

УДК 621.436.12

DOI: 10.46960/2782-5477_2023_1_31

А. Кориши, В.А. Гурин, С.Н. Хрунков**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
СОСТОЯНИЯ ОРГАНОВ ВПУСКА ЧЕТЫРЕХЦИЛИНДРОВОГО
ЧЕТЫРЕХТАКТНОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ
НА ВНЕШНИЕ И НАГРУЗОЧНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
Нижний Новгород, Россия

Представлены результаты анализа экспериментального исследования влияния состояния органов впуска четырехцилиндрового четырехтактного дизельного двигателя на внешние и нагрузочные характеристики. Методы исследования: натурные экспериментальные исследования на моторном стенде, проведение сравнительных испытаний. Описана конструкция и контрольно-измерительная аппаратура экспериментального стенда. Показана методика проведения эксперимента. Приведены характеристики испытуемого двигателя с подробным описанием его конструктивных особенностей. На экспериментальном стенде получены нагрузочные характеристики для трех скоростных режимов. Выявлены границы нагрузки, за пределами которых неоправданно возрастает удельный эффективный расход топлива двигателем и критически падает его тепловая эффективность. Установлено, что дальнейшем направлении исследований влияния органов впуска должно быть повышение эффективности данного типа двигателей при нагрузках менее 40 %.

Ключевые слова: впуск, дизельный двигатель, нагрузочная характеристика, производители, показатели, мощность, органов впуска.

Актуальность

Условия эксплуатации двигателей внутреннего сгорания существенно различаются в зависимости от сферы применения. Двигатели, эксплуатирующиеся в составе автомобиля, действуют в условиях постоянно меняющейся нагрузки в широком скоростном диапазоне. В зависимости от выбранной скорости движения увеличивается или уменьшается частота вращения коленчатого вала, а в зависимости от профиля дороги (наличия спусков или подъемов) должен меняться и крутящий момент, развиваемый на коленчатом вале двигателя. При использовании двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в составе железнодорожного локомотива требуется обеспечить постоянный скоростной режим на протяжении длительного времени, при этом нагрузка на двигатель также постоянно меняется, увеличиваясь или уменьшаясь в зависимости от горизонтального профиля железнодорожного пути. При использовании ДВС на водном транспорте нагрузка и скоростной режим работы двигателя остаются постоянными на протяжении большего периода его эксплуатации. Дополнительными факторами являются температура и запыленность подаваемого в цилиндр двигателя воздуха, которые также сильно зависят от объекта, на котором используется ДВС. Экспериментальное исследование влияния состояния органов впуска четырехцилиндрового четырехтактного дизельного двигателя на внешние и нагрузочные характеристики позволяет оценить эффективность агрегата и его долговечность в процессе длительной эксплуатации. Подобные работы необходимы для научного обоснования необходимости планового технического обслуживания впускной системы двигателя в зависимости от условий его эксплуатации.

Постановка задачи

Одной из важных систем ДВС, использующего для обеспечения работоспособности дизельное топливо, является система впуска. Она способствует запуску процесса подачи

свежего воздуха в необходимом объеме, которая поступает непосредственно в цилиндр дизельного двигателя [1]. Дизельные двигатели для обеспечения самовоспламенения топлива требуют высоких степеней сжатия, что имеет свои негативные стороны. Повышенные величины максимального давления и жесткости сгорания цикла требуют более прочной конструкции двигателя и определяют увеличенные нагрузки на детали цилиндропоршневой группы, что приводит к повышенным механическим потерям и увеличению массы двигателя. Поэтому снижение степени сжатия в дизелях дало бы определенные преимущества. Однако это требует решения вопросов, связанных со смесеобразованием и воспламенением.

Регулярно проводить экспериментальные исследования влияния состояния органов впуска на внешние и нагрузочные характеристики необходимо, так как от полученных показателей напрямую зависит не только техническое состояние самого агрегата, но и его работоспособность. Чтобы гарантированно уменьшить количество отказов системы впуска или поломок различной степени выраженности, необходимо своевременно определять техническое состояние мотора в целом и отдельных его элементов. Как показывают результаты исследований различных предприятий, которые занимаются техническим обслуживанием двигателей, работающих с воспламенением от сжатия, определяют техническое состояние элементов системы впуска различными методами. Не выбран единый подход, что позволяет получать более качественные с технической точки зрения данные. Методы, в свою очередь, могут быть, как объективными, так и субъективными. Если выбраны субъективные методы определения влияния состояния органов впуска дизельного двигателя на внешние и нагрузочные характеристики технического средства, достоверность результатов диагностирования зависит в большинстве случаев от квалификации специалистов. Также на этот показатель оказывает влияние и то, какое оборудование используется специалистами во время проведения исследований [2]. Для того, чтобы получить максимально точные и достоверные результаты, требуется решить следующие задачи:

- 1) разработать методику проведения экспериментального исследования – выбрать предмет и объект исследования, определить фиксируемые внешние и внутренние параметры, выбрать факторы, влияющие на оценочные показатели двигателя;
- 2) подготовить к проведению исследования экспериментальную установку – выбрать и аттестовать контрольно-измерительные приборы, провести их калибровку и осуществить наладку оборудования;
- 3) составить план проведения эксперимента и в соответствии с выбранным планом осуществить серии многофакторных экспериментов.

