

П. Ю. МАЛЫШКИН, ст. преподаватель
А. Н. КАРТАШЕВИЧ, д-р техн. наук, профессор

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
Горки, Республика Беларусь

Количество доступных и используемых источников энергии на Земле не безгранично, а увеличение количества наземного транспорта повышает потребление энергетических ресурсов, человечество все чаще задумывается о том, что наступит время, когда появится дефицит энергии. Поэтому бережное и рациональное отношение к источникам энергии, увеличение используемой ее полезной доли, с каждым годом становится все более актуальным [1–4].

На долю сельского хозяйства приходится около 50 % всей энергии, потребляемой в Республике Беларусь, более 40 % которой приходится на дизельное топливо [13]. Широкое применение дизельных двигателей подталкивает исследователей к комплексу мер по снижению потребления этого вида топлива. Развитие в данном направлении проводится по нескольким направлениям.

Во-первых, создание электротранспорта с питанием от аккумуляторной батареи, однако данное направление достаточно трудно реализовать в сельском хозяйстве.

Во-вторых, совершенствование конструкции двигателя внутреннего сгорания, использующего традиционное топливо.

В-третьих, применение добавок и присадок в топливо с целью повышения эффективности сгорания за счет изменения его физических и химических свойств.

В-четвертых, применение альтернативных и смесевых топлив.

Спектр возобновляемых альтернативных видов топлива, применяемых для автотракторной техники, в настоящее время довольно широк. Спирты, вода, эфиры, водород, аммиак, и их производные, а также сжатые и сжиженные углеводородные газы.

Как показывают исследовательские работы и опытная эксплуатация, значительную экономию дизельного топлива и одновременно улучшение экологических показателей можно получить за счет введе-

ния в воздушный заряд дизеля различных добавок, например, таких как газовое топливо [6–8, 10].

Применение сжиженных углеводородных газов (англ. *Liquefied petroleum gas (LPG или LP gas)*) вводимых в состав воздушного заряда являются хорошими заменителями высокотоксичных ароматических соединений, кроме этого, достаточно широко распространены на территории страны

Основным технико-экономическим показателям двигателя является его топливная экономичность. Чем больше тепловой энергии выделилось при сгорании топлива и преобразовалось в полезную работу, тем экономичнее двигатель. Топливную экономичность двигателя при использовании добавок оценивают по абсолютным и удельным расходам топлива по зависимостям (1, 2):

$$G_T = G_{DT} + G_{GT}, \quad (1)$$

где G_{DT} – часовой расход дизельного топлива (ДТ), %;

G_{GT} – часовой расход газового топлива (ГТ), %.

Удельный эффективный расход топлива:

$$g_e = g_{eDT} + g_{eGT}, \quad (2)$$

где g_{eDT} – удельный эффективный расход дизельного топлива, %;

g_{eGT} – удельный эффективный расход газового топлива, %.

Удельный эффективный расход топлива g_e связан с часовым расходом зависимостью (3) [11].

$$g_e = 10^3 \frac{G_T}{N_e}, \quad (3)$$

где G_T – часовой расход топлива, кг/ч;

N_e – эффективная мощность двигателя, кВт.

После стендовых испытаний дизеля и получения лабораторных данных, проводилась их обработка на компьютере в приложении *Microsoft Excel*. Полученная зависимость суммарного удельного расхода топлива дизеля Д-245.5S2 от часового расхода ДТ, с добавкой сжиженного газа при нагрузке 10, 50, 75, 100 % и номинальной частоте вращения представлена на рис. 1.

Подача сжиженного газа от 0 до 4,8 кг/ч регулируется блоком управления [12] с учетом исследований [5, 9] путем изменения времени открытого состояния t_T газовых форсунок от 0 до 9 мс.

Подача газа 1,8 ($t_r = 5$ мс) и 2,94 кг/ч ($t_r = 8$ мс) снижает дымность отработавших газов с 27 % при номинальной мощности до 15,6 и 13,1 % соответственно. При нагрузке дизеля (рис. 1) менее 50 % наблюдается резкое увеличение удельного расхода топлива.

