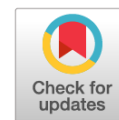


УДК 629.3.027.3

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-96419>

Оригинальное исследование



О возможности использования природного газа в качестве топлива для сельскохозяйственных тракторов

А.Р. Кульчицкий

АО «Камешковский механический завод», г. Камешково, Россия

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир, Россия

Цель исследования – оценка эффективности перевода дизельных двигателей, используемых на сельскохозяйственной самоходной технике, на полное или частичное питание природным газом (метаном).

Метод исследования: аналитический.

Результаты и их применение. В сельском хозяйстве до 25% эксплуатационных затрат приходится на топливо. Однако целесообразность и эффективность перевода дизельных двигателей, используемых на сельскохозяйственной самоходной технике, на полное или частичное питание природным газом (метаном) можно оценить только с учетом ряда сопутствующих объективных и субъективных факторов. С одной стороны, цена эквивалентного количества (с точки зрения выполнения работы) природного газа более чем в 2 раза ниже, чем цена дизельного топлива. При этом природный газ является самым экологически чистым углеводородным топливом. Но, с другой стороны, налицо недостаточность заправочной инфраструктуры, а экологическая чистота самого природного газа – это не гарантия экологичности самого двигателя. Также важное значение имеет и безопасность эксплуатации газового оборудования, находящегося под повышенным давлением.

Выводы. Во-первых, использование природного газа взамен дизельного топлива требует учета разницы в физико-химических характеристиках этих топлив, что обуславливает как требования к организации рабочего процесса, так и достоинства и недостатки такой замены. Во-вторых, процесс сгорания природного газа по сравнению с дизельным топливом характеризуется повышенным образованием воды, приводя к более интенсивному обводнению смазочного масла, хотя и позволяет снизить выброс в атмосферу диоксида углерода. Важную роль играет безопасность эксплуатации техники, использующей ПГ, и, в первую очередь, это касается баллонов, рабочее давление в которых при заправке составляет 20,0...25,0 МПа.

Ключевые слова: природный газ; принудительное зажигание; газодизель; мощность; выбросы вредных веществ; цена; безопасность

Для цитирования:

Кульчицкий А.Р. О возможности использования природного газа в качестве топлива для сельскохозяйственных тракторов // *Тракторы и сельхозмашины*. 2022. Т. 89, № 1. С. 7-14. DOI: 10.17816/0321-4443-96419

DOI: 10.17816/0321-4443-96419

Original study

About the possibility of using natural gas as a fuel on agricultural tractors

Aleksey R. Kulchitskiy

JSC "Kameshkovsky Mechanical Plant", Kameshkov, Russia
Vladimir State University A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir, Russia

AIMS: Evaluation of the effectiveness of converting diesel engines used in agricultural self-propelled vehicles to fully or partially natural gas (methane) fueled engines.

METHOD: Is analytical.

RESULTS: In agriculture up to 25% of operating expenses are fuel costs. However, the only number of the concomitant objective and subjective factors allow us to estimate expedience and efficiency of converting diesel engines used in agricultural self-propelled vehicles for full or partial supply of natural gas (methane). On the one hand, the price of an equivalent amount (in terms of work performance) of natural gas is more than 2 times lower than the price of diesel fuel. At the same time, natural gas is the most environmentally friendly hydrocarbon fuel. But, on the other hand, the underdeveloped refueling infrastructure is obvious, and the environmental friendliness of natural gas itself is not a guarantee of the environmental friendliness of the engine itself. Also, the safety of gas equipment operation under high pressure is an important matter.

CONCLUSIONS: Firstly, the use of natural gas instead of diesel fuel requires taking into account the difference in the physico-chemical characteristics of these fuels, which determines both the requirements for the organization of the working process and the advantages and disadvantages of such replacement. Secondly, the combustion process of natural gas, compared to diesel fuel, is characterized by increased formation of water leading to more intensive watering of lubricating oil, although it reduces carbon dioxide emission into the atmosphere. Safety of natural gas equipment operation plays an important role, and first of all, it is concern of cylinders that are filled at pressure of 20.0...25.0 MPa.