Экспериментальный инструментарий

Принципиальная схема используемой в данном исследовании экспериментальной установки представлена на рис. 1. Объект исследования – дизельный двигатель ANDORIA 4C90, четырехтактный с наддувом, с предкамерным впрыском, Количество и расположение цилиндров по 4 в ряд. Описание главных элементов двигателя: корпус двигателя – безвулковый, чугунный с пятью коренными подшипниками, среди которых пятый подшипник (ближе к маховику) является установочным; картер двигателя закрыт снизу алюминиевым масляным картером. Вкладыши коренные и шатунные – тонкостенные, трехслойные, заменяемые. Головка блока цилиндров – чугунная, всасывающие и выхлопные каналы размещены на одной стороне, а камеры сгорания с форсунками и калильными свечами на противоположной. В головке находятся обработанные вихревые камеры сгорания, в которые под разными углами входят форсунки и калильные свечи. Камеры сгорания закрыты снизу вставками из жаростойкого сплава. Клапанные седла и направляющая клапана, заменяемые. Поршень с контролируемой расширяемостью, сделан из кокильной отливки из алюминиевого сплава с чугунной вставкой «ALFIN» в районе верхнего, уплотнительного кольца. Коленча-

тый вал откован из легированной стали, азотированный. Распределительный вал – чугунный, рабочие поверхности кулачков упрочнены, приводится зубчатым ремнем от коленчатого вала. Клапаны приводятся кулачками от распределительного вала при посредстве одноплечевых чугунных клапанных рычагов [3]. Двигатель ANDORIA 4C90 представлен на рис. 2, а его технические характеристики представлены в табл. 1.

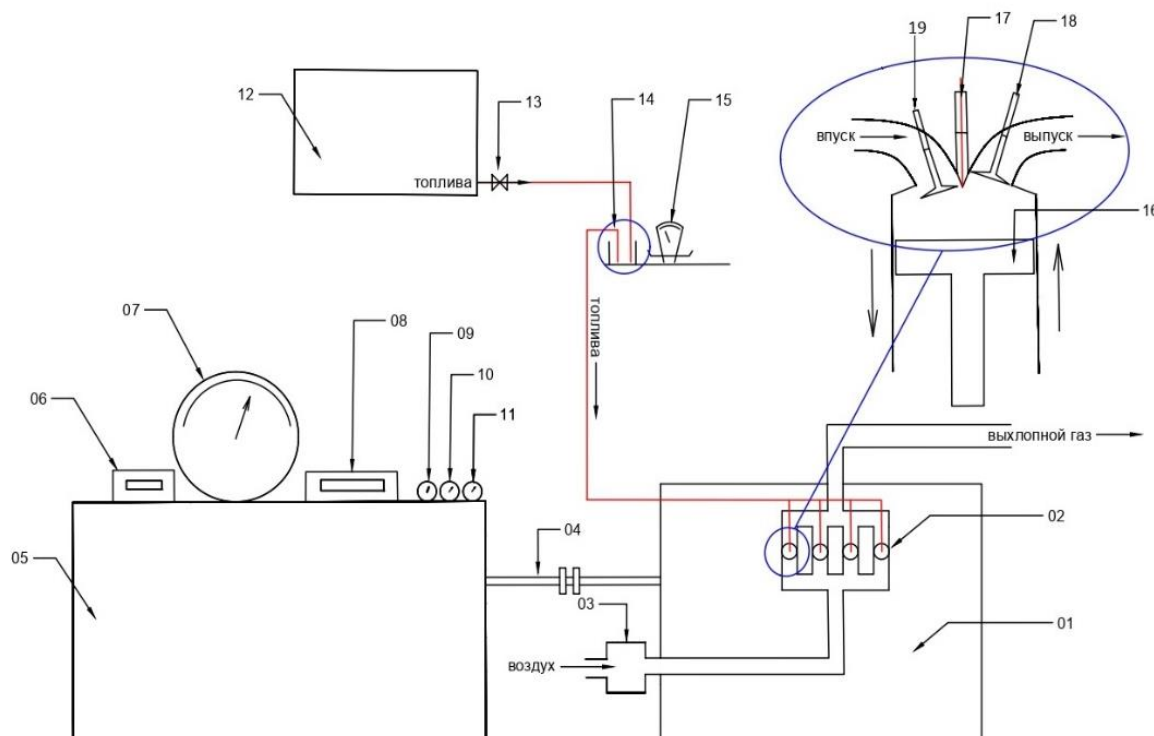


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 – корпус, 2 – ДВС, 3 – расходмер воздуха, 4 – карданный вал, 5 – тормозное устройство, 6 – тахометр вала двигателя, 7 – весы, 8 – тахометр расходомера воздуха, 9 – термометр, 10 – манометр, 11 – термометр комнатный, 12 – бак с дизельным, 13 – шаровой кран, 14 – емкость, 15 – весы, 16 – поршень, 17 – инжектор, 18 – выпускной клапан, 19 – впускной клапан

