



Использование газовой тепловой пушки для получения электроэнергии

Россия включает в себя самые холодные регионы в мире, поэтому проблема отопления помещений всегда находилась если не на первом месте, то, как минимум, в числе важнейших. В различное время для этих целей применялись самые разнообразные устройства — от печки до калорифера. У каждого из них имелся один большой недостаток — низкая мощность и, как следствие, большой промежуток времени, необходимый для достижения комфортной температуры в отапливаемом помещении. Именно это подтолкнуло к быстрому росту популярности такого вида обогревателя, как тепловая пушка.

Так, появление первых тепловых пушек в России сразу сделало их необычайно популярными из-за условий нашего климата и в связи с тем, что большинство зданий в России не имеют централизованного отопления, а также учитывая мобильность и эффективность этих обогревателей. Все эти причины сформировали стабильный, увеличивающийся с каждым годом спрос. Мировой и российский рынок газовых нагревателей воздуха или газовых тепловых пушек переполнен такими агрегатами китайского, корейского, американского, немецкого, итальянского, польского производства. И все они служат для получения тепла от сгораемого топлива, но не могут служить для получения электроэнергии.

Использование тепловой пушки также для получения электрической энергии ещё более увеличит спрос на такой универсальный когенератор.

Задача одновременного получения тепла и электроэнергии от газовой тепловой пушки и превращения её в теплоэлектрогенератор (ТЭГ) является весьма актуальной задачей автономной малой энергетики. Круг заказчиков и потребителей таких когенераторов (рис. 1) расширится по сравнению с количеством заказчиков тепловых пушек многократно. Они могут стать предметом экспорта из России.

Задача одновременного получения тепла и электроэнергии от газовой тепловой пушки и превращения её в теплоэлектрогенератор (ТЭГ) является весьма актуальной задачей автономной малой энергетики

При разработке ТЭГ на газовом топливе можно использовать простой газовый нагреватель воздуха прямого действия, то есть не имеющий теплообменника. Такие устройства безопасны, количество выделяемых ими вредных веществ такое же, как и у обычной газовой плиты при одинаковой мощности.

Рецензия эксперта на статью получена 04.07.2018 [Expert review on the article was received on July 04, 2018].

УДК 631.371:621.1

Использование газовой тепловой пушки для получения электроэнергии

Д. С. Стребков, д.т.н., профессор, академик РАН; **А. И. Кусков**, к.т.н., Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

В качестве приоритетного направления применительно к небольшим распределённым объектам сельскохозяйственного назначения предлагается использовать теплоэлектрогенератор на газовом топливе с турбиной, генератором, компрессором и эжектором. Предлагаемое преобразование тепловой энергии газового топлива является примером использования газовой турбины как силового агрегата для привода компрессора и генератора, в качестве рабочего тела использующего смесь продуктов сгорания топлива с воздухом. В этом заключается новизна технологии.

Ключевые слова: теплоэлектрогенератор, тепловая пушка, газовая турбина, силовой агрегат, компрессор, эжектор, распределённое производство энергии.

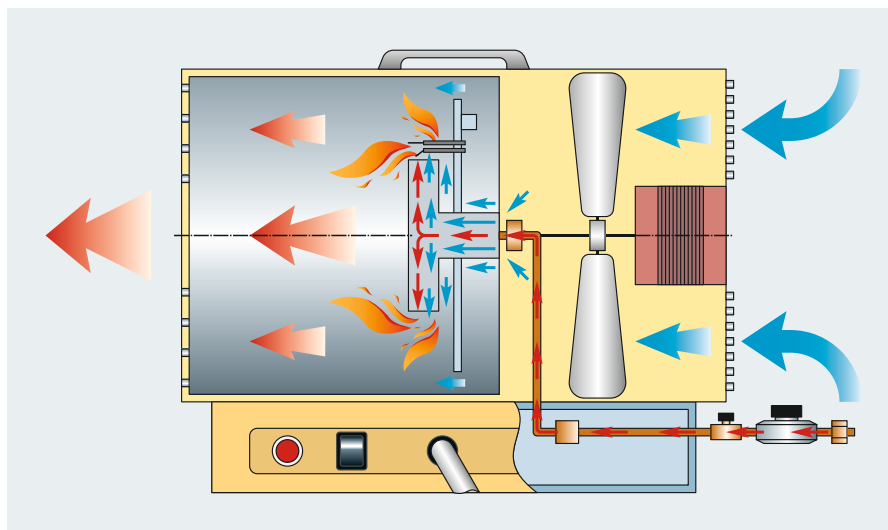
UDC 631.371:621.1

Using a gas heat gun to generate electricity

D. S. Strebkov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences; **A. I. Kuskov**, PhD, Federal State-Founded Institution of Science "Federal Scientific Agro-Engineering Center of the VIM" (FSFIE FSAC VIM)

