

## Совершенствование процесса заправки сельскохозяйственной техники газообразным топливом

### Improvement of the process of agricultural machinery fueling with gaseous fuel

В. А. МАРКОВ<sup>1</sup>, д-р техн. наук  
 Е. В. БЕБЕНИН<sup>2</sup>, канд. техн. наук  
 С. А. ЗЫКОВ<sup>3</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup> Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, Москва, Россия, vladimir.markov58@yandex.ru

<sup>2</sup> Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова, Саратов, Россия, bebenin@bk.ru

<sup>3</sup> Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия, zikov.sa@yandex.ru

V. A. MARKOV<sup>1</sup>, DSc in Engineering  
 E. V. BEBENIN<sup>2</sup>, PhD in Engineering  
 S. A. ZYKOV<sup>3</sup>, PhD in Engineering

<sup>1</sup> N. E. Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia, vladimir.markov58@yandex.ru

<sup>2</sup> N. I. Vavilov Saratov State Agrarian University, Saratov, Russia, bebenin@bk.ru

<sup>3</sup> Russian State Agrarian University — Moscow K. A. Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia, zikov.sa@yandex.ru

Истощение нефтяных месторождений и ухудшение экологической обстановки требуют поиска альтернативных источников энергии. Актуальность статьи обусловлена необходимостью более широкого использования альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания. В качестве альтернативных топлив для двигателей внутреннего сгорания рассматриваются как жидкие (синтетические топлива, биодизель, биоэтанол, смесевые биотоплива), так и газообразные топлива (природный газ, пропан-бутановые смеси, водород, диметиловый эфир). Одно из наиболее перспективных топлив — природный газ. В статье показаны преимущества использования природного газа в качестве моторного топлива. К проблемам, связанным с его использованием, относятся доставка топлива и заправка транспортных средств и сельскохозяйственной техники. Предложен усовершенствованный способ заправки транспортных средств и сельскохозяйственной техники газообразным топливом. Разработана технология заправки сельскохозяйственной техники, основанная на применении сменных кассетных модулей. Она позволяет сократить время заправки трактора более чем на 30 % по сравнению с традиционными способами заправки газообразным топливом. Представлена разработанная система распределенной подачи газообразного топлива в камеру сгорания дизельного двигателя. Система содержит газоздушные смесители, которые позволяют подавать газообразное топливо непосредственно под впускной клапан дизеля. Газоздушные смесители выполнены в виде вставки между корпусом двигателя и впускным коллектором и совмещены с газовыми электромагнитными клапанами. Рассмотренные технические решения могут быть использованы при разработке концепции перспективных газовых двигателей, обладающих требуемыми экологическими, экономическими и мощностными показателями.

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания; дизельный двигатель; газодизельный двигатель; дизельное топливо; газообразное топливо; природный газ; метан; система подачи газа в двигатель.

Depletion of oil fields and environmental deterioration demand the search of alternative sources of energy. Actuality of the article is driven by the need for increased use of alternative fuels in internal combustion engines. As alternative fuels for internal combustion engines, the article considers both liquid fuels (synthetic fuels, biodiesel, bioethanol, mixed biofuels) and gaseous fuels (natural gas, propane-butane mixture, hydrogen, dimethyl ether). Natural gas is one of the most promising among the fuels. The advantages of use of natural gas as motor fuel are shown. One of the problems of natural gas use is the fuel delivery and fueling of vehicles and agricultural machinery. An improved method of fueling of vehicles and agricultural machinery with gaseous fuel is suggested. A technology of fueling of agricultural machinery based on the use of removable cassette modules is developed. This technology allows to reduce the time of tractor fueling by more than 30 % compared to traditional methods of fueling with gaseous fuels. The developed system of distributed supply of gaseous fuel into the combustion chamber of diesel engine is presented. The system contains the gas-air mixers that allow to supply gaseous fuel directly under the inlet valve of diesel engine. The air-gas mixers are made in the form of a plug between the engine body and the inlet manifold and are combined with the gas solenoid valves. The considered technical solutions may be used when developing the concept for advanced natural gas engines with the required environmental, economic and power characteristics.

**Keywords:** internal combustion engine; diesel engine; gas diesel engine; diesel fuel; gaseous fuel; natural gas; methane; gas supply system.

#### Введение

Истощение нефтяных месторождений и ухудшение экологической обстановки требуют поиска альтернативных источников энергии. В качестве альтернативных топлив для двигателей внутреннего сгорания рассматриваются как жидкие (синтетические топлива, биодизель, биоэтанол, смесевые биотоплива), так и газообразные топлива (природный газ, пропан-бутановые смеси, водород, диметиловый эфир) [1].

Природный газ — наиболее известное и исследованное газомоторное топливо. Уникальные физико-химические свойства, значительные естественные запасы, развитая сеть доставки газа от месторождений во многие регионы страны по магистральным газопроводам и газозоводам, экологические преимущества в сравнении с традиционными видами топлива позволяют рассматривать природный газ как наиболее перспективное и универсальное моторное топливо России в XXI в. [1, 2].