Шатуны откованы из легированной стали, термически улучшены. Топливный насос (фирмы *Моторпаль*) – рядный, поршневой с собственным приводом, оборудованный корректором дозирования и пневматическим корректором дымного выхлопа. Регулятор оборотов – механический, многопредельный с масляной блокировкой вращательной дозы. Переключатель угла впрыска – автоматический, механический. Распылитель – штифтовый со срезом, заменяемый. Калильная свеча – запорная. Альтернатор приводится от коленчатого вала с помощью клиновидного ремня; 12 В, 70 А. Стартер – электрический, 12 В. Турбокомпрессор – радиальный с клапаном отбора выхлопных газов. Лопастной вакуумный насос, приводится от распределительного вала. Питательный насос – мембранный, приводится при посредстве кулачка из приводного валика топливного насоса. Масляный насос – зубчатый, с циклоидальным зубчатым венцом внешним и внутренним (гераторовый), размещен в переднем хвосте (головке) коленчатого вала. Масляный фильтр – коробчатый, полного течения. Топливный фильтр – коробчатый с бумажным патроном и отстойником воды. Вентилятор – с вискозичной муфтой, привинчивается к ступице ременного шкифа водяного насоса [4, 5].



Рис. 2. Двигатель ANDORIA 4C90

Таблица 1.

Характеристики двигателя ANDORIA 4C90

Характеристики	Значения
Количество и расположение цилиндров	4 в ряд
Порядок работы цилиндров	1-3-4-2
Ход поршня/диаметр [мм]	90/95
Рабочий объем [см ³]	2417
Степень сжатия	21,1:1
Номинальная мощность	66 – 5 % кВт (90 – 5 % л.с.)
Максимальная мощность [кВт/л.с]	66/90
Скорость вращения при номинальной мощности [1/мин]	4100
Максимальный крутящий момент при частоте вращения $n = 2500$ 1/мин	195 – 5% Нм (19,9 – 5% кгМ)
Охлаждение	жидкостное
Вес [кг]	232

Рассмотрим ключевые элементы экспериментальной установки. На входе в ресивер впускной системы на двигателе установлен измеритель расход воздуха (рис. 3). Работа расходомера основана на скорости потока газа. Схема турбинного расходомера представлена на рис. 4. Принцип действия турбинного расходомера жидкости и газа заключается в передаче движения последней к турбинке в виде крыльчатки, а от нее – к шкале измерительного прибора. Во время движения жидкости крыльчатка начинает вращаться в подшипниках с малым трением.

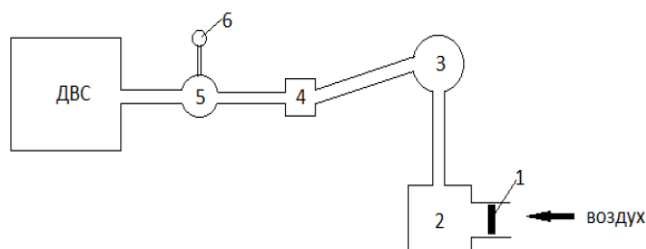


Рис. 3. Схема измерителя расхода воздуха:

1 – измеритель расхода воздуха, 2 – емкость жесткая для сглаживания пульсаций впускной системы, 3 – емкость мягкая для сглаживания пульсаций впускной системы, 4 – турбокомпрессор, 5 – ресивер на двигателе, 6 – манометр

