

В.А. Марков¹, Е.В. Бебенин², А.М. Биниязов³, В.П. Захаров³

¹Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

²Саратовский металлообрабатывающий завод, г. Саратов, Россия

³Западно Казахстанский инновационно-технологический университет,
г. Уральск, Казахстан

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ ОТ ТИПА ТОПЛИВА НА ПРИМЕРЕ ДИЗЕЛЯ ЯМЗ-238

Аннотация. Перевод сельскохозяйственной техники для работы на более дешевом альтернативном топливе – природном газе, метане – позволит повысить эффективность сельскохозяйственного производства. Тем более, что Казахстан занимает ведущее место в мире по его запасам. Наиболее простым и приемлемым для сельского хозяйства способом перевода дизеля для работы на газообразном топливе является использование газодизельного цикла, так как это не требует значительных изменений конструкции двигателя, сохраняется серийная топливная аппаратура и способность работать как на дизельном топливе, так и на его смеси с компримированным (КПГ) или сжиженным природным газом. В результате математического моделирования показатели мощности экспериментального двигателя ЯМЗ-238 при его переводе с жидкого (дизельного) на газообразное топливо (природный газ) снижаются на 10%, что показывает анализ формулы по подсчёту данной мощности, данный эффект возникает под влиянием плотности топливовоздушной смеси поступающей в цилиндр.

Ключевые слова: газодизель, система подачи газа в двигатель, экология ДВС.

Түйіндеме. Ауыл шаруашылығы техникасын арзан баламалы отын – табиғи газға, метанға ауыстыру ауыл шаруашылығы өндірісінің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Оның үстіне, Қазақстан оның қорлары бойынша әлемде жетекші орынға ие. Газ тәріздес отынмен жұмыс істеу үшін дизельді ауыстырудың ауыл шаруашылығы үшін неғұрлым қарапайым және қолайлы тәсілі газ-дизельді циклді пайдалану болып табылады. Өйткені бұл қозғалтқыш конструкциясының елеулі өзгеруін талап етпейді. Сериялық отын аппаратурасы

және дизель отынымен де, сондай-ақ оның компримирленген (КЖТ) немесе сұйытылған табиғи газбен де жұмыс істеу қабілеті сақталады. Математикалық үлгілеу нәтижесінде ЯМЗ-238 эксперименталды қозғалтқышының қуат көрсеткіштері оны сұйық (дизельді) газ тәрізді отынға (табиғи газға) ауыстыру кезінде 10% - ға төмендейді. Бұл осы қуатты есептеу бойынша формуланың талдауын көрсетеді, бұл әсер цилиндрге келіп түсетін отын ауа қоспасының тығыздығының өсерінен пайда болады.

Түйінді сөздер: газодизель, қозғалтқышқа газ беру жүйесі, ДВС экологиясы.

Abstract. The transfer of agricultural machinery to work on cheaper alternative fuels-natural gas, methane-will improve the efficiency of agricultural production. Moreover, Kazakhstan occupies a leading place in the world in terms of its reserves. The simplest and most acceptable way for agriculture to transfer diesel to work on gaseous fuel is the use of a gas-diesel cycle, since it does not require significant changes in the design of the engine, the serial fuel equipment is preserved and the ability to work on both diesel fuel and its mixture with compressed (CNG) or liquefied natural gas. As a result of mathematical modeling, the power indicators of the experimental YAMZ-238 engine when it is transferred from liquid (diesel) to gaseous fuel (natural gas) are reduced by 10%, which shows the analysis of the formula for calculating this power, this effect occurs under the influence of the density of the fuel-air mixture entering the cylinder.

Key words: gas diesel, gas supply system to the engine, the ecology of the engine.

Введение. Внедрение газообразного топлива в качестве энергоносителя приобрело глобальный масштаб. Применение его в качестве моторного топлива приводит к снижению себестоимости продукции и повышению экологических показателей. В основном сейчас на газообразное топливо переводят бензиновые двигатели, которые показали незначительное изменение рабочих параметров (Рисунок 1). Дизели возможно перевести на чистое газообразное топливо только после доработки конструкции, куда необходимо внести:

1. изменение параметров рабочей камеры и установки электрической системы зажигания для работы по газовому циклу;
2. дооснащение системой подачи газообразного топлива для работы по газодизельному циклу.