Keywords: *natural gas; forced ignition; gas diesel; power; pollutant emission; price; safety*

Cite as:

Kulchitskiy AR. About the possibility of use natural gas on agricultural tractors. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2022;89(1):7–14. DOI: 10.17816/0321-4443-96419

Received: 14.01.2022

Accepted: 10.02.2022

Published: 15.03.2022

ВВЕДЕНИЕ

Согласно Решению Совета Евразийской экономической комиссии от 29.10.2021 № 127 в Технический регламент Таможенного союза «О безопасности сельскохозяйственных и лесохозяйственных тракторов и прицепов к ним» (ТР ТС 031/2012, принятого Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 20 июля 2012 г. № 60) внесены существенные изменения, касающиеся требований к экологическому уровню двигателей, работающих на газовом топливе. Под газовым топливом в ТР ТС 031/2012 понимается сжиженный нефтяной газ (СНГ – пропан-бутановая смесь) и природный газ (метан), причем в последнем случае сразу оговаривается, что газ находится на тракторе в сжатом (т. е. компримированном – КПГ) виде, а не в сжиженном (СПГ – сжиженный природный газ) [1].

Хотя СНГ и КПГ являются газовыми топливами, но возможности их использования различны, что в первую очередь определяется наличием достаточной заправочной инфраструктуры. Этот вопрос по заправкам СНГ практически решен – почти на каждой второй АЗС есть такая возможность. Однако в настоящее время эффективность использования пропан-бутановой смеси существенно снижена в связи с ростом цен на это топливо, тем более что в среднем для замены 1 л бензина требуется 1,25 л СНГ. В отношении цены КПГ более привлекателен, но в отношении заправочной инфраструктуры ситуация крайне неблагоприятна: на конец 2021 г. в РФ только около 600 автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС), причем основное количество находится в Европейской части страны. Для сравнения: в Пакистане – около 3500 заправок, в Иране, Бразилии и Аргентине – около 2000, в США и Италии – около 1000. Т. е. плотность покрытия территории РФ метановыми заправками очень низкая: по сравнению, например, с Ираном (мировым лидером по применению природного газа на транспортных средствах), площадь территории которого в 10 раз меньше, в РФ средняя плотность покрытия метановыми заправками в 33 раза меньше.

При этом надо отметить, что все АГНКС расположены либо в городах, либо вдоль автомобильных трасс. Поэтому возможность использования природного газа на сельскохозяйственной технике (тракторах, комбайнах), а также на грузовом транспорте, эксплуатируемом в сельской местности, крайне неоднозначна: эта техника не будет регулярно уезжать от места постоянной эксплуатации до АГНКС. И даже возможность использования передвижных заправочных автомобилей проблему не решает, поскольку стоимость обслуживания в этом случае будет переноситься на стоимость КПГ, т. е. и на стоимость услуг и сельскохозяйственной продукции.

Положительным моментом в вопросе применения природного газа (ПГ) в качестве топлива явилось

утверждение Еврокомиссией в январе 2022 г. классификации чистых источников энергии, в которую был включен метан [2]. Если со времен принятия Киотского Протокола (1997 г.) Западная Европа относилась достаточно сдержанно к метану, считая его одним из 6 газов, ответственных за парниковый эффект, то в настоящее время ситуация меняется. Также следует учитывать, что в сельском хозяйстве до 25% эксплуатационных затрат приходится на топливо, а поскольку природный газ дешевле традиционного дизельного топлива (ДТ), то интерес к использованию более дешевого топлива очевиден [3, 4].

На сельскохозяйственной технике используются дизельные двигатели. В случае перехода на использование только газового топлива потребуются обеспечение внешнего смесеобразования и принудительного воспламенения газозвдушной смеси (ГВС) за счет электрических свечей. В этом случае исключается возможность перейти опять на питание дизельным топливом. Для сохранения возможности использования ДТ наряду с КПГ (т. е. обеспечение двутопливности) производится организация газодизельного процесса.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является оценка эффективности перевода дизельных двигателей, используемых на сельскохозяйственной самоходной технике, на полное или частичное питание природным газом (метаном).

Метод исследования – аналитический.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Принципиальным различием природного газа и ДТ является их агрегатное состояние – газ и жидкость, что обуславливает совершенно различный тип организации рабочего процесса двигателя. Если ДТ подается непосредственно в цилиндр двигателя (где смешивается с воздухом), то ПГ может подаваться как во впускной трубопровод (смешиваясь с воздухом до попадания в цилиндр), так и в цилиндр. Однако если ДТ воспламеняется в цилиндре благодаря высокой температуре воздуха вследствие его сжатия поршнем (самовоспламенение от сжатия), то ПГ может воспламеняться только от постороннего источника: электрической искры или открытого пламени (принудительное воспламенение). В принципе, возможно и самовоспламенение ПГ, что реализуется в двигателях с HCCI-процессом (*Homogeneous Charge Combustion Process*), но в этом случае момент воспламенения ГВС будет неконтролируем, что обусловит нестабильность работы двигателя.