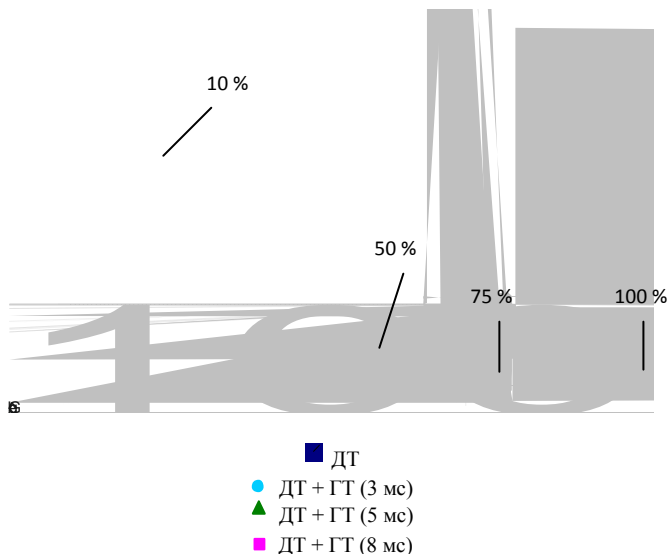


Рис. 1. График зависимости удельного расхода топлива дизеля Д-245.5S2 от часового расхода ДТ

Изменение удельного расхода топлива g_e (%) дизеля Д-245.5S2 в зависимости от степени использования мощности N_e (%) при работе на дизельном топливе и номинальной частоте вращения коленчатого вала $n_n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ представлено на рис. 2.

Эффективная мощность $N_e = 70$ кВт и удельный расход топлива ($g_e = 223 \text{ г/кВт} \cdot \text{ч}$) на номинальном режиме приняты за 100 %. Полученная эмпирическая зависимость (4) по определению удельного эффективного расхода топлива ($g_{e \text{ расч}}$) дизелем Д-245.5S2 в зависимости от степени использования мощности (с достоверностью аппроксимации $R^2 = 0,9999$) достаточно точно согласуется с лабораторными данными (рис. 2).

$$g_{e \text{ расч}} = -0,0004 \cdot N_e^3 + 0,101 \cdot N_e^2 - 8,5 \cdot N_e + 340, \quad \% \quad (4)$$

где N_e – эффективная мощность двигателя, %.

При анализе рис. 2 видим, что удельный расход топлива имеет наименьшее значение при максимальной мощности $N_e = 100 \%$.

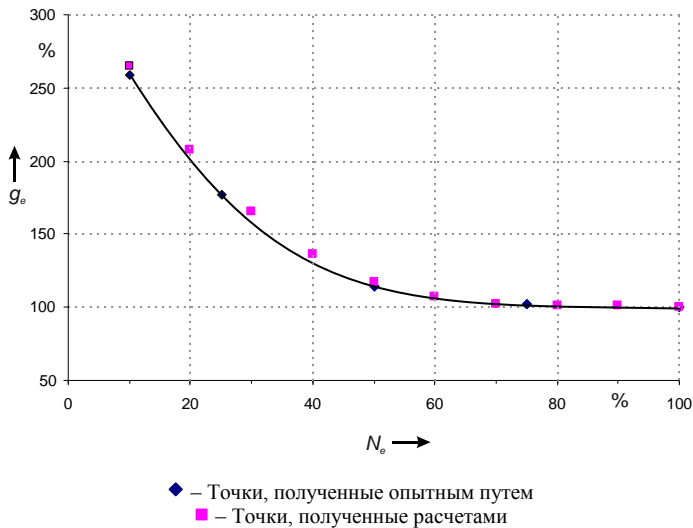


Рис. 2. Изменение удельного расхода топлива дизеля Д-245.5S2 в зависимости от степени использования мощности

Недогрузка двигателя значительно влияет на топливную экономичность. Повышение удельного расхода топлива на 5 % наблюдается при степени использования мощности дизеля $N_e = 63,6 \%$; при $N_e = 56,5 \%$ g_e увеличивается на 10 %; при $N_e = 48,3 \%$ – g_e увеличивается на 20 %; при $N_e = 34,7 \%$ – g_e увеличивается на 50 %. При снижении степени использования мощности ниже 21,5 % удельный эффективный расход топлива возрастает более чем в 2 раза.