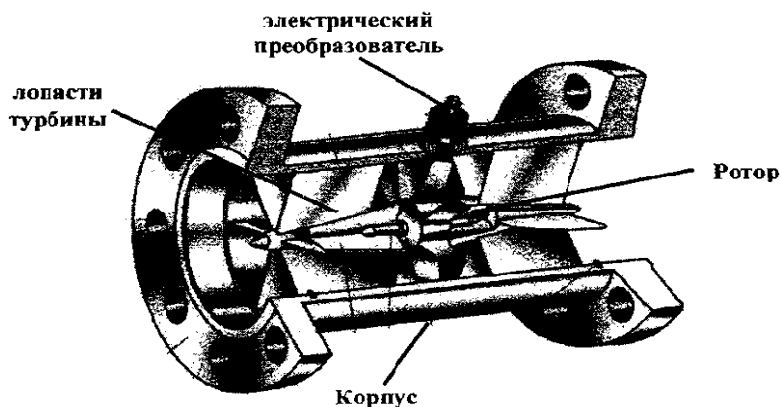


Рис. 4. Схема турбинного расходомера

Скорость потока измеряемой среды пропорциональна скорости вращения турбины, что позволяет наиболее точно измерять расход жидкости или газа. Конструкция расходомера имеет механические стабилизаторы и струевыпрямители. Струя, проходя через расходомер, изначально попадает на выпрямители, состоящие из металлических пластин, установленных параллельно потоку. При помощи стабилизатора выравниваются завихрения в потоке жидкости или газа, тем самым сглаживаются погрешности в показаниях прибора. Чем выше скорость прохождения жидкости, тем быстрее вращаются лопасти турбины. Сам принцип замера основан на учете количества оборотов последней за определенный промежуток времени [3]. При проведении экспериментов фиксируется частота вращения ротора расходомера $f_{\text{возд}}$. Для вычисления массового расхода воздуха использовалась формула, полученная при тарировке прибора:

$$G_B = (0,34f_{\text{возд}} + 18) \sqrt{\frac{\rho_B}{1,29}} \text{ (кг/ч)},$$

где ρ_B – плотность воздуха, кг/м^3 .

Карданный вал. Основное назначение главной передачи в трансмиссии – передача вращающего момента двигателя к конечному потребителю. В нашем стенде необходимо передать вращающий момент от вала двигателя к валу тормозного устройства. Эти валы не соосны, необходимо компенсировать смещение и излом валовой линии. Самым надежным решением является применение карданного вала, схема которого представлена на рис. 5. Конструкция карданного вала, используемого на стенде, позволяет компенсировать смещения до 30 мм и излом до 10° .

Тахометр определяет точную скорость вращения объекта через датчик Холла и магнит, который крепится на вращающийся предмет. Цифровой тахометр используется для измерения скорости вращения, определения числа оборотов любых вращающихся устройств. Прибор обладает высокой надежностью и высокими показателями безопасности [6]. Минимальная и максимальная частота, измеряемая тахометром от 0 мин^{-1} до 9999 мин^{-1} . Точность тахометра $\pm 1 \text{ мин}^{-1}$.

Расход топлива определялся массовым способом. Применялись весы настольные, циферблатные, типа ВНЦ (весы настольные циферблатные) переносные, равноплечие, с двумя площадками (чашками) – одной для гирь и другой для взвешиваемого груза. Основной грузоприемный равноплечий рычаг опирается своими призмами на подушки, расположенные на стойках, укрепленных на плите. разрешается взвешивать от 20 г до 2 кг, показания весов – Дт [кГс]. Схема весов ВНЦ представлена на рис. 5. Основные характеристики весов настольных, циферблатных, типа ВНЦ, приведены в табл. 2. Погрешности показаний не выходят за пределы приведенных значений допустимых погрешностей [7].

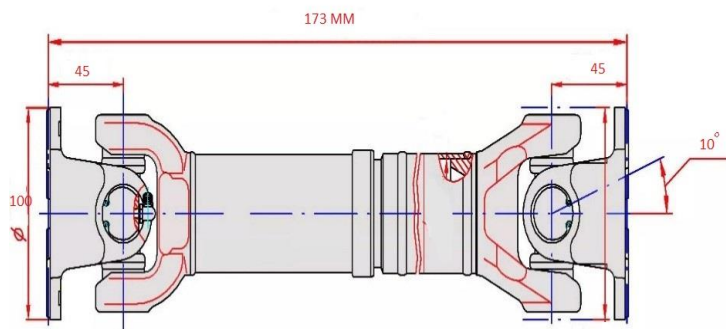


Рис. 5. Карданный вал

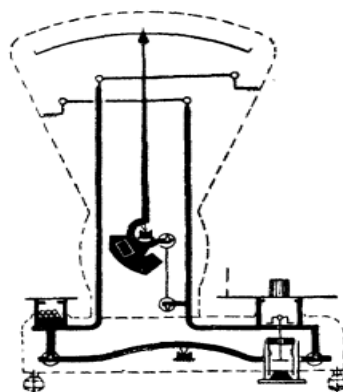


Рис. 6. Схема весов настольных, циферблатных, типа ВНЦ

Таблица 2.
Характеристики весов

Условное обозначение	Предельная нагрузка	Наименьшая допустимая нагрузка	Верхний предел измерения по шкале циферблата	Цена деления шкалы	Допустимые погрешности	
					При 0,1 предельной погрузки	При предельной нагрузке
ВНЦ-2	2 кг	20 г	200 г	2 г	+0,5 наименьшего деления шкалы	+0,001 часть фактической нагрузки

Манометр. Манометр для измерения давления наддува во впускном ресивере, пружинного типа, пределы измерения от -1 до $1,5$ Бар и точность измерения $\pm 0,1$ бар [8], манометр представлен на рис. 7.