Возможность использования в двигателе внутреннего сгорания (ДВС) с воспламенением от сжатия любого газообразного топлива может быть реализована двумя способами: обеспечением двутопливности (создание

так называемых. газодизелей – двигателей, способных работать как на ДТ, так и одновременно на ДТ и газе), либо – однопаливности (чисто газовый двигатель). В первом случае газоздушная смесь воспламеняется в цилиндре двигателя от запальной дозы ДТ (последняя воспламеняется от сжатия), а во втором – принудительно с помощью электрической искры. Таким образом, переход на использование ПГ вместо ДТ возможен только при изменении как способа смесеобразования, так и типа воспламенения. А это уже требует изменения конструкции двигателя.

Целесообразность перехода с дизельного топлива на КПГ определяется, в первую очередь, следующими основными факторами:

- объемная плотность практически любого газа приблизительно в 1000 раз меньше, чем у жидкого топлива, поэтому эквивалентное (с точки зрения выполняемой работы) количество газа потребует такого же увеличения объема топливных емкостей, поэтому на транспорте природный газ хранится в баллонах высокого давления (рабочее давление – 20,0...25,0 МПа), т. е. в виде КПГ, что хотя и позволяет уменьшить требуемый объем баллонов в 200...250 раз, но это все равно существенно больше объема топливного бака для традиционного топлива;
- снижение эксплуатационных затрат на топливо вследствие меньшей цены на эквивалентное количество КПГ по сравнению с ДТ (1 м³ метана эквивалентен 1 л ДТ): в России в декабре 2021 г. средняя стоимость ДТ составляла 50,0 руб./л, а КПГ – 20,0 руб./м³;
- уменьшение загрязнения окружающей среды, поскольку в отработавших газах (ОГ) газовых двигателей отсутствуют продукты сгорания серы (содержащейся в ДТ), что обуславливает отсутствие коррозионного воздействия на металлические детали, и почти не образуются частицы сажи; оба этих фактора позволяют применять каталитические нейтрализаторы для сокращения эмиссии прочих вредных газообразных веществ;
- улучшение эргономичности в связи с меньшим уровнем шума рабочего процесса и вибрации двигателя, обусловленных более низкой скоростью нарастания давления при сгорании природного газа по сравнению с ДТ;
- увеличение ресурса двигателя в 1,5...2,0 раза в связи с отсутствием эффекта смывания масляной пленки со стенок цилиндров двигателя (последнее характерно для применения жидкого топлива);
- наличие разветвленной заправочной инфраструктуры, что особенно важно для сельскохозяйственной техники (тракторов, комбайнов).

Кроме того, есть ряд моментов, которые необходимо учитывать при создании и эксплуатации газомоторной техники, тем более что на газовое топливо переводят двигатели, предназначенные для работы

на традиционном топливе: ДТ или бензине. В первую очередь, тот факт, что конструкция и регулировки современных двигателей десятилетиями отработывались с учетом использования традиционных топлив, физические и химические характеристики которых изменяются в достаточно узком диапазоне и отличаются от аналогичных характеристик ПГ [5].

Эффективность применения ПГ определяется степенью замещения им ДТ и коэффициентом его использования: первое характеризует уменьшение применения традиционного топлива, а второе – полноту использования ПГ. Для двухтопливных двигателей при постоянстве степени замещения сокращение затрат на ДТ пропорционально величине нагрузки на двигатель: чем дольше двигатель работает с более высокой нагрузкой, тем больше используется ПГ, и, соответственно, тем больше разница в затратах на традиционное и альтернативное топливо. Однако характер работы транспортных средств предопределяет основную долю времени их использования на средних и малых нагрузках. Наиболее эффективно применение газодизелей для стационарного использования в составе генераторных и компрессорных установок, которые обычно загружены более чем на 80% от полной мощности. Максимальную же эффективность использования ПГ можно получить только при 100% замещении традиционного топлива, и если газовый двигатель создается на базе дизельного, то это означает отказ от дизельного типа рабочего процесса. Конструктивно подобное решение реализуется путем понижения степени сжатия двигателя во избежание неконтролируемого самопроизвольного воспламенения ПГ (т. е. объемного воспламенения, которое ошибочно принимают за детонацию) и установки системы электрического зажигания вместо системы топливopодачи дизельного топлива.