Таблица 1

**Мировой рынок природного газа, используемого в качестве моторного топлива, по состоянию на ноябрь 2013 г.**

Страна	Количество АГНКС, шт.	Количество ГБА, шт.	Количество ГБА, приходящееся на одну АГНКС, шт.
Китай	5730	3 000 000	524
Пакистан	2997	2 790 000	931
Иран	2074	3 500 000	1688
Аргентина	1932	2 317 201	1199
Бразилия	1805	1 761 050	976
США	1438	250 000	174
Германия	915	96 349	105
Украина	324	388 000	1198
Россия	252	90 000	357
Всего в мире	25 348	19 631 166	774

Следует также отметить, что в соответствии с Постановлением Правительства РФ № 31 от 15 января 1993 г. стоимость 1 м<sup>3</sup> природного газа для автомобилей не должна превышать 50 % стоимости бензина А-76 (при примерно одинаковом энергосодержании этих количеств газового и жидкого топлива) [3]. Указанные факторы предопределяют все более широкое применение природного газа в качестве альтернативного топлива для автомобильного транспорта и различной с.-х. техники.

Одна из основных причин, сдерживающих широкое использование природного газа как моторного топлива в нашей стране, — недостаточно развитая сеть автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС). По состоянию на ноябрь 2013 г. в России было всего 252 АГНКС (табл. 1) [3], что для такой обширной территории явно недостаточно. При этом на одну АГНКС приходилось 357 газобаллонных автомобилей (ГБА), тогда как в Германии этот показатель был равен 105. И хотя существующая сеть АГНКС в настоящее время загружена не полностью, малочисленность этой сети создает серьезные проблемы для широкого внедрения газомоторного топлива. Как отмечено в работе [3], в такой ситуации водителям приходится преодолевать по 30—40 км до ближайшей АГНКС.

Целесообразность использования газомоторного топлива в дизельных двигателях с.-х. машин обусловлена необходимостью снижения себестоимости с.-х. продукции, а также обострением экологических проблем. Значительную часть себестоимости продукции сельского хозяйства составляют расходы на энергоносители. Так, в ее производстве затраты на горюче-смазочные материалы достигают 50 %. К тому же наибольшим спросом у потребителя пользуются экологически чистые продукты сельского хозяйства. В связи с этими обстоятельствами активно разрабатываются и внедряются технологии использования газообразного топлива в с.-х. машинах различного назначения. Наибольшее применение в с.-х. производстве нашли дизели, работающие на компримированном природном газе (КПГ), воспламенение которого осуществляется от запальной дозы нефтяного дизельного топлива [4—6].

**Цель исследования**

Многочисленные аналитические исследования [4—8] показывают, что в ближайшей перспективе рынок газомоторного топлива будет успешно развиваться (рис. 1). Однако доля применения газомоторного топлива, в частности КПГ, в производстве с.-х. продукции очень мала. Как отмечено выше, это объясняется главным образом тем, что инфраструктура для бесперебойного снабжения с.-х. техники природным газом практически отсутствует, доставка газомоторного топлива к местам работы с.-х. машин затруднена. Цель исследования заключается в разработке и совершенствовании способа заправки транспортных средств и с.-х. техники для их бесперебойного снабжения газомоторным топливом.

**Материалы и методы**

Проведенный анализ показал, что важнейшая задача состоит в организации снабжения с.-х. техники газообразным топливом. В современных условиях доставка газообразного топлива осуществляется преимущественно двумя способами — самозаправкой, когда автомобиль или с.-х. техника самостоятельно преодолевают расстояние до сравнительно удаленных АГНКС, и при помощи передвижных автогазозаправщиков (ПАГЗов), выполненных на базе грузовых автомобилей.

В справочной технической литературе имеются номограммы (рис. 2), позволяющие планировать организацию доставки традиционных жидких нефтяных топлив для нужд с.-х. производителей [9, 10]. Они достаточно просты в использовании и позволяют рассчитать требуемый объем доставки топлива с необходимой точностью. Но для оценки необходимого количества газомоторного топлива подобных номограмм не существует. В связи с этим на основе принципа построения номограммы, представленной на рис. 2, разработана методика планирования организации доставки газомоторного топлива на с.-х. предприятие.