As a priority area for small distributed agricultural facilities, it is proposed to use a gas-fired thermal power generator with a turbine, a generator, a compressor and an ejector. The proposed transformation of the thermal energy of gas fuel is an example of the use of a gas turbine as a power unit for the production of a compressor and a generator, working medium using a mixture of combustion products of fuel and air. This is the novelty of the proposed technology.

Keywords: thermal power generator, heat gun, gas turbine, power unit, compressor, ejector, distributed energy production.



❖ Рис. 1. Тепловая пушка на газовом топливе

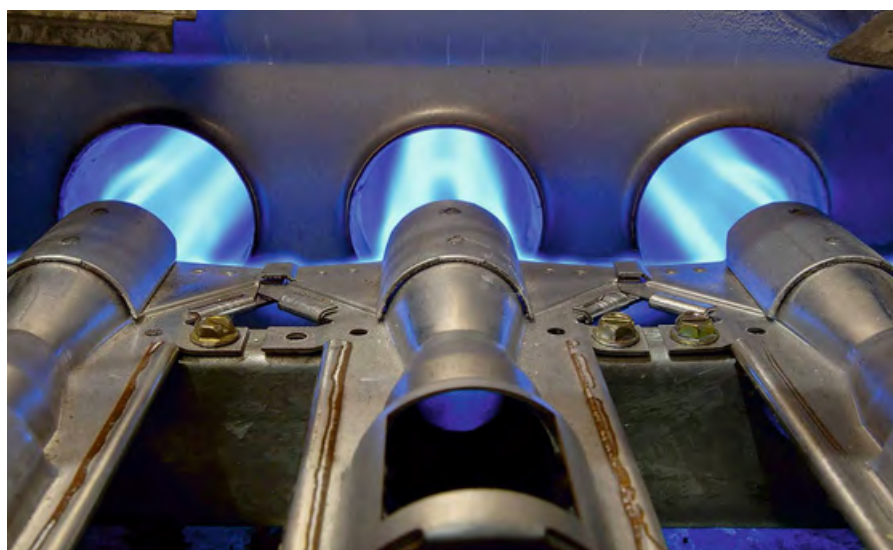
Поэтому на начальном этапе исследования за основу взят наиболее простой газовый нагреватель воздуха. При проведении исследования планируется применить струйный аппарат — газовый эжектор для смешивания продуктов сгорания топлива с воздухом и получения сжатой смеси на выходе из эжектора, а для создания разрежения в горелке использовать компрессор и турбину.

Целью создания разрежения в горелке является подсос воздуха из окружающей среды для горения газа. Целью смешивания продуктов сгорания топлива с воздухом в эжекторе является подвод энергии к рабочему телу. Целью сжатия смеси в эжекторе является использование потенциальной энергии давления рабочего тела для работы турбины.

В этом состоит отличие эжекторного ТЭГ от других энергетических установок (ДВС, ГТД), в которых сгорание топлива производится при переменном или постоянном давлении в предварительно сжатом воздухе с целью подвода энергии к рабочему телу и получения полезной работы при расширении рабочего тела (продуктов сгорания) в цилиндре ДВС или на лопатках турбины.

В эжекторе ТЭГ низкопотенциальная энергия окружающей среды и тепловая энергия смеси воздуха и продуктов сгорания топлива преобразуются в повышенную потенциальную энергию общего потока смеси, которая используется для получения механической работы в ТЭГ.

