

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ БИОГАЗА В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТОПЛИВА

В. А. ШАПОРЕВ, Р. С. ДАРГЕЛЬ

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407; e-mail: vitlik3991@mail.ru.; ruslandargel@mail.ru

(Поступила в редакцию 18.09.2020)

*Статья предлагает методику расчета экономической эффективности применения топлив с добавлением биогаза для дизельных двигателей колесных тракторов тягового класса 1,4 кН. В настоящее время не существует универсальных методик, которые могли бы позволить проводить комплексную оценку сравнительной экономической эффективности применения различных видов топлив. При этом необходимо оценивать эффективность использования каждого нового альтернативного вида топлива с точки зрения его создания, стоимости изменения систем трактора, снижения дымности и токсичности отработавших газов и снижение расхода дизельного топлива.*

*Для разработки методики расчета экономической эффективности применения топлив с добавлением биогаза для дизельных двигателей колесных тракторов тягового класса 1,4 кН принимались данные, которые были получены в ходе цикла экспериментальных исследований замещения части дизельного топлива биогазом на эффективные и экологические показатели работы дизеля 4ЧН 11,0/12,5 (Д-245.5S2). Отсюда следует, что экономическая эффективность от снижения ущерба, наносимого токсичными компонентами, выбрасываемыми в атмосферу с отработавшими газами дизеля, равна примерно 394 руб./трактор в год при применении смесей биогаза и дизельного топлива. Следовательно, применение биогаза позволяет сократить расход дизельного топлива и значительно ослабить экологические проблемы за счет снижения ущерба, наносимого окружающей среде отработавшими газами дизельными двигателями тракторов и транспортных средств.*

**Ключевые слова:** Биогаз, дизельное топливо, альтернативные топлива, отработавшие газы, вредные вещества, экономическая эффективность.

*The article proposes a method for calculating the economic efficiency of using fuels with the addition of biogas for diesel engines of wheeled tractors of a traction class of 1.4 kN. Currently, there are no universal methods that could allow for a comprehensive assessment of comparative economic efficiency of using various types of fuels. At the same time, it is necessary to assess the efficiency of using each new alternative type of fuel in terms of its creation, the cost of changing tractor systems, reducing the smoke and toxicity of exhaust gases and reducing the consumption of diesel fuel.*

*To develop a methodology for calculating the economic efficiency of using fuels with the addition of biogas for diesel engines of wheeled tractors of a traction class of 1.4 kN, we used data that were obtained in the course of a cycle of experimental studies, when we replaced a part of diesel fuel with biogas and measured effective and environmental performance indicators of the diesel engine 4ChN 11.0/12.5 (D-245.5S2). The economic efficiency from reducing the damage caused by toxic components emitted into the atmosphere with diesel exhaust gases is approximately 394 rubles / tractor per year when using mixtures of biogas and diesel fuel. Consequently, the use of biogas can reduce the consumption of diesel fuel and significantly reduce environmental problems by reducing the damage caused to the environment by exhaust gases from diesel engines of tractors and vehicles.*

**Key words:** biogas, diesel fuel, alternative fuels, exhaust gases, harmful substances, economic efficiency.

### Введение

В сельскохозяйственном производстве одной из главных основ в растениеводстве и в животноводстве является машинно-тракторный парк. Насколько продуктивно функционирует машинно-тракторный парк, в большей степени зависит продуктивность и производительность труда всего агропромышленного комплекса. Работа машинно-тракторных агрегатов определяется, как правило, расходом топлива на единицу выполненной работы и производительностью [1].

Основными направлениями совершенствования автотракторных дизелей являются увеличение их улучшение экономичности, литровой и удельной мощности, надежности и снижение выбросов вредных веществ (ВВ) с отработавшими газами (ОГ) двигателей. Мировые производители автотракторных двигателей работают над снижением выбросов ВВ с ОГ двигателей. Большое количество современных тракторов и автомобилей оборудуются дизельными двигателями. Дизельные двигатели являются одним из основных источников загрязнения окружающей среды. Самая главная проблема, над которой работают на протяжении многих лет производители дизельных двигателей, – это выбросы  $\text{NO}_x$  с отработавшими газами [2–4].