**Результаты и их обсуждение**

Расчетное исследование процесса заправки целесообразно начать с оценки годового количества газомоторного топлива  $V_n$ , которое потребуется для выполнения планируемого объема работ. Для определения

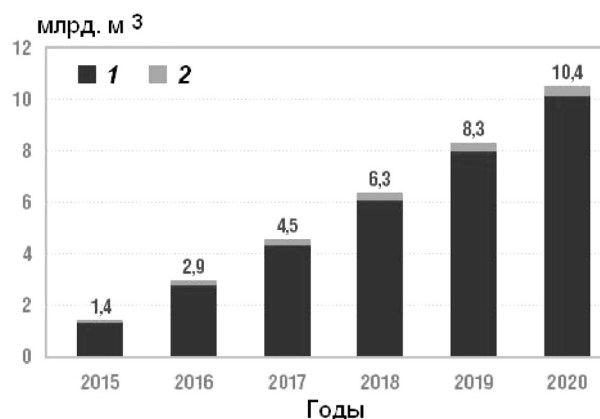
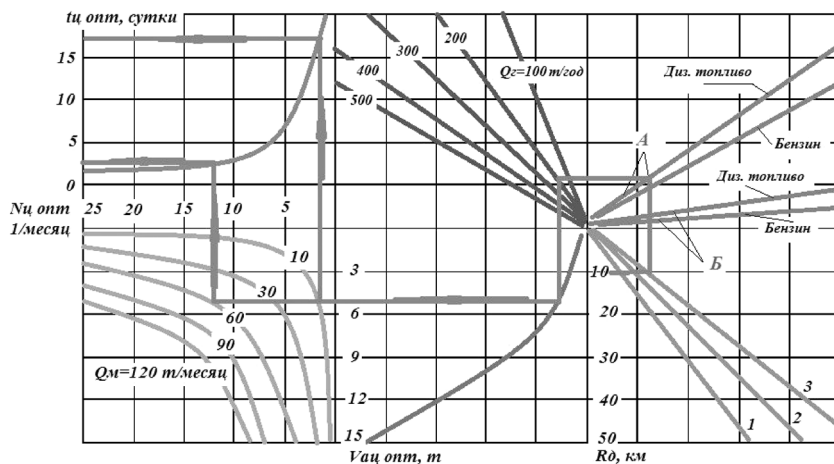


Рис. 1. Потенциал потребления КПГ автотранспортом (1) и с.-х. техникой (2)



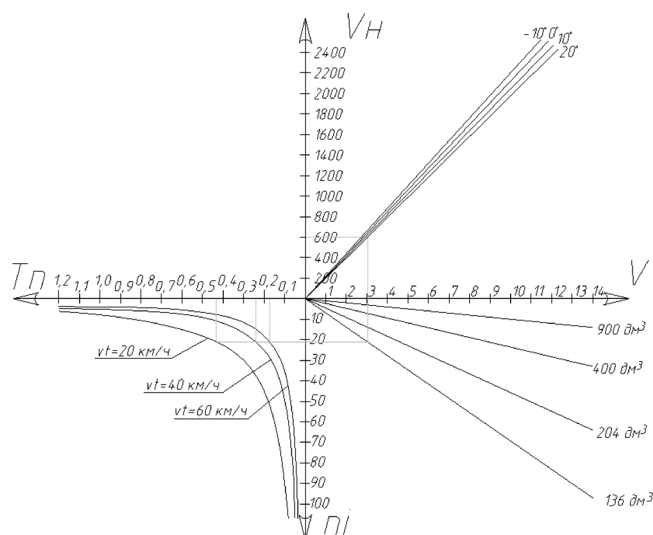
**Рис. 2. Номограмма для определения оптимальных объема, частоты и периодичности доставки нефтепродукта на нефтесклад по различным типам дорог:**

1 — улучшенная дорога; 2 — дорога с твердым покрытием; 3 — грунтовая дорога; А — модель с постоянным объемом доставки; Б — модель с переменным объемом доставки;  $R_d$  — расстояние доставки;  $Q_g, Q_m$  — годовая и месячная потребность хозяйства в топливе;  $V_{ц\text{ опт}}$  — оптимальное количество топлива в автоцистерне;  $M_{ц\text{ опт}}$  — оптимальная частота перевозки топлива в цистерне,  $t_{ц\text{ опт}}$  — оптимальная периодичность доставки топлива в цистерне

объема баллонов  $V$ , необходимого для транспортировки данного объема газа, использованы известные законы рассматриваемых физических процессов.

Изохорный процесс, осуществляемый с данной массой газа при постоянном объеме баллонов  $V$ , зависит от температуры газомоторного топлива. На рис. 3 представлены характеристики этого процесса в температурном диапазоне от  $-10$  до  $20$  °С (с шагом  $10$  °С). Для определения количества требуемых заправок  $n_i$  необходимо общий объем баллонов  $V$  разделить на объем газа, вмещающийся в баллоны при одной заправке.

