed. Fuel at which the electric pump unit provides the greatest productivity at all other parameters established at the identical level is revealed.

*Index terms: electric pump unit, performance, fuel*

## REFERENCES

1. Feinleib, B. N., Fuel injection equipment automotive diesel engines, N.S. Anikieva, 2nd ed. Leningrad, Russia: Mechanical Engineering, 1990.
2. Vedruchenko, V. R., Fuel usage in diesel engines. System research methods, Omsk, Russia: Omsk State Transport University, 1990.
3. Grigorovich, D. N., "Alternative fuels for railway transport," Energy: economy, technology, ecology, no. 11, pp. 28-35, 2009.
4. Seliverstov, V. M., Fuel economy in the river fleet. Moscow, Russia: Transport, 1983.
5. Vedruchenko, V. R., and V. V. Krainov "Uneven workflow and processes of fuel injection as diagnostic parameters of diesel engines running on different fuel grades," TRANS-Siberian railway, vol.17, no. 1, pp. 42-50, 2014.
6. Zhigadlo, A. P., A. L. Ivanov, and M. M. Saenko, "The influence of various factors on the magnitude and uniformity of fuel supply into the cylinders of a diesel engine," Vestnik of Siberian state automobile and highway Academy, vol. 32, no. 4, pp. 29-35, 2013.
7. Ankuda, E. S., V. N. Atroschenko, E. N. Malyshev, and E. D. Stepanov, Electronic journal: science, technology and education, accessed December 09, 2018, <http://nto-journal.ru/uploads/articles/a54844ab3a74be98085928b9cba8e1bf.pdf>.

*Malyshev Evgeny – candidate of technical Sciences, head of the Department "Engineering technologies", Kaluga branch OF the Moscow state technical University. N. Eh. Bauman", tel. (4842) 740572, e-mail: m1@bmstu-kaluga.ru.*

*Vadim Kalmykov – senior lecturer of the Department "Engineering technologies", Kaluga branch OF fsbei HPE " Moscow state technical University. N. Eh. Bauman", tel. (4842) 740572, e-mail: melnikov.yar2017@ya.ru.*

*Atroschenko Victor – master's student of the Department "Engineering technologies", Kaluga branch OF fsbei HPE " Moscow state technical University. N. Eh. Bauman", tel. 89105224036, e-mail: atroschenkoviktor@gmail.com.*

*Stepanov Evgeny – master's student of the Department "Engineering technologies", Kaluga branch OF fsbei HPE " Moscow state technical University. N. Eh. Bauman", tel. 8910597859, e-mail: 20jenya04@mail.ru.*