Для обеспечения поиска закономерностей взят за основу дизель ЯМЗ-238.

Дизель ЯМЗ-238 находит широкое применение на специализированной технике, гусеничных тягачах, шахтных самосвалах, ком-

байнах, лесопромышленных машинах, на железнодорожном транспорте, промышленных тракторах, бульдозерах, фронтальных погрузчиках, экскаваторах, сельскохозяйственной и коммунальной технике, на грузовых автомобилях различных видов, автопоездах, на дизельных электростанциях и еще во множестве самых разных сфер деятельности человека.

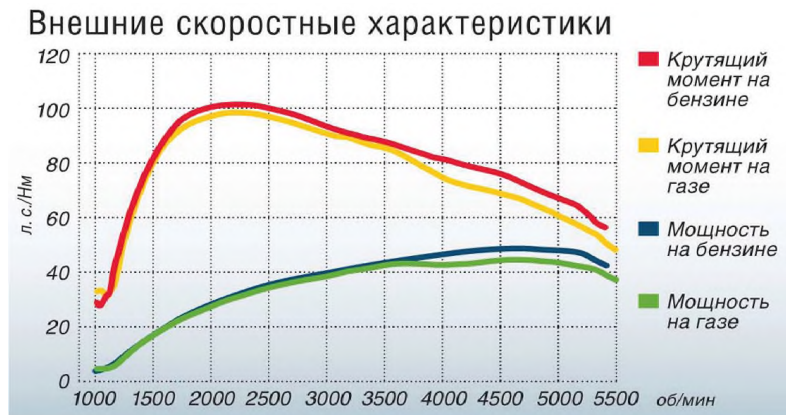


Рисунок 1 - Зависимость мощности и крутящего момента от частоты оборотов бензинового двигателя в зависимости от применения бензина или газообразного топлива.

Методы исследований. В основе теплового расчета двигателей внутреннего сгорания заложены представления о закономерном характере скорости сгорания топлива. Тепловой расчет двигателя позволяет определить индикаторный, эффективные и основные показатели. Мощностная характеристика определяется для интервала от минимальной частоты вращения вала до номинальной. Шаг расчета выбирается так, чтобы получить восемь расчетных режимов по характеристике. Для дизельных двигателей минимальная частота вращения принимается 700 мин^{-1} .

Анализируя известную [1] формулу 1:

$$N_e = \eta_m \cdot \eta_i \cdot \eta_u \cdot G_T, \quad (1)$$

где N_e – эффективная мощность, кВт
 η_u – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг;
 G_T – суммарный расход топлива, кг/ч;

η_m – механический КПД двигателя, %;

η_i – индикаторный КПД двигателя, %.

Определяем расход воздуха при максимальной скорости движения поршня по формуле 2 [1,2], исходя из принципа неразрывности потока:

$$G_{\text{возд}} = \frac{S_{\text{пор}} \cdot r \cdot \pi \cdot n \cdot \sqrt{1 + \lambda_{\text{кш}}}}{30}, \quad (2)$$

где $S_{\text{пор}}$ – площадь поршня, м²;

r – радиус кривошипа коленчатого вала двигателя, м;

π – число «пи», $\pi=3,14$;

n – частота вращения коленчатого вала двигателя, мин⁻¹;

$\lambda_{\text{кш}}$ – постоянная кривошипно-шатунного механизма, для двигателя ЯМЗ-238 $\lambda_{\text{кш}}=0,266$.