Требуемое количество заправок станций для автотранспорта и с.-х. техники определялось по базовой су-



**Рис. 3. Номограмма для определения эффективного времени заправки газообразным топливом**

точной пропускной способности АГНКС с использованием соотношения [11]:

$$n_i = \frac{Q_r(l + t_{пр}m\beta_{п}v_T)k_H}{T_H n_{см} q \beta_{Г} v_T k_v}, \quad (1)$$

где  $Q_r$  — годовой объем работ (расход дизельного топлива), т;  $l$  — расстояние до заправки, км;  $t_{пр}$  — время простоя перед выполнением одной заправки, ч;  $m$  — количество поездок на заправку, выполняемых за день,  $m = 2$ ;  $\beta_{п}$  — коэффициент использования пробега,  $\beta_{п} = 0,5$ ;  $v_T$  — средняя скорость транспортного средства при движении на заправку, км/ч;  $k_H$  — коэффициент незавершенности перевозок,  $k_H = 1,1$ ;  $T_H$  — время, необходимое для доставки топлива, ч;  $n_{см}$  — число смен;  $q$  — объем груза, перевозимого за смену, т;  $\beta_{Г}$  — коэффициент использования грузоподъемности;  $k_v$  — коэффициент использования скорости,  $k_v = 0,8$ .

Эта формула справедлива для случая заправки автотранспорта нефтяным дизельным топливом. При определении

параметров процесса заправки с.-х. техники газомоторным топливом учитывалось, что 1 кг дизельного топлива по теплотворной способности эквивалентен  $1 \text{ м}^3$  газообразного топлива. При переходе от грузового транспорта к с.-х. технике значение грузоподъемности автомобиля заменено на тяговое усилие, характерное для данного трактора. При этом коэффициент использования грузоподъемности преобразуется в коэффициент использования тягового усилия.

С учетом формулы (1) и указанных преобразований время  $T_H$ , необходимое для заправки с.-х. техники газомоторным топливом (т.е. время движения транспортного средства к АГНКС и время заправки), может быть определено как:

$$T_H = \frac{Q_r(l + t_{пр}m\beta_{п}v_T)k_H}{n_i n_{см} q \beta_{Г} v_T k_v}. \quad (2)$$

Анализируя выражение (2) и номограмму на рис. 3, построенную по этой зависимости, можно сделать вывод о том, что при определении эффективного времени, отводимого на заправку с.-х. техники, получаем предельное значение данного времени. Если фактическое время заправки с.-х. техники газообразным топливом, определенное хронометрированием, окажется больше эффективного времени по номограмме, то процесс заправки необходимо признать неэффективным. Повысить эффективность заправки можно путем увеличения объема топлива, заправляемого за одну поездку, а также увеличения количества смен.

Разработана технология заправки с.-х. техники с помощью сменных кассетных модулей, при которой доставка газомоторного топлива, содержащегося в этих модулях, осуществляется специализированным транспортом. На рис. 4 представлен эскиз модуля, а на рис. 5 — схема расположения элементов крепления кассетного модуля

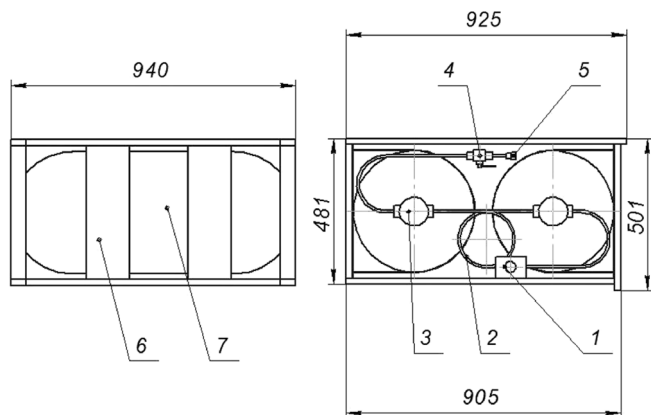


Рис. 4. Эскиз кассетного модуля:

1 — заправочное устройство; 2 — трубопроводы высокого давления; 3 — баллонные вентили; 4 — шаровой кран, запирающий кассетный модуль; 5 — рукав высокого давления с быстроразъемным соединением; 6 — рама кассетного модуля с ложементами; 7 — газовые баллоны

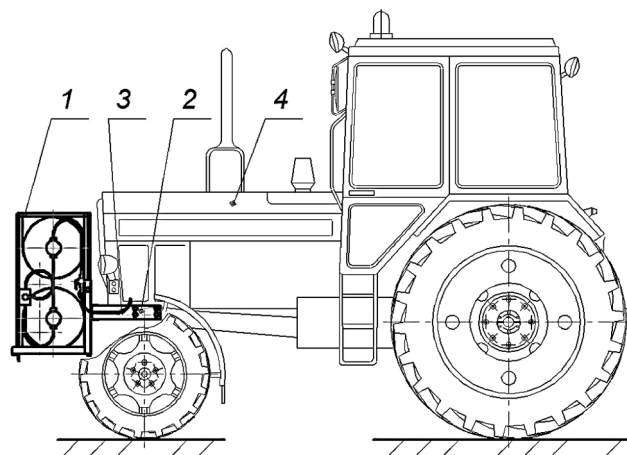


Рис. 5. Схема расположения элементов крепления кассетного модуля на тракторе МТЗ-82.1:

1 — кассетный модуль; 2 — установочный подрамник; 3 — рукав высокого давления; 4 — трактор

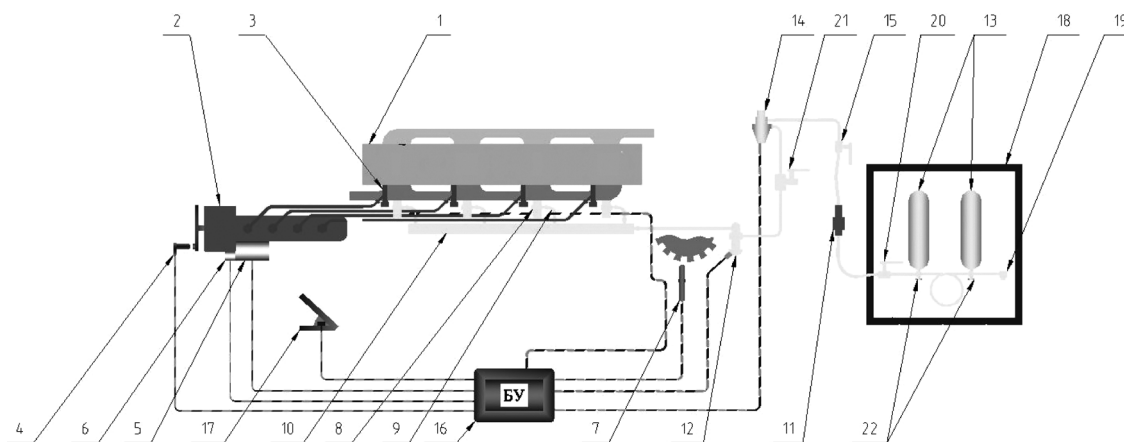


Рис. 6. Система распределенной подачи газообразного топлива двигателя Д-243:

1 — двигатель; 2 — топливный насос высокого давления (ТНВД); 3 — дизельные форсунки; 4 — датчик фазовой отметки; 5 — электронно-регулирующее устройство; 6 — датчик рейки ТНВД; 7 — датчик частоты вращения коленчатого вала; 8 — устройство эжекционной подачи газообразного топлива в двигатель; 9 — газовые рукава; 10 — газовый коллектор; 11 — рукав высокого давления с быстроразъемным соединением; 12 — датчик давления газа; 13 — газовые баллоны; 14 — газовый редуктор высокого давления; 15 — шаровой кран, запирающий систему; 16 — электронный блок управления; 17 — педальный задатчик; 18 — рама кассетного модуля; 19 — заправочное устройство; 20 — шаровой кран, запирающий кассетный модуль; 21 — узел сброса давления; 22 — баллонные вентили

на тракторе МТЗ-82.1. После установки на с.-х. технику сменные кассетные модули обеспечивают питание двигателя газообразным топливом.

Технология апробирована на тракторе МТЗ-82.1, оснащенном оборудованием для работы тракторного дизеля типа Д-243 производства Минского моторного завода по газодизельному циклу. Данное оборудование представляет собой систему распределенной подачи газообразного топлива (рис. 6), разработанную совместно с ООО "ППП Дизельавтоматика" [12, 13]. Система снабжена уникальными газозоодушными смесителями, которые позволяют подавать газообразное топливо непосредственно под тарелку впускного клапана дизеля. Газозоодушные смесители выполнены в виде проставки между корпусом двигателя и впускным коллектором и совмещены с газовыми электромагнитными клапанами.

Таблица 2

Результаты расчета времени, необходимого для заправки с.-х. техники газомоторным топливом

Объем газообразного топлива на один трактор, м <sup>3</sup> /год	Средняя скорость доставки топлива, км/ч		
	20	40	60
200	9,003	4,911	3,547
400	2,051	1,428	0,957
600	1,206	0,658	0,475
800	0,603	0,329	0,238
1000	0,402	0,219	0,158
1200	0,302	0,165	0,119
1400	0,241	0,132	0,095
1600	0,201	0,11	0,079
1800	0,172	0,094	0,068
2000	0,151	0,082	0,059
2200	0,134	0,073	0,053

Таблица 3

**Результаты экспериментальных исследований заправки трактора МТЗ-82.1 газомоторным топливом**

Параметры	Само-заправка на АГНКС	Заправка от ПАГЗа	Заправка с использованием кассетных модулей
Время работы трактора на одной заправке <sup>1</sup> , мин	236	236	236
Время на отсоединение трактора от с.-х. орудия <sup>2</sup> , мин	3	3	3 <sup>10</sup>
Переезд трактора (ПАГЗа) к месту заправки <sup>3</sup> , мин	50	50 <sup>11</sup>	20 <sup>12</sup>
Время подготовки кассетного модуля к заправке <sup>4</sup> , мин	0	0	3 <sup>13</sup>
Подготовительное время <sup>5</sup> , мин	2	2 <sup>14</sup>	3 <sup>15</sup>
Время заправки <sup>6</sup> , мин	6	6	6
Заключительное время <sup>7</sup> , мин	2	2	3 <sup>15</sup>
Переезд трактора к месту работы <sup>8</sup> , мин	50	10	20 <sup>12</sup>
Время на соединение трактора с с.-х. орудием <sup>9</sup> , мин	4	4	4
Затрачено времени на заправку, мин/ч	117/1,95	90/1,5	62/1
Всего затрачено времени, мин/ч	353/5,9	326/5,4	298/4,9