Эжектирование — приведение в движение пара, газа или жидкости путём разрежения среды, которая создаётся в соответствии с законом Бернулли другим, движущимся с большей скоростью, рабочим потоком путём нагнетания газа в получаемую разреженную среду. Источником



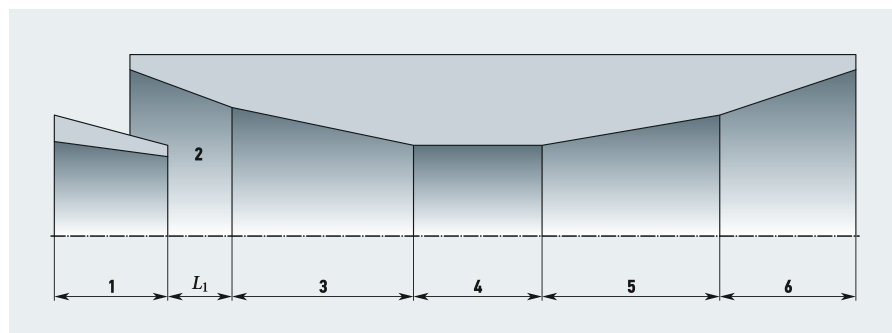
энергии может становиться потенциальная энергия сжатого силой гравитации атмосферного воздуха. Под действием полученного разрежения воздух поступает в смеситель эжектора, расширяясь и ускоряясь, подобно природному процессу, а при прохождении диффузора на выходе из эжектора давление газозвушной смеси повышается и смесь поступает в расширительную машину (турбину).

Газовый эжектор (рис. 2) — устройство, в котором избыточное давление высоко-

Поток, вступающий в процесс смешения с большей скоростью, называется эжектирующим или рабочим потоком, а с меньшей скоростью — эжектируемым.

Эжекторы используются для вентиляции помещений, для откачки горячих газов, а также могут использоваться для всасывания и прокачки атмосферного воздуха через теплообменник и откачки горячих продуктов сгорания топлива.

Как правило, в струйных аппаратах происходит сначала преобразование по-



❖ Рис. 2. Схема эжектора (1 — паровое сопло; 2 и 3 — первый и второй конфузор; 4 — цилиндрическая часть; 5 и 6 — первый и второй диффузор; L_1 — длина первого конфузора)



тенциальной энергии и теплоты в кинетическую энергию. В процессе движения через проточную часть струйного аппарата происходит выравнивание скоростей смешиваемых потоков, а затем обратное преобразование кинетической энергии смешанного потока в потенциальную энергию. Обычно давление смешанного потока на выходе из струйного аппарата выше давления эжектируемого потока перед аппаратом, но ниже давления рабочего потока. На сжатие газовой смеси в эжекторе затрачивается меньше энергии, чем расходуется энергии турбины на работу воздушного компрессора в ГТД.

В конструкции струйного насоса (эжектора) нет механического привода. За счёт этого он обладает хорошими производственными характеристиками. Простота схем включения струйных аппаратов в различные установки связана с исключительной простотой их конструкции, а также несложностью их изготовления, что уже обеспечило широкую область использования этих аппаратов в технике.

Первым учёным, обратившим внимание на необходимость поиска нетрадиционных источников в энергетике, был Никола Тесла. В 1892 году он высказал такую мысль: «Мы проходим с непостижимой скоростью через бесконечное пространство. Всё окружающее нас находится в движении, и энергия есть повсюду. Должен быть найден более прямой способ утилизировать эту энергию, чем известные в настоящее время. Когда свет получается из окружающей нас среды, и когда таким же образом без усилий будут полу-

чаться все формы энергии из этого неисчерпаемого источника, человечество пойдёт вперёд гигантскими шагами».

Эта идея Николая Тесла является призывом к поискам альтернативных источников энергии. В поисках таких источников многие специалисты обращают внимание на струйную энергетику. Сегодня учёные уже практически подошли к реализации именно этой идеи.

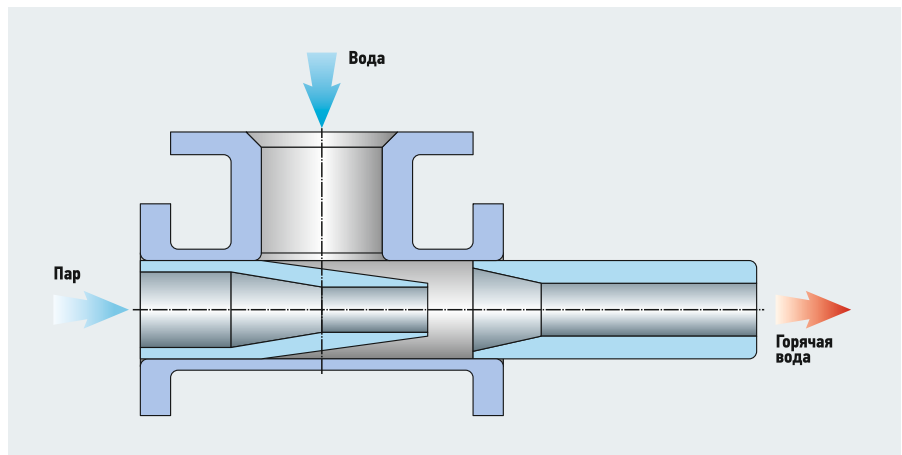
В конструкции струйного насоса нет механического привода. За счёт этого он обладает хорошими производственными характеристиками. Простота схем включения струйных аппаратов в различные установки связана с исключительной простотой их конструкции