Расход газообразного топлива, определяется по формуле 3;

$$G_{\text{газ}} = 2 \cdot n_{\text{двиг}} \cdot V_{\text{газ}}, \quad (3)$$

где $G_{\text{газ}}$ – расход газа, потребляемого двигателем, дм³/мин;

$n_{\text{двиг}}$ – частота вращения коленвала двигателя при номинальном режиме, мин⁻¹;

Объем газа, необходимый для работы, находим из формулы 4;

$$V_{\text{газ}} = \frac{V_{\text{шп}} \cdot \left(\frac{100-\zeta}{100}\right) \cdot \tau}{\Theta \cdot \alpha}, \quad (4)$$

где $V_{\text{газ}}$ – объем газа, поступающего в 1 цилиндр двигателя, дм³;

τ – коэффициент наполнения рабочей камеры двигателя, для дизельного двигателя.

Принимая во внимание формулы 2-4 и подставив их в формулу 1, получим выражение 5:

$$N_e = \frac{1,985 \cdot \eta_m \cdot M_1 \cdot T_{cm} \cdot \varphi_n \cdot P_o \cdot G_T}{(\varepsilon - 1) \cdot P_{cm} \cdot (h_v + g \cdot H_v) \cdot \eta_v} \cdot \left[\lambda(\rho - 1) + \frac{\lambda_p \rho}{n_2 - 1} \cdot \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \cdot \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right] \quad (5)$$

где λ_p – степень повышения давления, $\lambda_p=2$;

ε – степень сжатия, $\varepsilon=16,5$;

φ_n – коэффициент полноты диаграммы, который принимается равным: $\varphi_n = 0,95$;

α – коэффициент избытка воздуха, $\alpha = 1,3$;

n_1 – величина показателя политропы сжатия для дизельных двигателей без надува, $n_1 = 1,38$;

n_2 – показатель политропы расширения, $n_2 = 1,26$;

η_v – коэффициент наполнения двигателя, $\eta_v = 0,86$;

ρ – плотность топлива, кг/м^3 ;

δ – степень последующего расширения, $\delta = 12,99$

l_o – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива, $l_o = 14,452$ кмоль возд./ кг топл.

Результаты расчета мощностных показателей для двигателя не оснащенного турбонаддувом и двигателя с турбонаддувом представлены в таблицах 1 и 2. Расчет и построение регуляторной характеристики двигателя.

Построение кривых скоростной характеристики ведется в интервале частот вращения коленчатого вала:

от $n_{\min} = 600 \text{ мин}^{-1}$ до значения $n_{\max} = 2100 \text{ мин}^{-1}$.

где n_N – частота вращения коленчатого вала при номинальной мощности.

Расчетные точки кривых эффективной мощности и эффективного удельного расхода топлива определяются [3,4] по следующим зависимостям (6) через каждые 200 мин^{-1} .

$$N_{b_x} = N_b \left(a \frac{n_x}{n} + b \frac{n_x^2}{n^2} - c \frac{n_x^3}{n^3} \right) \quad (6)$$

где, N_e – номинальная эффективная мощность, кВт;

N_{ex} – эффективная мощность, кВт;

n_x – частота вращения коленчатого вала в искомой точке скоростной характеристики, мин^{-1} ;

$$g_{b_x} = g_b \left(a_1 - b_1 \frac{n_x}{n} - c_1 \frac{n_x^2}{n^2} \right) \quad (7)$$

где, g_e – удельный эффективный расход топлива при номинальной мощности (г/кВт-ч);

g_{ex} – удельный эффективный расход топлива, г/кВт-ч .

a, b, c, a_1, b_1, c_1 – коэффициенты, значения которых устанавливаются экспериментально (таблица 1).