Примечание: 1 — время работы трактора на одной заправке газообразным топливом; 2 — включает время на изъятие шкворня из сцепки и рассоединение гидравлических систем трактора и с.-х. орудия; 3 — учитывается время переезда трактора к АГНКС, ПАГЗу, переезд ПАГЗа к месту заправки и перевоз кассетного модуля к АГНКС; 4 — время на снятие кассетного модуля с трактора; 5 — время на выполнение работ (открытие заправочного устройства, ввод заправочной иглы и т.д.) по подготовке к заправке; 6 — фиксировалось время от нажатия оператором кнопки "заправка" до нажатия кнопки "остановить"; 7 — время на выполнение работ (закрытие заправочного устройства, удаление заправочной иглы, сброс газа на "свечу" и т.д.) по подготовке к завершению заправки; 8 — учитывается время переезда трактора от АГНКС, ПАГЗа к месту работы; 9 — включает время на установку шкворня и соединение гидравлических систем трактора и с.-х. орудия; 10 — при использовании передвижного манипулятора данный показатель может быть равен нулю, так как снятие кассетного модуля с трактора может производиться в поле без отсоединения от с.-х. орудия; 11 — учитывается время на переезд ПАГЗа к месту заправки плюс время на переезд трактора от места работы к месту заправки (так как ПАГЗы не приспособлены к передвижению по грунтовым дорогам); 12 — учитывается время на переезд трактора к месту выгрузки кассетного модуля плюс время на перевоз кассетного модуля к месту заправки; 13 — учитывается время выгрузки кассетного модуля; 14 — учитывается время на подготовку трактора к заправке плюс время на подготовку ПАГЗа к заправке; 15 — учитывается время обслуживания средства доставки кассетного модуля.



**Рис. 7.** Схема расположения с.-х. производителя и АГНКС (указано расстояние между газоаппликативной станцией с КПГ, расположенной в г. Петровск Саратовской обл., и с.-х. предприятием и время доставки топлива)

В табл. 2 и на рис. 3 представлены результаты расчета времени доставки газомоторного топлива, полученные путем подстановки в выражение (2) значений тягового усилия трактора МТЗ-82.1  $q = 1,4$  т, расстояния до АГНКС  $l = 17,7$  км (на примере конкретного предприятия СПК им. Чапаева, на базе которого проводился эксперимент, см. рис. 7), числа смен  $n_{см} = 1$ , времени простоя перед выполнением одной заправки  $t_{пр} = 0,1$  ч (данное время взято из наблюдений при заправке серийной техники) и средней скорости передвижения до заправки грузового автомобиля ПАГЗа — 40 км/ч, легкового автомобиля — 60 км/ч, трактора — 20 км/ч.

С использованием номограммы, приведенной на рис. 3, определено эффективное время, отводимое на заправку с.-х. техники газомоторным топливом в зависимости от годового объема работ, равного  $800 \text{ м}^3$  топлива. Для подтверждения теоретических расчетов проведены экспериментальные исследования, результаты которых представлены в табл. 3 на рис. 8.

Для подтверждения эффективности использования кассетных модулей при заправке с.-х. техники газообразным топливом необходимо провести анализ технико-экономических показателей этого способа заправки в сравнении с другими. Для определения затрат на доставку газообразного топлива использована формула:

$$C_{ц} = \frac{Z_{пер}}{V_{газ}}$$

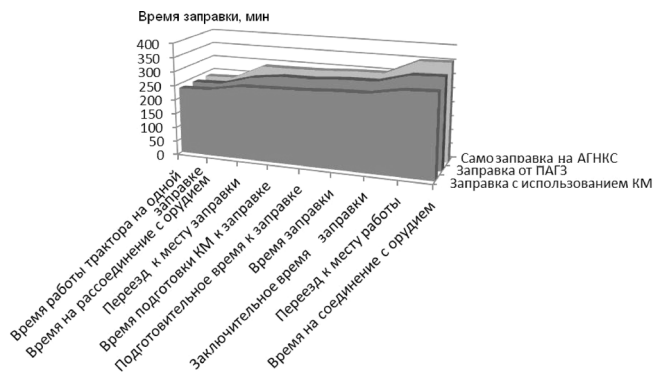


Рис. 8. Время, затраченное на заправку газобаллонного трактора МТЗ-82.1 тремя различными способами

где  $C_{ц}$  — себестоимость затрат на доставку газообразного топлива, руб/м<sup>3</sup>;  $Z_{пер}$  — затраты на перевозку топлива, руб.;  $V_{газ}$  — объем перевозимого топлива, м<sup>3</sup>.