Пример использования струйного аппарата — трансзвуковой струйный насос-подогреватель «Фисоник» (рис. 3), в котором за счёт пара производится нагревание воды при смешивании пара с водой и нагнетание горячей воды в тепловую сеть. «Фисоник» — это теплообменник, в котором не создаётся механическая работа, а используется только давление воды, и рабочим телом служит водяной пар.

Другим примером многолетнего использования струйного аппарата является карбюратор двигателя внутреннего сгорания с искровым зажиганием. В таком двигателе при движении поршня создаётся разрежение в карбюраторе, в который, как в эжектор, засасывается топливо, а получаемая топливно-воздушная смесь после сжатия сгорает в двигателе.

Основой внедрения эжекционного процесса в энергетике стало научное открытие №314 (от 2 июля 1951 года) О.И. Кудрина, А.В. Квасникова и В.Н. Челомея «Явление аномально высокого прироста тяги в газовом эжекционном процессе с пульсирующей активной струей». Позднее было доказано, что данный эффект оказался полезен не только для создания дополнительной реактивной тяги авиационного движителя, но и для использования его в эжекторном сопловом аппарате ГТД с целью получения дополнительной мощности на валу [2].

К сожалению, открытие не получило широкого применения. Вероятно, потому, что изначально исследования проводились в авиационной отрасли и были направлены только на получение дополнительной реактивной тяги летательных аппаратов. Это обстоятельство, наряду с закрытостью информации об экспериментальных исследованиях в авиационной отрасли, стало препятствием для его внедрения в других отраслях, где энергию воздушной массы, получаемую в результате управляемого преобразования энер-



■ Рис. 3. Струйный насос-подогреватель «Фисоник»

гии атмосферы, можно использовать не только для получения реактивной тяги, а более эффективно и в других вариантах преобразования энергии атмосферы. Вместе с тем, атмосфера до сих пор не стала объектом тщательного научного исследования с целью разработки процессов управляемого преобразования энергии для последующего использования в энергетических системах.

На начальном этапе исследований предлагается энергию окружающей среды использовать в комбинированной энергетической установке (КЭУ) с внешним сгоранием топлива при внедрении струйной технологии, в которой потенциальная энергия сжатого силой гравитации атмосферного воздуха является дополнительным источником энергии (рис. 4).

В исследуемом эжекторном теплоэлектрогенераторе с целью использования низкопотенциальной энергии внешней среды в компрессоре сжимают воздух и подают его в сопловой аппарат эжектора, на выходе из которого активной воздушной струей создаётся разрежение и через горелку в зону разрежения происходит всасывание из внешней среды воздуха, который обеспечивает горение топлива. Затем воздух, отходящий из соплового аппарата эжектора, смешивается с продуктами сгорания топлива и дополнительно с воздухом, поступающим из внешней среды, и горячая газозвдушная смесь после сжатия в диффузоре эжектора поступает на лопатки турбины, служащей приводом компрессора и генератора.

Тем самым, за счёт создаваемого в эжекторе разрежения, дополнительным источником энергии становится потенциальная энергия сжатого силой гравитации атмосферного воздуха, который под действием разности давлений всасывается в смеситель, где также смешивается с продуктами сгорания топлива и воздухом от компрессора, образуя при прохождении через диффузор эжектора высокопотенциальную смесь, воздействующую непосредственно на лопатки турбины.