Часовой расход топлива (кг/ч) определяются по формуле [8,9]:

$$G_{Tx} = g_{ex} \cdot N_{ex} \cdot 10^{-3}, \quad (8)$$

Следовательно, часовой расход, зависящий от режимов подачи газообразного топлива можно рассчитать по формуле:

$$G_{mk} = N_{mk} \cdot g_b \cdot (a_1 - b_1 \frac{n_k}{n} + c_1 \frac{n_k^2}{n^2}) \cdot 10^{-3}, \quad (9)$$

Таблица 1 – Значения эмпирических коэффициентов для расчета скоростной характеристики дизельного двигателя ЯМЗ-238

a	b	c	a ₁	b ₁	c ₁
0.50	1.50	1.00	1.55	1.55	1.00

Математическая модель формулы 10, исследует мощность (Вт), при различных процентах запального дизельного топлива, характеризующимся переменными плотности топлива и его суммарным расходом топлива, будет иметь вид, представленный в матрице 10.

$$Ne = \begin{vmatrix} p_0 G_{T_0} & p_0 G_{T_{0+1} \dots} & p_0 G_{T_z} \\ p_0 + 1 G_{T_0} & p_0 + 1 G_{T_{0+1} \dots} & p_0 + 1 G_{T_z} \\ p_x G_{T_0} & p_x G_{T_{0+1} \dots} & p_x G_{T_z} \end{vmatrix} \quad (10)$$

где p_0 и p_x – наименьшее и наибольшее значение плотности топливо-воздушной смеси, принимаем наименьшее значение за плотность газо-воздушной смеси $p_0 = 0,8$ кг/м³, а наибольшее значение по плотности дизеле-воздушной смеси $p_x = 1,3$ кг/м³;

G_{T_0} и G_{T_z} – наименьшее и наибольшее значение суммарного расхода топлива, принимаем $G_{T_0} = 34$ кг/ч, $G_{T_z} = 46$ кг/ч.

Результаты исследования. В результате математического моделирования данные по мощности экспериментального двигателя ЯМЗ-238 (Вт) в зависимости от расхода и процентного состава суммарного газообразного и дизельного топлива сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчет мощности двигателя в зависимости от расхода и процентного состава топлива, кВт

% диз.. топлива	Часовой расход топлива, кг/ч						
	34	36	38	40	42	44	46
0	125418,03	132795,56	140173,10	147550,63	154928,16	162305,69	169683,22
10	126663,20	134113,98	141564,75	149015,53	156466,31	163917,08	171367,86
20	127908,37	135432,39	142956,41	150480,43	158004,45	165528,47	173052,50
30	129153,53	136750,80	144348,07	151945,33	159542,60	167139,87	174737,13
40	130398,70	138069,21	145739,72	153410,24	161080,75	168751,26	176421,77
50	131643,87	139387,62	147131,38	154875,14	162618,89	170362,65	178106,41
60	132889,03	140706,04	148523,04	156340,04	164157,04	171974,04	179791,05
70	134134,20	142024,45	149914,70	157804,94	165695,19	173585,44	181475,68
80	135379,37	143342,86	151306,35	159269,84	167233,34	175196,83	183160,32
90	136624,54	144661,27	152698,01	160734,75	168771,48	176808,22	184844,96
100	137869,70	145979,68	154089,67	162199,65	170309,63	178419,61	186529,60

Обсуждение результатов. В результате математического моделирования графическое отображение данных по мощности экспериментального двигателя ЯМЗ-238 (Вт) в зависимости от расхода и процентного состава суммарного газообразного и дизельного топлива представлено на рисунке 2.