Природный газ в основном состоит из метана, но в зависимости от месторождения содержание метана колеблется от 60% до 98%. Природный газ транспортируется по газопроводам – исключительно из газовых месторождений, в зависимости от места добычи его состав неодинаков. Согласно данным в паспортах качества по 32 газопроводам, концентрация метана может колебаться в достаточно широком диапазоне: 62,4–68,5% (газопроводы Первомайск – Сторожовка и Карабулак – Грозный), 81,5–85,9% (Коробки – Жирное – Камыши, Саратов – Москва, Кумертау – Ишимбай – Магнитогорск и Хаджи-Абад-Фергана); в остальных случаях содержание метана свыше 90%. Однако физико-химические характеристики ПГ определяются не только этим параметром. Согласно ГОСТ 27577-2000 «Газ природный топливный компримированный для двигателей внутреннего сгорания», состав ПГ, подаваемого в общем потоке на автомобильные газонаполнительные компрессорные станции (АГНКС), содержание метана (и других углеводородов) не лимитируется, а ограничивается только

содержание негорючих компонентов (не более 7%). В основном, это требование выполняется, но есть и существенные отклонения (см. таблицу).

Для использования в двигателях важным является нормирование таких параметров как теплота сгорания, плотность, октановое число (ОЧ). Поэтому при поставке газомоторной техники в различные регионы необходимо иметь информацию о составе ПГ, и при существенном изменении состава ПГ (что оценивается числом Воббе согласно ГОСТ 31369-2008 «Вычисление теплоты сгорания, плотности, относительной плотности и числа Воббе на основе компонентного состава») необходимы изменения регулировок газового оборудования и системы зажигания для сохранения мощностных характеристик.

Переход на ПГ (т. е. метан CH_4) взамен ДТ позволяет решать и такую современную проблему, как снижение эмиссии диоксида углерода CO_2 в атмосферу. Источником образования CO_2 является углерод, входящий в состав любого углеводородного топлива: в дизельном топливе содержание углерода составляет 86...87% по массе, в природном газе – 75%. Таким образом, теоретически, при полном сгорании ПГ образование CO_2 по сравнению со сгоранием ДТ снижается в 1,16 раза.

Для условий применения в двигателях важным является такой фактор, как образование воды при сгорании любых углеводородных топлив, и чем больше в составе молекулы углеводорода массовое содержание водорода, тем больше образуется воды. В метане, по сравнению с ДТ, водорода больше почти в 2 раза

(25% против 12...13% по массе), соответственно и воды образуется почти в два раза больше. Это приводит к более интенсивному обводнению моторного масла, а также может приводить к шунтированию электрических свечей при пуске холодного двигателя. Но зато при сгорании метана в двигателях почти не образуется сажи (твердого углерода), это предопределяет практически полное отсутствие отложений сажи на деталях, образующих камеру сгорания: поршень, огневое днище головки цилиндров, стенки цилиндров, а также отсутствие сажи в масле. Указанное воздействие на моторное масло предъявляет новые требования к пакету присадок в маслах.

Еще одним фактором, требующим учета для условий применения в двигателях, является сильная зависимость скорости горения ГВС от ее состава. В дизеле процесс горения носит преимущественно диффузионный характер, при котором скорость горения определяется скоростью смешения топлива с окислителем. А в двигателях с внешним смесеобразованием скорость горения ГВС определяется скоростью химических реакций (т. е. кинетикой), соответственно, процесс горения имеет кинетический характер. Скорость химических реакций на несколько порядков выше скорости смешения, и скорость тепловыделения в газовых двигателях больше, чем в дизелях. Однако если во фронте горения диффузионного пламени состав топливоздушная смеси стехиометрический (независимо от значения коэффициента избытка воздуха, среднего как по объему камеры сгорания, так и по времени