Рис. 7. Манометр

Термометры. Первый термометр предназначен для измерения температуры выхлопных газов, тип термометра – хромель-капелевый, пределы измерения от 0 до 800 °С и точность измерения ± 10 °С. Второй термометр предназначен для измерения температуры воздуха в лаборатории, бытового применения, принцип действия которого основан на тепловом расширении ртути, пределы измерения от $T = -2$ °С до $T = 45$ °С и точность измерения $\pm 0,5$ °С. Термометры 1 и 2 представлены на рис. 8.



Рис. 8. Термометры

Методика экспериментов и обработка результатов

Методика проведения экспериментов. В ходе экспериментов поддерживалась постоянная частота вращения коленчатого вала двигателя при различной нагрузке за счет увеличения или уменьшения подачи топлива [9]. При этом фиксировались показания следующих приборов:

- 1) тахометр, измеряющий частоту вращения коленчатого вала, n мин.⁻¹;
- 2) показания весов тормозного стенда, указывающие момент, тормозящий коленчатый вал двигателя, P , кГс;
- 3) крутящий момент, развиваемый двигателем, M_k Н·м, получаемый пересчетом;

- 4) массовый расход топлива из расходной емкости за некоторый промежуток времени, ΔV грамм;
- 5) время, τ сек, затрачиваемое на расходование топлива в количестве ΔV грамм;
- 6) частота вращения вала расходомера воздуха $f_{\text{возд}}$, 1/сек;
- 7) температура окружающей среды, T °C;
- 8) давление наддува во впускном ресивере, P_n , бар.

Результаты измерений при частоте вращения коленчатого вала двигателя $n = 1200 \text{ мин.}^{-1}$ представлены в табл. 3. Для расчета крутящего момента использовались показания тормозного стенда и длина плеча рычага:

$$M_K = 9,81P(\text{кГс})l_T(\text{м}) = 10P \text{ (Н·м)}$$

Эффективная мощность определяется скоростным режимом двигателя и развиваемым крутящим моментом:

$$N_e = \frac{M_K(\text{Н·м}) \times n(\text{МИН}^{-1})}{9550}, \text{ (кВт)}$$

Для определения часового расхода топлива в ходе работы двигателя мы измеряли секундомером время, необходимое для потребления 50 г топлива в емкости, установленной на весы.

$$G_T = \frac{\Delta V(\text{г}) \times 3,6}{\tau(\text{с})}, \text{ (кг/ч)}$$

Удельный эффективный расход топлива g_e : получаем делением массового расхода топлива G_T на эффективную мощность двигателя.

$$g_e = \frac{G_T(\text{кг/ч}) \times 1000}{N_e(\text{кВт})}, \text{ (г/кВт·ч)}$$

Для расчета расхода воздуха использовалась формула, полученная при тарирование расходомера:

$$G_B = (0,34f_{\text{возд}} + 18) \sqrt{\frac{\rho_B}{1,29}}, \text{ (кг/ч)}$$

Коэффициент избытка воздуха определяется стехиометрическим отношением для используемого топлива, его часовым расходом и расходом воздуха:

$$\alpha = \frac{G_B(\text{кг/ч})}{L_0 G_T(\text{кг/ч})}, \text{ где } L_0 = 14,9 \text{ (кг воздуха/ кг топлива)}$$

Таблица 3.

Протокол испытаний двигателя ANDORIA 4C90 при $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$

№	$n, \text{ мин}^{-1}$	$P, \text{ кГс}$	$\Delta V, \text{ г}$	$t, \text{ сек}$	$T, \text{ °C}$	$T_{\text{ог}}, \text{ °C}$	$P_n, \text{ бар}$
1	1500	14,25	50	31	17	390	0,3
2	1500	12	50	44	17	350	0,2
3	1500	8,3	50	55	17	300	0,1
4	1500	6,5	40	47	18	270	0,05
5	1500	4,75	40	55	18	250	0,05
6	1500	4,5	40	60	18	220	0,05
7	1500	2,25	40	65	18	150	0,05

Результаты обработки экспериментальных данных представлены в табл. 4 и на рис. 9. Результаты измерений и обработки полученных экспериментальных данных при частотах вращения двигателя $n=1500 \text{ мин.}^{-1}$ показаны в табл. 5, 6 и на рис. 10, 11.

Таблица 4.

Эффективные показатели двигателя ANDORIA 4C90 при $n=1500$ мин.⁻¹

№	M_K , Н м	N_e , кВт	G_T , кг/ч	g_e , г/кВтч	$f_{\text{возд}}$, с ⁻¹	G_B , кг/ч	α
1	14,25	22,4	5,14	229,8	366	126,03	1,6
2	12	18,8	4	212,2	351	121,5	2,03
3	8,3	13,03	3,27	251,04	340	118,2	2,4
4	6,5	10,2	3,06	300,1	338	117,6	2,6
5	4,75	7,5	2,88	386,02	337	117,3	2,7
6	4,5	7,1	2,88	407,4	337	117,3	2,7
7	2,75	4,3	2,44	565,1	336	117,01	3,2

Таблица 5.