В большинство стран мира действует в рамках программ по внедрению альтернативных видов топлив. Следует отметить, что Республика Беларусь обладает существенным потенциалом для выработки биогаза (БГ), так как активное развитие животноводческого комплекса страны обуславливает необходимость утилизации большого количества животноводческих отходов. На сегодняшний день в стране запущены в работу 12 биогазовых комплексов общей мощностью 18,155 МВт, также планиру-

ется развитие таких комплексов в ближайшем будущем. В Беларуси БГ набирает широкое распространения, его можно рассматривать как альтернативный возобновляемый компонент для моторных топлив. Соответственно для Республики Беларусь перспективным представляется использование биогаза (БГ) и растительных масел (РМ) [5].

Перспективность использования таких видов топлив объясняется следующим: позволяют полностью или частично заменить топливо из природных ресурсов, создаются из возобновляемых источников, и имеет способность к быстрому биоразложению; предоставляют возможность создания энергоавтономных сельскохозяйственных предприятий, независимых от поставок нефтяных топлив. Применение БГ и РМ положительно сказывается на парниковом эффекте, снижение выбросов вредных веществ с ОГ. При производстве биотоплива на основе РМ, обеспечиваются потребности животноводства в белковом концентрате в виде шрота при экструдировании маслосемян.

Целью статьи является разработка методики расчета экономической эффективности применения топлива с добавлением БГ для дизельных двигателей колесных тракторов тягового класса 1,4 кН.

#### Основная часть

На сегодняшний день не существует единой методики, которая позволила бы проводить комплексную оценку сравнительной экономической эффективности применения различных видов топлив. Но необходимо оценивать эффективность использования каждого нового альтернативного топлива с точки зрения его создания, стоимости изменения систем трактора, снижения дымности и токсичности ОГ и снижение расхода ДТ.

Следует отметить, что рост себестоимости нефтяных топлив зависит от отдаленности месторождений нефти, значительного сокращения её ресурсов и увеличения темпов потребления, использование новых альтернативных топлив с добавлением БГ может иметь положительных эффект. Следует учитывать, что себестоимость такого топлива должна быть сравнима с себестоимостью ДТ. В работах В. А. Шапорева было доказано, что применение смесевых составов позволяет сократить расход нефтяного моторного топлива до 38 %, и в то же время применение смесевых составов дает высокий эффект за счет снижения дымности и токсичности ОГ дизелей [6–11].

А. С. Процеров и А. В. Белявцев в своей работе [12] предлагают вести сравнение методов уменьшения токсичности по показателю  $K$ , равному денежным расходам, связанным с применением каждого из методов, отнесенным к 1 % снижения токсичности ОГ:

$$K = \frac{C_n}{\eta_i}, \quad (1),$$

где  $C_n$  – стоимость расходов, связанных с применением  $i$ -го метода, подсчитываемая по формуле (1) с поправкой под двухтопливные системы питания:

$$C_n = aC_1 + b_{ДТ} \cdot \Delta G_{ДТ} + b_{БГ} \cdot \Delta G_{БГ} + C_2, \quad (2),$$

где  $C_1$  – стоимость средства снижения токсичности ОГ (руб);  $a$  – коэффициент годовой сменности устройства, равный годовому пробегу или наработке машины;  $\Delta G_{ДТ}$ ,  $\Delta G_{БГ}$  – изменение потребления дизелем ДТ (кг/ч) и БГ ( $m^3/ч$ ) (таблиц 1, 2, 3, 4);  $b_{ДТ}$  – стоимость 1 кг ДТ (руб);  $b_{БГ}$  – стоимость 1  $m^3$  БГ (руб);  $C_2$  – стоимость эксплуатации, обслуживания и ремонта конструктивных нововведений (руб).

Эффективность снижения концентрации  $i$ -го токсичного компонента ( $\eta_i$ ), рассчитываемая по формуле:

$$\eta_i = \frac{C_{i1} - C_{i2}}{C_{i1}} \cdot 100\%, \quad (3),$$

где  $C_{i1} - C_{i2}$  – соответственно, концентрации  $i$ -го компонента без применения и с применением метода снижения токсичности, %.