Таблица. Характеристики природного газа из разных месторождений

Table. Chemical composition of natural gas from different fields

№ п/п	Газопровод	CH_4 , %	C_2H_6 , %	C_3H_8 , %	C_4H_{10} , %	C_5H_{12} , %	N_2 , %	CO_2 , %	Теплотворность, МДж/ $нм^3$
1.	Саратов – Москва	84,5	3,8	1,9	0,9	0,3	7,8	0,8	35,80
2.	Первомайск – Сторожовка	62,4	3,6	2,6	0,9	0,2	30,2	0,1	28,30
3.	Серпухов – Ленинград	89,7	5,2	1,7	0,5	0,1	2,7	0,1	37,43
4.	Гоголево – Полтава	85,8	0,2	0,1	0,1	0,0	13,7	0,1	30,98
5.	Кумертау – Ишимбай – Магнитогорск	81,7	5,3	2,9	0,9	0,3	8,8	0,1	36,80
6.	Хаджи-Абад – Фергана	85,9	6,1	1,5	0,8	0,6	5,0	0,1	38,35
7.	Карабулак – Грозный	68,5	14,5	7,6	3,5	1,0	3,5	1,4	45,85
8.	Коробки – Жирное – Камыши	81,5	8,0	4,0	2,3	0,5	3,2	0,5	41,45

горения), то состав ГВС может меняться в широком диапазоне [6]. И максимальная скорость горения ГВС наблюдается при несколько обогащенном составе (коэффициент избытка воздуха около 0,95), при отклонении как в сторону обогащения, так и в сторону обеднения скорость горения ГВС уменьшается, при этом уменьшается скорость тепловыделения и увеличиваются теплотери. Подобная зависимость скорости горения от состава ГВС влияет на развиваемую двигателем мощность: максимальное значение мощности можно получить при стехиометрическом составе, но в этом случае возрастает вероятность перегрева деталей камеры сгорания и задира поршня [7].

Следующим фактором, обуславливающим эффективные показатели газового двигателя, является количественное регулирование рабочего процесса. Если в дизеле подобное регулирование обеспечивается за счет изменения количества подаваемого топлива, то в двигателях с внешним смесеобразованием это обеспечивается путем дросселирования впускного трубопровода. И даже если в этих двигателях подача топлива (бензина или газа) производится непосредственно в цилиндр двигателя, то подача воздуха все равно ограничивается дросселированием. Дросселирование вызывает увеличение разрежения в цилиндре, т. е. увеличиваются механические потери двигателя на преодоление этого сопротивления. Результат – снижение эффективной мощности двигателя. Таким образом, только при полностью открытом дросселе двигатель с внешним смесеобразованием может обеспечить ту же мощность, что и дизельный двигатель (на базе которого создан первый); на частичных нагрузках эффективность дизелей всегда выше (в 1,2...1,4 раза). Тем не менее, возможный вариант сохранения мощностных характеристик газового двигателя по сравнению с дизелем – это применения турбонаддува, что позволит увеличить количество подаваемой ГВС.

При всех изменениях, вносимых в базовую конструкцию дизельного двигателя, уровень унификации с газовым двигателем составляет не менее 80...85%, что крайне важно для обеспечения сервисного обслуживания техники, находящейся в эксплуатации. Но на транспортных средствах ПГ хранится в газовых баллонах. Объем баллонов под КПГ рассчитывается исходя из приблизительного соотношения по замещению одного литра ДТ одним кубометром газа, находящегося под атмосферным давлением (так называемый нормальный кубометр, нм³). Приблизительно – потому что фракционный состав (а соответственно, и теплотворность) как ПГ, так и ДТ зависит от особенностей месторождений газа и нефти. Таким образом, сжимая 1 нм³=1000 л ПГ в 200 раз, получаем, что для замещения 1 л дизельного топлива нужен баллон емкостью 5 л (в случае применения сжиженного ПГ это соотношение уменьшается еще в 2,5 раза).

Соотношение цен на ДТ и КПГ предопределяет меньшие (во втором случае) в 2,0...2,5 раза эксплуатационные затраты по статье «расход горюче-смазочных материалов». Здесь, правда, надо отметить, что подобное соотношение справедливо только при работе газового двигателя на полной мощности; на частичных режимах в связи с уменьшением эффективности газового двигателя эквивалентное количество газа возрастает до 1,3...1,5 с учетом коэффициента использования (как отмечено выше). Указанный естественный недостаток природного газа (то, что он газ), может быть устранен его сжижением за счет понижения температуры газа до -162 °С. Но в этом случае требуется специальное криогенное оборудование, что имеет свои достоинства и недостатки.