Результаты для двигателя ANDORIA 4C90 при $n=2000$ мин.⁻¹

№	n , мин. ⁻¹	P , кГцс	M_K , Н м	ΔV , г	τ , сек	$f_{\text{возд}}$, с ⁻¹	T , °С	$T_{\text{ог}}$, °С	P_n , бар	N_e , кВт	G_T , кг/ч	g_e , г/кВтч	G_B , кг/ч	α
1	2000	19,5	195	50	15	609	19	500	0,58	40,8	12	293,8	199,1	1,1
2	2000	17,4	174	50	18	560	20	540	0,5	36,4	10	274,4	184,4	1,2
3	2000	13,7	137	50	27	527	22	500	0,35	28,7	6,7	232,3	174,5	1,8
4	2000	11,5	115	50	33	516	23	500	0,27	24,08	5,5	226,5	171,2	2,1
5	2000	9,75	97,5	50	38	502	22	420	0,22	20,4	4,7	232	166,1	2,4
6	2000	7,75	77,5	50	45	493	22	395	0,17	16,2	4	246,5	164,2	2,8
7	2000	6,25	62,5	50	52	487	22	345	0,14	13,1	3,5	264,5	162,4	3,1
8	2000	4,5	45	50	60	477	22	310	0,1	9,4	3	318,3	159,4	3,6

Таблица 6.

Результаты для двигателя ANDORIA 4C90 при $n=2500$ мин.⁻¹

№	n , мин. ⁻¹	P , кГцс	M_K , Н м	ΔV , г	τ , сек	$f_{\text{возд}}$, с ⁻¹	T , °С	$T_{\text{ог}}$, °С	P_n , бар	N_e , кВт	G_T , кг/ч	g_e , г/кВтч	G_B , кг/ч	α
1	2500	19,8	194,04	50	17	628	19	500	0,5	50,8	10,6	208,4	204,9	1,3
2	2500	17,5	171,5	50	22	580	20	540	0,42	44,9	8,2	182,2	190,4	1,6
3	2500	15	147	50	28	555	22	500	0,4	38,5	6,4	167,01	182,9	1,9
4	2500	12,25	120,05	50	32	550	23	500	0,35	31,4	5,6	179	181,4	2,2
5	2500	9,5	93,1	50	36	535	22	420	0,3	24,4	5	205,1	176,9	2,4
6	2500	7,75	75,95	50	41	522	22	395	0,25	19,9	4,4	220,8	173	2,6
7	2500	5,5	53,9	50	56	510	22	345	0,2	14,1	3,2	227,8	169,4	3,5