При работе дизеля на номинальном скоростном режиме на смесях БГ с ДТ снижение твердых частиц в ОГ составляет 12–66 %.

Согласно методике [13], эффективность применения смесей БГ с ДТ можно оценить по снижению экономического ущерба, наносимого загрязнением окружающей среды (табл. 1–4).

Таблица 1. Расход ДТ и БГ по регулировочной характеристика дизеля 4ЧН 11,0/12,5

85% ДТ + 15% БГ		70% ДТ + 30% БГ	
Расход ДТ, кг/ч	Расход БГ, м <sup>3</sup> /ч	Расход ДТ, кг/ч	Расход БГ, м <sup>3</sup> /ч
14,11	9,20	11,84	16,36
14,00	9,38	11,60	16,69
14,10	9,21	12,60	15,33
14,12	9,19	13,23	14,48
14,42	8,69	12,20	15,87

Таблица 2. Расход ДТ и БГ по нагрузочной характеристика дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при n=1800 мин<sup>-1</sup> и рациональном значении угла опережения впрыскивания топлива  $\Theta_{оп.впр}=22^\circ$  до в.м.т.

85% ДТ + 15% БГ		70% ДТ + 30% БГ	
Расход ДТ, кг/ч	Расход БГ, м <sup>3</sup> /ч	Расход ДТ, кг/ч	Расход БГ, м <sup>3</sup> /ч
2,64	1,70	2,56	3,36
4,99	2,84	4,80	5,57
7,23	4,45	6,89	8,70
9,50	5,76	9,48	11,50
12,40	8,27	11,78	16,18
14,02	8,73	13,70	17,20

Таблица 3. Расход ДТ и БГ по нагрузочной характеристика дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при n=1400 мин<sup>-1</sup> и рациональном значении угла опережения впрыскивания топлива  $\Theta_{оп.впр}=22^\circ$  до в.м.т.

85% ДТ + 15% БГ		70% ДТ + 30% БГ	
Расход ДТ, кг/ч	Расход БГ, м <sup>3</sup> /ч	Расход ДТ, кг/ч	Расход БГ, м <sup>3</sup> /ч
1,81	0,22	1,58	0,39
3,47	0,44	3,30	0,80
5,22	0,64	4,90	1,20
6,80	0,83	6,90	1,69
8,83	1,08	9,00	2,20
10,73	1,31	11,46	2,80
13,21	1,61	13,37	3,27
14,69	1,79	14,52	3,55

Таблица 4. Расход ДТ и БГ по скоростной характеристика дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при рациональном значении угла опережения впрыскивания топлива  $\Theta_{оп.впр}=22^\circ$  до в.м.т.

85% ДТ + 15% БГ		70% ДТ + 30% БГ	
Расход ДТ, кг/ч	Расход БГ, м <sup>3</sup> /ч	Расход ДТ, кг/ч	Расход БГ, м <sup>3</sup> /ч
15,54	9,11	15,58	18,24
15,39	9,00	15,16	17,86
15,29	8,92	15,32	17,84
14,20	8,32	11,84	15,26
6,84	3,89	4,9	6,66
3,01	1,71	2,86	3,46

Материальный ущерб от загрязнения атмосферы для каждого соответствующего источника определим по формуле:

$$Y = \gamma \cdot \sigma \cdot f \cdot M, \quad (4)$$

где  $Y$  – величина ущерба (руб/год);  $\gamma$  – относительный коэффициент ущерба (руб/усл. кг);  $\sigma$  – безразмерная величина, относительной опасности загрязнения воздуха для конкретных условий;  $f$  – поправка, учитывающая характер рассеяния примеси в атмосфере,  $f=10$  для автотранспорта;  $M$  – приведенная масса годового выброса загрязнений, определяемая по формуле:

$$M = \sum A_i m_i, \quad (5)$$

где  $A_i$  – показатель относительной агрессивности примеси  $i$ -го вида (усл. кг/кг);  $m_i$  – масса годового выброса примеси  $i$ -го вида в год (т/год).