Важную роль играет безопасность эксплуатации техники, работающей на КПГ. Пристальное внимание потребителей привлекают, в первую очередь, баллоны высокого давления, в которых хранится КПГ. Если в баках с дизельным топливом и бензином давление атмосферное, а баллоны со сжиженным нефтяным газом находятся под давлением не более 1,2 МПа, то рабочее давление при заправке КПГ составляет 20,0...25,0 МПа. При этом указанное давление должно обеспечиваться при температуре газа, заправляемого в баллон, не выше температуры окружающего воздуха более чем на 15 °С, но не выше 333 К (60 °С). Реально при заправке пустых баллонов температура заправляемого газа (что можно оценить по температуре самого баллона) за счет сжатия повышается в большей степени, поэтому целесообразно (в случае возможности по времени) после первичной заправки дать остыть баллонам (в процессе чего давление в баллонах может снизиться до 1,0 МПа, т. е. на 10,0 кг/см²), а затем дозаправить до требуемого давления.

Что касается безопасности эксплуатации баллонов, то все типы баллонов под КПГ рассчитаны и проходят испытания на давление 78,0...80,0 МПа: металлические (I тип), металлопластиковые (II и III типы) и композитные (IV тип). Поэтому у них фактически четырехкратный запас прочности. Кроме того, баллоны II, III и IV типов при разрыве не разлетаются на части: неметаллическая оболочка просто «раскрывается». Кроме того, все газовые баллоны оснащены вентилями с защитой по четырем параметрам: давлению, температуре, обрыву газовой трубки и остановке двигателя – в каждом случае происходит перекрытие подачи газа из баллона. Причиной повышенных давления и температуры может быть нагрев баллонов от солнца (если нет защитных кожухов) или от источника открытого пламени. Обрыв газовой трубки может произойти от неаккуратного физического воздействия. Перечисленные требования полностью соответствуют требованиям ТР ТС 031/2012 (Приложение 1), регламентирующим установку и эксплуатацию газового оборудования для КПГ на сельскохозяйственных тракторах.

Следует отметить еще другие факторы, которые обуславливают безопасность применения КПГ. Например, в случае утечки природный газ улетучивается, поскольку его плотность в 2 раза меньше плотности воздуха (а пропан-бутановая смесь даже в газообразном состоянии в 1,5 раза плотнее воздуха, и поэтому будет не улетучиваться, а скапливаться под транспортным средством). И воспламенить природный газ сложнее, чем даже бензин: температура воспламенения бензина – 300 °С, дизельного топлива – 320...380 °С, а метана – 600...700 °С. При этом не всякая метановоздушная смесь может воспламениться: если концентрация природного газа в смеси будет менее 5% (переобедненная смесь) или более 15% (переобогащенная смесь), то ни при какой температуре не произойдет воспламенение. В этом плане природный газ гораздо безопаснее водорода (к которому в настоящее время привлечено большое внимание): пределы воспламеняемости водородовоздушной смеси – от 4,1 до 75,0% содержания водорода в смеси, т. е. вероятность неконтролируемого воспламенения таких смесей гораздо выше, чем метановоздушных смесей.

ВЫВОДЫ

1. Использование природного газа (ПГ) взамен дизельного топлива (ДТ) требует учета разницы в физико-химических характеристиках этих топлив, что обуславливает как требования к организации рабочего процесса, так и достоинства и недостатки такой замены.
2. Применение ПГ в двигателях внутреннего сгорания возможно в случае организации рабочего процесса либо с принудительным воспламенением за счет электрической искры, либо с воспламенением от сжатия за счет обеспечения газодизельного процесса.
3. Процесс сгорания ПГ по сравнению с ДТ характеризуется, с одной стороны, повышенным образованием воды в связи с большим (в 2 раза) содержанием

водорода в молекуле газа, приводя к более интенсивному обводнению смазочного масла, но, с другой стороны, позволяет снизить выброс в атмосферу диоксида углерода в связи с меньшим (в 1,16 раза) содержанием углерода в молекуле газа.