Полученные расчетные данные представлены на рис. 9.

Абсолютные экономические показатели по специализированной технике, единичным образцам комбинированной и универсальной техники на отдельных технологических операциях определены путем расчета на единицу наработки в соответствии с ГОСТ Р 53056—2008 "Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки". Для получения результатов экономической оценки тракторов, оснащенных газобаллонным оборудованием, а также их оценки в сравнении с базовыми моделями тракторов расчет проведен по абсолютным экономическим показателям при выполнении конкретных с.-х. операций. Результаты расчета годовой экономии совокупных затрат сведены в табл. 4.

Таблица 4

Годовая экономия совокупных затрат денежных средств от эксплуатации новой техники

Показатель	Самозаправка	Заправка ПАГЗом	Заправка касетных модулей
Стоимость газообразного топлива, руб/м <sup>3</sup>	11,5	11,5	11,5
Стоимость доставки, руб/м <sup>3</sup>	16,62	0,04	0,03

Выводы

1. Предложен усовершенствованный способ заправки транспортных средств и с.-х. техники газообразным топливом, заключающийся в применении сменных касетных модулей, в которых размещены баллоны с КПП.

2. Проведенные исследования показали, что разработанная технология заправки с.-х. техники, основанная на применении сменных касетных модулей, позволяет сократить время заправки трактора более чем на 30 % по сравнению с традиционными видами заправки газообразным топливом.

3. Рассмотренные технические решения могут быть использованы при разработке концепции перспектив-

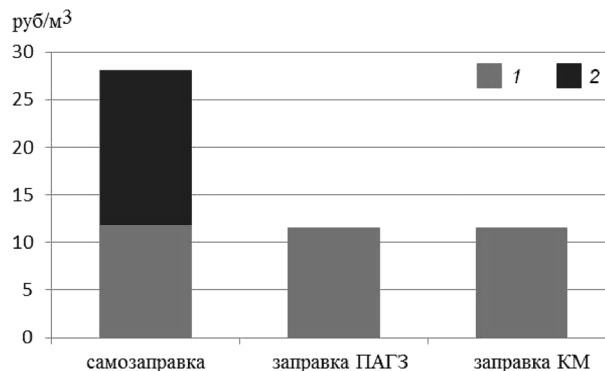


Рис. 9. Затраты на покупку 1 м<sup>3</sup> газомоторного топлива (1) и его доставку (2) при различных способах заправки трактора МТЗ-82.1

ных газовых двигателей, обладающих требуемыми экологическими, экономическими и мощностными показателями.

Литература и источники

- Александров А. А., Архаров И. А., Багров В. В. и др. Альтернативные топлива для двигателей внутреннего сгорания / Под ред. А. А. Александрова, В. А. Маркова. М.: ООО НИЦ "Инженер", ООО "Оника-М", 2012. 791 с.
- Гайворонский А. И., Марков В. А., Илатовский Ю. В. Использование природного газа и других альтернативных топлив в дизельных двигателях. М.: ООО "ИРЦ Газпром", 2007. 480 с.
- Марков В. А. Проблемы использования природного газа в качестве моторного топлива для городского автотранспорта // Грузовик. 2015, № 4. С. 6—12.
- Лиханов В. А. Природный газ как моторное топливо для тракторных дизелей. Киров: Изд-во Вятской ГСХА, 2002. 280 с.
- Коклин И. М., Наумов О. П., Савельев Г. С. Эксплуатационные испытания тракторов, переоборудованных для работы на компримированном природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008, № 10. С. 24—29.
- Гольятин В. Я. Тракторы на газомоторном топливе // Тракторы и сельхозмашины. 2015, № 2. С. 3—7.
- Марков В. А., Бебенин Е. В., Поздняков Е. Ф. Сравнительная оценка альтернативных топлив для дизельных двигателей // Транспорт на альтернативном топливе. 2013, № 5. С. 24—29.
- Патрахальцев Н. Н. Повышение экономических и экологических качеств двигателей внутреннего сгорания на основе применения альтернативных топлив: Учеб. пособие. М.: Изд-во РУДН, 2008. 267 с.
- Аллилуев В. А., Ананьин А. Д., Михлин В. М. Техническая эксплуатация машинно-тракторного парка. М.: Агропромиздат, 1991. 367 с.
- Ананьин А. Д., Михлин В. М., Габитов И. И. и др. Диагностика и техническое обслуживание машин: Учебник. М.: Академия, 2008. 432 с.
- Пирогов Ю. Н., Коваленко В. П., Новиков Е. В. и др. Математическое моделирование системы заправки сельскохозяйственных машин топливом // Международный технико-экономический журнал. 2011, № 1. С. 100—105.
- Коваленко В. П., Пирогов Ю. Н., Новиков Е. В. и др. Пути решения проблем процессов заправки сельскохозяйственной техники в полевых условиях при выполнении различных операций // Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса: Мат-лы I Всерос. науч.-практ. конф. Магадан, СВГУ, 2010. С. 181—185.
- Загородских Б. П., Володин В. В. Системы подачи газа в двигатель // Сельский механизатор. 2012, № 2. С. 4—5.