Алгоритм работы теплоэлектрогенератора с газовой горелкой и эжектором может быть таким. Перед запуском эжекторного ТЭГ включается вентилятор, воздух проходит через горелку и поступает на турбину, которая раскручивается вместе с компрессором и генератором. Воздух от компрессора пропускается через сопло эжектора, создаёт разрежение на входе в эжектор и увеличивает поток воздуха через горелку. Затем поджигается топливо (газ), и начинается процесс горения с нагнетанием вентилятором воздуха на горение топлива. Продукты сгорания топлива под действием нагнетания от вентилятора и разрежения от эжектора выходят из горелки и с высокой температурой поступают в камеру смешения эжектора, где смешиваются с воздухом.

Рабочая смесь из воздуха и продуктов сгорания с высоким теплосодержанием от тепла сгораемого топлива проходит через эжектор, давление смеси в диффузоре эжектора повышается, и смесь с повышенным давлением подаётся в турбину, мощность турбины и, соответственно, частота вращения вала компрессора и расход воздуха через сопло эжектора увеличиваются. Разрежение в горелке возрастает и поступающего атмосферного воздуха становится достаточно для обеспечения автономного горения топлива в горелке. После запуска теплоэлектрогенератора и выхода его на режим автономного поддержания работы горелки и вращения турбины с компрессором электрический вентилятор отключается.

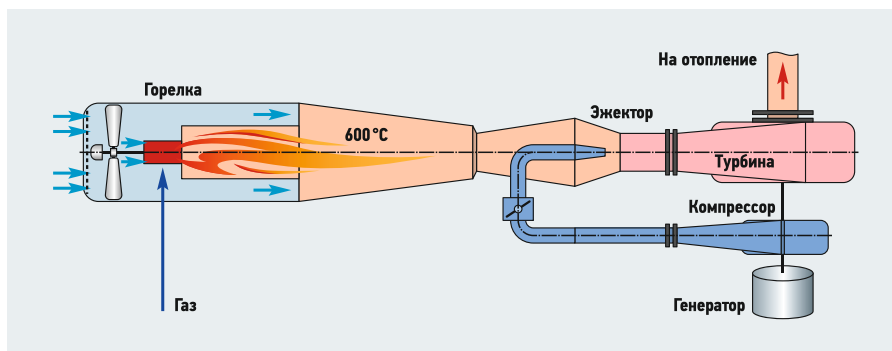


Рис. 4. Газовый теплоэлектрогенератор с эжектором, турбиной, компрессором и генератором с подачей воздуха в горелку за счёт разрежения от эжектора

Атмосферный воздух, обладающий потенциальной энергией давления от гравитационного сжатия, поступает через горелку вместе с горячей газовой смесью в зону разрежения — камеру смешения эжектора, при этом уменьшаются затраты энергии на подвод воздуха к горелке и обеспечивается полное сгорание топлива с избытком воздуха. За счёт экономии энергии на подачу воздуха для горения топлива можно получить более высокий КПД преобразования энергии топлива, чем в ГТД. А если в горелке турбинного когенератора с эжектором будет использован природный газ низкого давления без применения дожимного компрессора, то появится возможность иметь свою электростанцию и источник тепла в каждом сельском доме.

Предлагаемая технология с использованием продуктов сгорания топлива, смешиваемых с воздухом с помощью струйного аппарата (эжектора), может быть



В КЭУ потенциальная энергия окружающей среды и тепловая энергия смеси продуктов сгорания топлива с воздухом преобразуются в кинетическую энергию общего потока смеси, которая после преобразования в диффузоре эжектора используется для работы турбины. В итоге на получение общего потока рабочей газовой смеси в комбинированной энергоустановке с эжектором затрачивается меньше энергии

использована для работы экономичного газотурбинного двигателя. В КЭУ потенциальная энергия окружающей среды и тепловая энергия смеси продуктов сгорания топлива с воздухом преобразуются в кинетическую энергию общего потока смеси, которая после преобразования в диффузоре эжектора используется для работы турбины. В итоге на получение общего потока рабочей газовой смеси в КЭУ с эжектором затрачивается меньше энергии, чем расходуется энергии турбины на работу воздушного компрессора в обычном ГТД, что ведёт к повышению общего КПД и снижению удельного расхода топлива в КЭУ.

В этом отличие КЭУ от других энергоустановок, позволяющее формировать рабочее тело для газовой турбины путём перемешивания продуктов сгорания любого топлива с воздухом и повышения давления этой смеси в диффузоре эжектора, чтобы направить её в расширительную машину — газовую турбину.