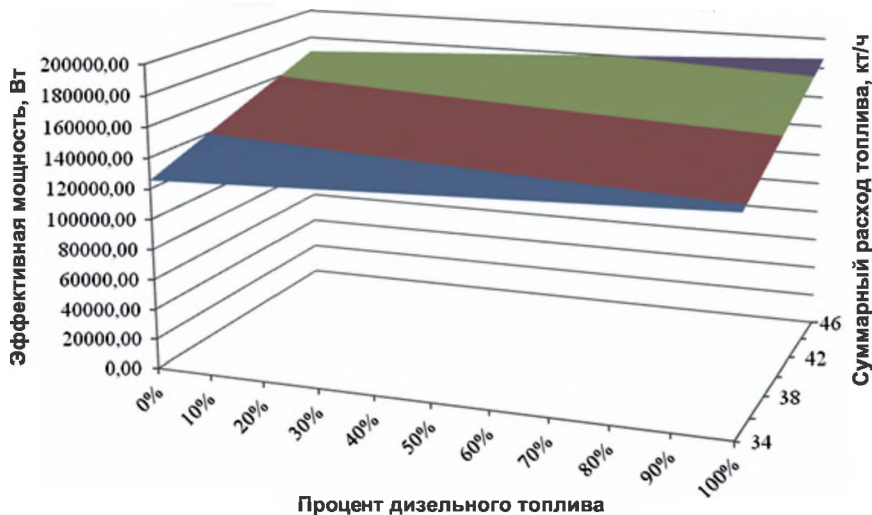


Рисунок 2 - Расчет мощности двигателя, в зависимости от расхода и процентного состава газодизельного топлива.

Вывод: Показатели мощности двигателя при его переводе с жидкого (дизельного) на газообразное топливо (природный газ) снижаются на 10%, что показывает анализ формулы по подсчёту данной мощности, данный эффект возникает под влиянием плотности топливоздушная смеси поступающей в цилиндр.

Источник финансирования исследований: Саратовский завод энергетического машиностроения, г. Саратов, Россия.

Список литературы

1 *Бибенин Е.В.* Создание системы для применения различных видов газообразного топлива / В.В. Володин, Е.В. Бибенин // Саратов-АГРО.2011: материалы научно-практической конференции 2 специализированной выставки; Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова. - Саратов, 2011. – С. 125-127.

2 *Володин В.В.* Выбор и обоснование газо-воздушного смеси-теля двигателя внутреннего сгорания / В.В. Володин, Е.В. Бебенин // Грузовик и строительно-дорожные машины. – М., 2012. – №10. – С. 41–44.

3 *Загородских Б.П., Бебенин Е.В., Володин В.В.* Стендовые испытания системы эжекционной подачи газообразного топлива в дизелях / Б.П. Загородских, Е.В. Бебенин, В.В. Володин // Транспорт на альтернативном топливе – М., 2012. –№2(26). – С.17–19. (ISSN №2073-1329)

4 *Захаров В.П., Денисов А.С., Сарсенбаева Л.Х., Биниязов А.М., Бралиев А.Б.* Повышение эффективности эксплуатации форсированных автомобильных дизельных двигателей совершенствованием управления объемом масла в смазочной системе // Научный журнал «Новости науки Казахстана». – Алматы, 2018. – №2. – С. 106-120

5 Патент РФ №2291316МПК: F02M Устройство подачи природного газа с внешним смесеобразованием / Загородских Б.П., Агабабян Р.Е., Бебенин Е.В. – А01В 15/00, RU 2169998; Опубликовано: 10.07.2006, Бюл. №19, 4с.

6 Патент РФ на полезную модель №105372 МПК: F02M, Система распределенного эжекционного впрыска газообразного топлива/ *Володин В.В., Загородских Б.П., Бебенин Е.В.* приоритет 21 декабря 2010, бюл №16 от 10.06.2011г.

7 *Ченцов Н.А. Бебенин Е.В., Захаров В.П.* Экономическое обоснование комплекса средств по повышению использования газомоторного топлива// Научно-технический журнал «Новости науки Казахстана» Алматы.- 2014 №4 с.118-126.

8 *Biniyazov A.M.* Operation maintaining of automobile forced diesel engines with ensuring of functional condition of the lubrication system in exploitation / A.M. Biniyazov, A.N. Bayakhov, A.YU. Bektilevov, R.S. Sadykov, V.P. Zakharov, L.KH. Sarsenbaeva // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD) ISSN(P): 2249-6890; ISSN(E): 2249-8001Vol. 9, Issue 3, Jun 2019, 1761-1768 © TJPRC Pvt. Ltd.

9 *Martin F.A.* Developments in engine bearings. "Tribol Retiprocat. Engines. Proc. 9-th Leeds-Lyon Symp. Tribol 7-10 sept. 1982., p. 9-28.

10 *Moore D.F.* Principles and Applications of Tribology. Pergamon Inter. Library, 1975. – 272 p.