14. Загородских Б. П., Володин В. В., Бебенин Е. В. Совершенствование системы подачи газообразного топлива для повышения эффективности использования газобаллонных тракторов // *Технология колесных и гусеничных машин*. 2014, № 2. С. 33—41.

## References

1. Aleksandrov A. A., Arkharov I. A., Bagrov V. V., Gayvoronskiy A. I., Grekhov L. V., Devyanin S. N., Ivashchenko N. A., Markov V. A. *Al'ternativnye topliva dlya dvigateley vnutrennego sgoraniya* [Alternative fuels for internal combustion engines]. Under the editorship of A. A. Aleksandrov, V. A. Markov. Moscow, "NITS "Inzhener" LLC, "Onika-M" LLC Publ., 2012, 791 p.
2. Gayvoronskiy A. I., Markov V. A., Ilatovskiy Yu. V. *Is-pol'zovanie prirodnogo gaza i drugikh al'ternativnykh topliv v dizel'nykh dvigatelyakh* [Use of natural gas and other alternative fuels in diesel engines]. Moscow, "IRTs Gazprom" LLC Publ., 2007, 480 p.
3. Markov V. A. Problems of use of natural gas as a motor fuel for city transport. *Gruzovik*, 2015, no. 4, pp. 6—12 (in Russ.).
4. Likhanov V. A. *Prirodnyy gaz kak motornoe toplivo dlya traktornykh dizeley* [Natural gas as a motor fuel for tractor diesel engines]. Kirov, Vyatka State Agricultural Academy Publ., 2002, 280 p.
5. Koklin I. M., Naumov O. P., Savel'ev G. S. Performance testing of tractors, converted to run on compressed natural gas. *Traktory i sel'khoz mashiny*, 2008, no. 10, pp. 24—29 (in Russ.).
6. Gol'tyapin V. Ya. Tractors operating on gas-engine fuel. *Traktory i sel'khoz mashiny*, 2015, no. 2, pp. 3—7 (in Russ.).
7. Markov V. A., Bebenin E. V., Pozdnyakov E. F. Comparative assessment of alternative fuels for diesel engines. *Transport na al'ternativnom toplive*, 2013, no. 5, pp. 24—29 (in Russ.).
8. Patrakhal'tsev N. N. *Povyshenie ekonomicheskikh i ekologicheskikh kachestv dvigateley vnutrennego sgoraniya na osnove primeneniya al'ternativnykh topliv* [Increasing economic and environmental qualities of internal combustion engines based on the use of alternative fuels]. Moscow, Peoples' Friendship University of Russia Publ., 2008, 267 p.
9. Alliluev V. A., Anan'in A. D., Mikhlin V. M. *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya mashinno-traktornogo parka* [Technical maintenance of machine and tractor fleet]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1991, 367 p.
10. Anan'in A. D., Mikhlin V. M., Gabitov I. I., Negovora A. V., Ivanov A. S. *Diagnostika i tekhnicheskoe obsluzhivanie mashin* [Diagnostics and maintenance of machinery]. Moscow, Akademiya Publ., 2008, 432 p.
11. Pirogov Yu. N., Kovalenko V. P., Novikov E. V., Erokhin O. V., Erokhin A. V. Mathematical modeling of the fueling system of agricultural machinery. *Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskyy zhurnal*, 2011, no. 1, pp. 100—105 (in Russ.).
12. Kovalenko V. P., Pirogov Yu. N., Novikov E. V., Erokhin A. V., Erokhin O. V. Ways to solve the problems of fueling processes of agricultural machinery in the field during various operations. *Problemy i perspektivy razvitiya avtotransportnogo kompleksa. Mat-ly I Vseros. nauch.-prakt. konf.* [Problems and prospects of development of the motor transport complex. Proc. of I All-Russ. sci. and pract. conf.]. Magadan, Northeastern State University, 2010, pp. 181—185 (in Russ.).
13. Zagorodskikh B. P., Volodin V. V. Systems of gas supply to the engine. *Sel'skiy mekhanizator*, 2012, no. 2, pp. 4—5 (in Russ.).
14. Zagorodskikh B. P., Volodin V. V., Bebenin E. V. Improving the gaseous fuel supply system for more efficient use of compressed gas tractors. *Tekhnologiya kolesnykh i gusenichnykh mashin*, 2014, no. 2, pp. 33—41 (in Russ.).