4. В отличие от процесса сгорания ДТ скорость сгорания газозвушных смесей (ГВС) существенно зависит от состава такой смеси: максимальная скорость горения ГВС наблюдается при несколько обогащенном составе (коэффициент избытка воздуха около 0,95), при отклонении же состава смеси как в сторону обогащения, так и в сторону обеднения скорость горения ГВС уменьшается, при этом уменьшается скорость тепловыделения и увеличиваются теплотери.
5. Важную роль играет безопасность эксплуатации техники, использующей ПГ, и, в первую очередь, это касается баллонов, рабочее давление в которых при заправке составляет 20,0...25,0 МПа.
6. Принципиальная возможность замены дизельного топлива на природный газ (метан) для условий эксплуатации сельскохозяйственной техники определяется наличием заправочной инфраструктуры и ее доступностью для места работы такой техники.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Конфликт интересов. Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Исследование было осуществлено за счет собственных средств.

ADDITIONAL INFORMATION

Competing interests. The author declares no any transparent and potential conflict of interests in relation to this article publication.

Funding source. The study was conducted at the author's own expense.

ЛИТЕРАТУРА

1. Eurasiancommission.org [Интернет]. Совет Евразийской экономической комиссии. Решение от 29 октября 2021 года N 127 О внесении изменений в технический регламент Таможенного союза "О безопасности сельскохозяйственных и лесохозяйственных тракторов и прицепов к ним" (ТР ТС 031/2012) [дата обращения: 07.04.2022]. Доступ по ссылке: https://docs.eaeunion.org/docs/ru-ru/01430574/err_19112021_127.
2. News.mail.ru [Интернет]. Европа признала газ и атом чистой энергией [дата обращения: 07.04.2022]. Доступ по ссылке: <https://news.mail.ru/economics/49522620/>.
3. Саркисян В.А. Комплексное использование СПГ в агропромышленном комплексе – основа подъема сельского хозяйства России // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. 2011. № 6. С. 69–71.

4. Ким А.А. Совершенствование правового регулирования использования газа в качестве моторного топлива // Энергосвет. 2012. № 3. С. 26–30.
5. Лютко В., Луканин В.Н., Хачиян А.С. Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания. Москва: МАДИ (ТУ), 2000.
6. Махов В.З. Процессы сгорания в двигателях. Москва: МАДИ, 1980.
7. Воинов А.Н. Сгорание в быстроходных поршневых двигателях. Москва: Машиностроение, 1977.

REFERENCES

1. Eurasiancommission.org [Internet]. Sovet Evraziiskoi ekonomicheskoi komissii. Reshenie ot 29 oktyabrya 2021 goda N 127 O vnesenii izmenenii v tekhnicheskii reglament Tamozhennogo soyuza "O bezopasnosti sel'skokhozyaistvennykh i lesokhozyaistvennykh traktorov i pritsepov k nim" (TR TS 031/2012) [updated 2021 Oct 29; cited 2022 Mar 7]. Available from: https://docs.eaeunion.org/docs/ru-ru/01430574/err_19112021_127. (In Russ).
2. News.mail.ru [Internet]. Evropa priznala gaz i atom chistoj energiei [cited 2022 Mar 7]. Available from: <https://news.mail.ru/economics/49522620/>. (In Russ).
3. Sarkisyan V. The complex using of lng in agro-industrial sector – the basis of upheaval russian agriculture. *Autogas filling complex+alternative fuel*. 2011;(6):69–71. (In Russ).
4. Kim AA. Sovershenstvovanie pravovogo regulirovaniya ispol'zovaniya gaza v kachestve motornogo topliva. *Energosvet*. 2012;(3):26–30. (In Russ).
5. L'otko V, Lukanin VN, Khachiyani AS. *Primenenie al'ternativnykh topliv v dvigatelyakh vnutrennego sgoraniya*. Moscow: MADI (TU), 2000. (In Russ).
6. Makhov VZ. *Protsessy sgoraniya v dvigatelyakh*. Moscow: MADI, 1980. (In Russ).
7. Voinov AN. *Sgoranie v bystrokhodnykh porshnevnykh dvigatelyakh*. Moscow: Mashinostroenie; 1977. (In Russ).

ОБ АВТОРЕ

Кульчицкий Алексей Рэмович,

д.т.н.

адрес: Россия, 601301, Владимирская область, Камешковский р-н, г. Камешково, ул. Дорожная, 14

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9609-0829>

eLibrary SPIN: 6807-8316

E-mail: ark6975@mail.ru

AUTHOR'S INFO

Alexey R. Kulchitskiy,

Doctor of Sciences

address: Dorozhnaya street, 14, Kameshkovo, Vladimir Oblast, 601301, Russia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9609-0829>

eLibrary SPIN: 6807-8316

E-mail: ark6975@mail.ru