В турбине рабочая смесь с большим содержанием чистого воздуха, совершая работу на привод компрессора и электрического генератора, расширяется, её температура понижается, и отходящая смесь при умеренной температуре и минимальном содержании CO_2 поступает в теплицы, сушильные и другие отапливаемые объекты. Учитывая небольшое содержание CO_2 в продуктах сгорания и повышенное содержание в отходящей смеси воздуха, смесь может также нагнетаться в фермы для животных и жилые помещения.

Несомненно одно — создание высокоэкономичного теплоэлектрогенератора с применением тепловой пушки на газовом топливе в сочетании с эжектором и турбокомпрессором, с частичным использованием окружающей нас энергии атмосферы может стать важным шагом на пути освоения бестопливной энергетики в России.

Выводы

1. Для автономной работы ТЭГ не требуется подводить энергию от внешнего источника, то есть агрегат может начать работу в местах, не имеющих никакой энергии, кроме газа, который надо поджечь.
2. Отсутствие воды и пара в ТЭГ нового типа важно при работе в арктических условиях эксплуатации.
3. В отличие от паротурбинной энергетической установки с замкнутым циклом, с атмосферной газовой горелкой и внешним подогревом рабочей низкикипящей жидкости в новом ТЭГ используются продукты сгорания газа в качестве источника тепла и для одновременного получения рабочей газозоудушной смеси для обеспечения работы газовой турбины.
4. В отличие от авиационной ВСУ с камерой сгорания, турбокомпрессором и генератором, ТЭГ не имеет в своём составе камеры сгорания, работающей при повышенном постоянном давлении рабочего тела, как в любом ГТД. Для получения рабочей газозоудушной смеси используются атмосферная газовая горелка и эжектор с камерой смешения продуктов сгорания и воздуха.
5. Эжектор позволяет иметь пониженную температуру рабочего тела на выходе из ТЭГ. Использование газозоудушной смеси с большим содержанием воздуха и невысокой температурой на выхлопе позволит уменьшить выброс тепла и CO_2 в атмосферу по сравнению с современными бензиновыми и дизельными двигателями и угольными котельными.
6. Разрабатываемый теплоэлектрогенератор как эжекторно-турбинный когенератор на газовом топливе не имеет аналогов даже за рубежом.
7. Использование эжекторного струйного аппарата для работы эжекторно-турбинного когенератора на газовом или ином топливе позволит сочетать в одном агрегате автономный электрический турбогенератор небольшой мощности и эффективный источник тепла для систем отопления и горячего водоснабжения.

Если в горелке эжекторно-турбинного когенератора будет использован бытовой газ низкого давления без применения дожимного компрессора, то появится возможность иметь свою электростанцию и источник тепла в каждом сельском доме в нашей стране. ●

1. Кусков А.И. Комплексное производство тепла и электроэнергии с использованием твёрдого топлива // Вестник ВИЭСХ, 2017. №3. С. 70–74.

2. Кудрин О.И., Квасников А.В., Челомей В.Н. Открытие №314 СССР. Явление аномально высокого прироста тяги в газовом эжекционном процессе с пульсирующей активной струей // Открытия и изобретения, 1951.

Using a gas heat gun to generate electricity. Pp. 54–59.

D. S. Strebkov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences; **A. I. Kuskov**, PhD, Federal State-Founded Institution of Science "Federal Scientific Agro-Engineering Center of the VIM" (FSFIE FSAC VIM, Moscow)

-
1. Kuskov A.I. *Kompleksnoe proizvodstvo tepla i elektrojenergii s ispol'zovaniem tverdogo topliva*. Vestnik Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo Instituta jelektrifikacii sel'skogo hozjajstva [Papers of Federal State-Founded Institution of Science "Federal Scientific Agro-Engineering Center of the VIM" (FSFIE FSAC VIM)]. 2017. No. 3. Pp. 70–74.
 2. Kudrin O.I., Kvasnikov A.V., Chelomej V.N. *Otkrytie No. 314 SSSR: Javlenie anomal'no vysokogo prirosta tjagi v gazovom jezhekcionnom processe s pul'sirujushhej aktivnoj struej* [Scientific discovery No. 314 USSR: The phenomenon of anomalously high thrust increase in a gas ejection process with a pulsating active jet]. *Otkrytija i izobretenija* [Discoveries and inventions]. 1951.