Эффективная работа дизеля наблюдается при степени использования мощности от 63,6 до 100 %, при этом удельный расход топлива не превышает 5 % от номинального.

Добавка сжиженного углеводородного газа (LPG), на номинальном режиме, вводимого в состав воздушного заряда дизеля Д-245.5S2 с подачей 1,8 и 2,94 кг/ч способствует увеличению полноты сгорания топлива и усиливает выгорание сажевых частиц в цилиндре, что приводит к уменьшению дымности отработавших газов в 1,73 и 2,06 раза и снижения потребления дизельного топлива на 10,6 и 18,2 % соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альтернативные виды топлива для двигателей / А. Н. Карташевич [и др.]. – Горки: БГСХА, 2013. – 376 с.
2. Безопасность жизнедеятельности человека / В. Н. Босак [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2018. – 312 с.
3. Босак, В. Н. Безопасность жизнедеятельности человека / В. Н. Босак. – Старый Оскол: ТНТ, 2022. – 356 с.
4. Зубакин, А. С. Экономическая эффективность использования генераторного газа в качестве топлива / А. С. Зубакин, С. А. Плотников, П. Ю. Малышкин // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2021. – Вып. 6. – С. 202–205.
5. Исследования тракторного дизеля при подаче газа с использованием планирования эксперимента / П. Ю. Малышкин [и др.] // Вестник БГСХА. – 2019. – № 2. – С. 239–243.
6. Карташевич, А. Н. Влияние подачи газового топлива на экологические показатели дизеля / А. Н. Карташевич, П. Ю. Малышкин // Вестник БГСХА. – 2013. – № 3. – С. 110–115.
7. Малышкин, П. Ю. Обеспечение тяговой характеристика колесного трактора при работе на смешанном дизельно-газовом топливе / П. Ю. Малышкин // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2021. – Вып. 6. – С. 220–224.
8. Малышкин, П. Ю. Оптимизация подачи газового топлива для тракторного дизеля / П. Ю. Малышкин // Вестник БГСХА. – 2022. – № 4. – С. 168–172.
9. Метод расчета и проектирования дизеля с наддувом, охладителем наддувочного воздуха с системой подачи газового топлива / А. Н. Карташевич [и др.] // Вестник БРУ. – 2017. – № 3. – С. 35–44.
10. Обельницкий, А. М. Топливо и смазочные материалы / А. М. Обельницкий – Москва: Высшая школа, 1982. – 208 с.
11. Скотников, В. А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля / В. А. Скотников, А. А. Машенский, А. С. Солонский. – Москва: Агропромиздат, 1986. – 383 с.
12. Электронная система впрыска газового топлива в дизель: пат. 10060 Респ. Беларусь, МПК F 02M 43/00 / А. Н. Карташевич, П. Ю. Малышкин, заявитель УО БГСХА. № и 20130295; заявл. 05.04.2013; опубл.: 30.04.2014. // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 2 – С. 150.
13. Якубович, А. И. Экономия топлива на тракторах / А. И. Якубович, Г. М. Кухаренко, В. Е. Тарасенко. – Минск: БНТУ, 2009. – 229 с.

Аннотация. Приведены результаты испытаний дизеля Д-245.5S2 с добавкой сжиженного углеводородного газа (LPG). Выполнен анализ изменения основных технико-экономических, экологических показателей дизеля и представлена зависимость по определению удельного эффективного расхода топлива.

Ключевые слова: дизель, сжиженный углеводородный газ, топливная экономичность, мощность, удельный расход топлива.