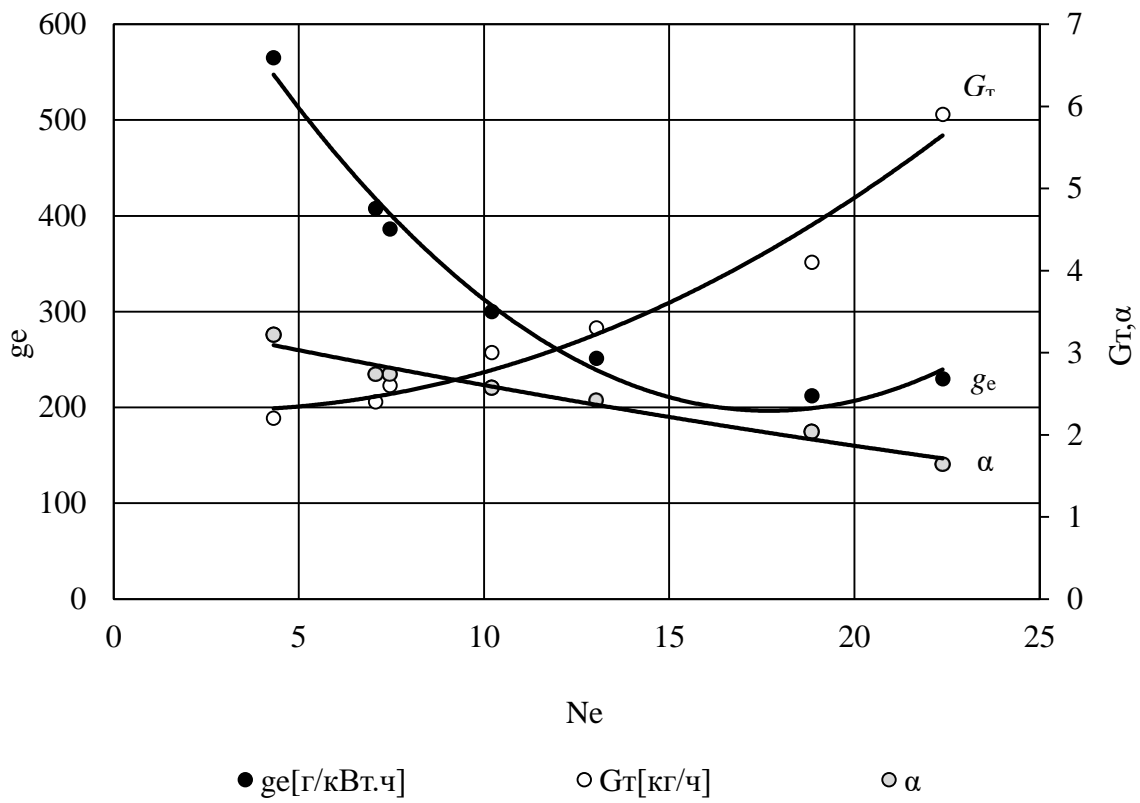


Рис. 9. Эффективные показатели двигателя ANDORIA 4C90 при n=1500 мин⁻¹

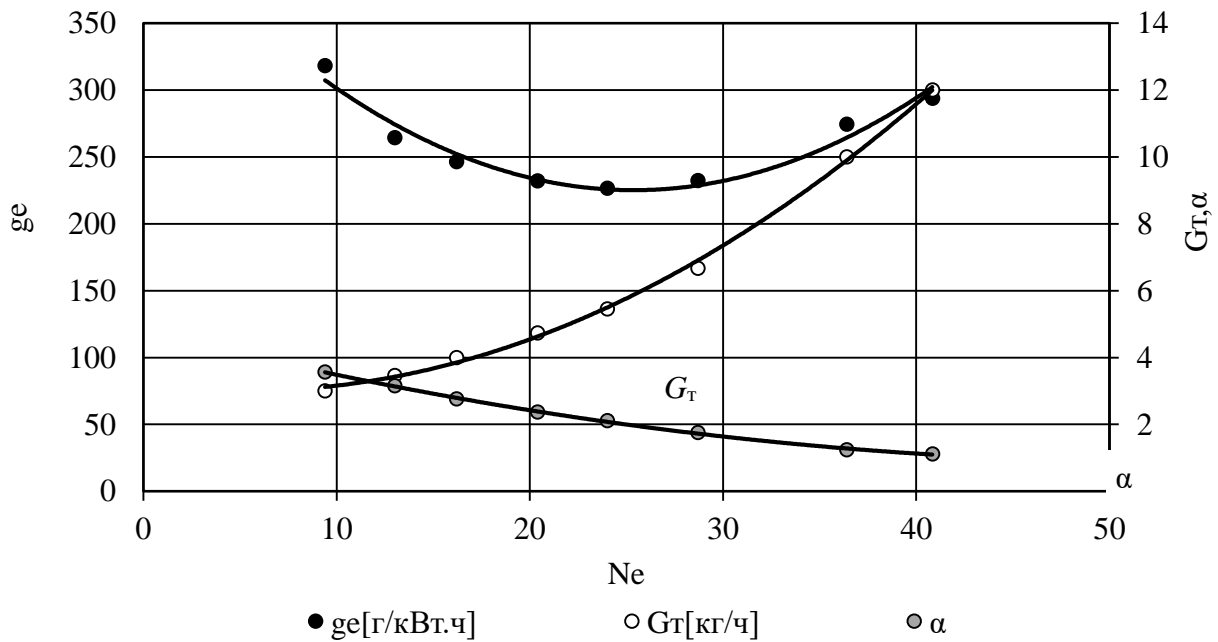


Рис. 10. Эффективные показатели двигателя ANDORIA 4C90 при n=2000 мин⁻¹

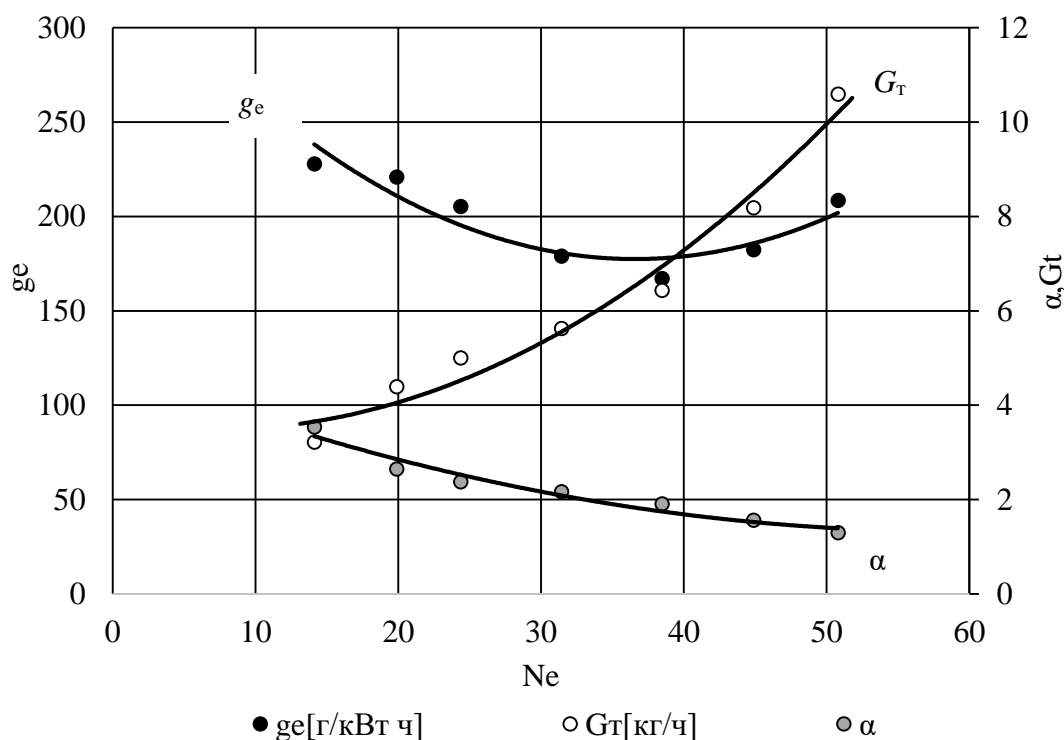


Рис. 11. Эффективные показатели двигателя ANDORIA 4C90 при $n=2500 \text{ мин}^{-1}$

Обсуждение результатов

Если принять, что при максимальной мощности удельный эффективный расход топлива соответствует рациональному уровню эффективности двигателя, то его превышение означает неоправданно низкую эффективность. Такая неоправданно низкая эффективность проявляется на режимах частичных нагрузок, при которых вследствие качественного регулирования, внутри рабочих цилиндров используется чрезвычайно бедная горючая смесь. Уровень нагрузки, при которой происходит неоправданное снижение эффективности, представлен в табл. 7.

Таблица 7.
Нагрузка, обеспечивающая рациональную эффективность двигателя ANDORIA 4C90

Частота вращения коленчатого вала двигателя, мин^{-1}	Мощность максимальная, кВт	Мощность минимальная при КПД как на максимальной мощности, кВт	Диапазон нагрузки при рациональном КПД
1500	22,4	15	66-100 %
2000	40,5	14	34-100 %
2500	50,8	22	40-100 %

Выводы

В соответствии с выбранным планом осуществили серии многофакторных экспериментов исследования влияния состояния органов впуска на внешние и нагрузочные характеристики. Полученные измерения позволили нам вычислить такие показатели работы двигателя, как крутящий момент, мощность, массовый расход воздуха, часовой и удельный эф-

фактивный расход топлива и коэффициент избытка воздуха. В работе представлены результаты обработки экспериментальных данных при частотах вращения 1500, 2000 и 2500 мин⁻¹. При рассмотрении полученных результатов очевидно, что уровень нагрузки при рациональном уровне коэффициента полезного действия находился в следующем диапазоне:

- от 100 до 66 % при 1500 мин⁻¹,
- от 100 до 34 % при 2000 мин⁻¹,