Для оценки применения топлива с добавкой БГ был произведен расчет эффективности, с использованием разработанного программного обеспечения [14].

#### Заключение

Из расчета экономической эффективности применения топлив с добавлением биогаза для дизельных двигателей колесных тракторов тягового класса 1,4 кН по предложенной нами методике, получили следующие выводы.

Экономическая эффективность от снижения ущерба, наносимого токсичными компонентами, выбрасываемыми в атмосферу с ОГ дизеля, равна примерно 394 руб./трактор в год при применении смесей БГ и ДТ. Следовательно, применение данного топлива позволяет (в зависимости от режима

работы дизеля) сократить расход ДТ и значительно ослабить экологические проблемы за счет снижения ущерба, наносимого окружающей среде ОГ дизельными двигателями тракторов и транспортных средств.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Производство биогаза в Республике Беларусь и Швеции. Обмен опытом. – Уппсала, 2012, ISBN: 978-91-86189-15-0 – 39 с.
2. Карташевич, А. Н. Альтернативные виды топлива для двигателей / А. Н. Карташевич, В. С. Товстыка, П. Ю. Малышкин, Г. Н. Гурков, А. В. Бучинская. – Горки: БГСХА – 2012. – С. 376.
3. Плотников, С. А. Разработка числовых методов определения свойств новых топлив / С. А. Плотников, А. Н. Карташевич // Вестник машиностроения. – 2018. – № 3. – С. 7–10.
4. Карташевич А. Н. Применение этанолсодержащих топлив в дизеле. Часть I. / А. Н. Карташевич, С. А. Плотников, Г. Н. Гурков. – Киров: Типография «Авангард», 2011. – 116 с.
5. Клочков, А. В. Биогаз: итоги и перспективы использования / А. В. Клочков, П. М. Новицкий // Наше сельское хозяйство. – 2017. – Выпуск 74. – С. 34–35.
6. Шаповрев, В. А. Определение рациональных регулировок дизеля 4ЧН 11,0/12,5 для работы на смесях дизельного топлива с биогазом / В. А. Шаповрев, А. Н. Карташевич С. А. Плотников // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 1. – С. 149–153.
7. Шаповрев, В. А. Результаты стендовых испытаний дизеля 4ЧН 11,0/12,5 на смесях дизельного топлива с биогазом / В. А. Шаповрев, А. Н. Карташевич // Научно-технический журнал для работников агропромышленного комплекса: Агропортал. – 2020. – № 1. – С. 44–48.
8. Шаповрев, В. А. Исследование эффективных и экологических показателей дизеля на смесях дизельного топлива с биогазом / В. А. Шаповрев, А. Н. Карташевич // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 1. – С. 122–126.
9. Шаповрев, В. А. Исследование влияния биогаза на эффективные и экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 / В. А. Шаповрев // Известия международной академии аграрного образования. – 2020. – № 49. – С. 64–69.
10. Шаповрев, В. А. Результаты исследования влияния биогаза на эффективные и экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 / В. А. Шаповрев, А. Н. Карташевич // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 1. – С. 127–132.
11. Шаповрев, В. А. Влияние газомоторного топлива на эффективные и экологические показатели дизеля / В. А. Шаповрев, А. Н. Карташевич, Р. С. Даргель // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2020. – № 2. – С. 14–20.
12. Белявцев А. В., Процеров А. С. Топливная аппаратура автотракторных дизелей. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 224 с.
13. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды. – Москва, 1983. – 124 с.
14. Расчет экономической эффективности применения альтернативных топлив в ДВС «РЭЭПАТ-ДВС. Реестр программ для электронно-вычислительных машин: пат. 2018612815 / С. А. Плотников, Ю. В. Ланских, В. А. Подгорный, М. В. Смольников, П. Н. Черемисинов; заявитель ФГБОУ ВО «ВятГУ» – № 2018612815; заявл. 16.01.2018; опубл. 28.02.2018 // Справочник патентов России. – Режим доступа: <https://patentinform.ru/programs/reg-2018612815.html>. – Дата доступа: 21.10.2020.