- от 100 до 40 % при 2500 мин⁻¹.

Таким образом, результаты исследования однозначно показывают неэффективность данного типа двигателя при нагрузке менее 40 %, и дальнейшим направлением исследований должно быть повышение эффективности данного типа двигателей при таких нагрузках.

Библиографический список

1. Борисов, А.О. Рабочий процесс многопливного поршневого двигателя [Текст] / А.О. Борисов. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2008. – 272 с.
2. Воинов, А.Н. Сгорание в быстроходных поршневых двигателях [Текст] / А.Н. Воинов. – М.: Машиностроение, 1977. – 277 с.
3. Турбинный расходомер: принцип действия и применение [Электронный ресурс] // Режим доступа URL: <https://fb.ru/article/427208/turbinnyiy-rashodomer-printsip-deystviya-i-primenenie> / (дата обращения: 03.11.2022).
4. Дизельный двигатель для автомобиля УАЗ // Инструкция по обслуживанию [Текст]. – Польша, Андрыхув: Завод Дизельных Двигателей «АНДОРИЯ» А.О, 2022. – 26 с.
5. Кориши А. Влияние интенсивности подвода теплоты и циклового массового наполнения на термодинамические циклы дизельного двигателя [Текст] / А. Кориши, С.Н. Хрунков // Транспортные системы, 2022. № 2 (24). С. 33-41. DOI: 10.46960/62045_2022_2_33
6. Принцип работы тахометра [Электронный ресурс] Режим доступа URL: <https://principraboty.ru/princip-raboty-tahometra/> / (дата обращения: 03.11.2022).
7. Весы настольные циферблатные, типа ВНЦ [Текст] / Государственный реестр № 504, выпуск 14, 1950. – 3 с.
8. ГОСТ 2405-88 Манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напоромеры, тягомеры и тягонапоромеры. Общие технические условия [Текст]. – М.: Стандартиформ, 2008. – 30 с.
9. Шароглазов Б.А. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчет процессов: Учебник по курсу «Теория рабочих процессов и моделирование процессов в двигателях внутреннего сгорания» [Текст] / Б.А. Шароглазов, М.Ф. Фарафонов, В.В. Клементьев. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 403 с.