

УДК 536.24

Экспериментальные исследования капиллярно-испарительной форсунки для тепловых блоков полевых кухонь

Канд. техн. наук, доц. **Смолянский О.В.** smolansk@mail.ru

Заньков П.Н. pavel.zankov@mail.ru,

ФГКВОУ ВПО Вольский филиал ВА МТО

412903, Саратовская обл., г. Вольск, ул. Максима Горького, 3

Канд. техн. наук **Антуфьев В.Т.** antufjew2010@yandex.ru

Университет ИТМО

921002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9.

Организация питания специальных контингентов (геологов, спасателей, военнослужащих) в сложных полевых условиях невозможна без надежных технических средств приготовления и транспортирования пищи. Наиболее доступным и безопасным топливом для приготовления пищи в холодном климате является дизельное марки А-0,4 и З-0,2-35. Его применение в тепловых блоках полевых кухонь вместо электрической энергии не только более экономично, но и существенно повышает надежность приготовления пищи в полевых условиях. Поставлена задача разработать более энергонасыщенные, и, в тоже время, экономичные тепловые блоки для климатических условий Крайнего Севера. Обзор патентов и исследований по интенсификации сжигания жидкого топлива показал, что применение высоковольтных полей, воздушных генераторов ультразвука и других устройств требуют иметь источник переменного напряжения, что достаточно усложняет данное оборудование и снижает его надежность. В статье также приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований капиллярно-испарительной форсунки ФК-01КИ, повышающей К.П.Д. теплового блока передвижной кухни до 45% при снижении расхода дизельного топлива на 15-35%. При этом скорость закипания воды в котлах возросла на 10-15%. Предложен простой и доступный способ модернизации форсунок обслуживающим персоналом, обеспечивающий высокую эффективность сжигания жидкого топлива и повышение надежности их работы. Изменение конструкции испарительных форсунок приводит к объемно-капиллярному испарению дизельного топлива при повышенных температурах, что исключает задержку в испарителе высококипящих фракций (парафинов и смол) и продляет сроки очередных технических обслуживаний кухонь в два раза.

Ключевые слова: организация питания, передвижная кухня, тепловой блок, капиллярно-испарительная форсунка, повышение надежности, снижении расхода, скорость закипания.

Experimental study of capillary-evaporation burners for heat blocks field kitchens

Ph.D. **Smolyanskii O.V.** smolansk@mail.ru, **Zankov P.N.** pavel.zankov@mail.ru

FGKVOU VPO Wolski MTO WA branch

901000, Wolsk, Saratov obl., St. Maxim Gorky, 3.

Ph.D **Antufiev V.T.** antufjew2010@yandex.ru,

ITMO University

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

Catering special contingent personnel (geologists, emergency services, armed forces) in difficult field conditions is impossible without reliable technical means of preparation and transportation of food. The most affordable and safe fuel for cooking in cold climates is diesel A-0, 4-0 and W-0,2-35. Applications of thermal blocks field kitchens instead of electrical energy is not only more economical, but also greatly increases the reliability of the cooking in the field. Mandate to develop more power intensive, and, at the same time, economical heat units for the climatic conditions of the far North. Overview of patents and studies on liquid fuel combustion intensification indicated that the application of high-voltage fields, aerial ultrasonic generators and other devices require a source of AC voltage, which is compli-

catering this equipment and reduces its reliability. The article also presents the results of theoretical and experimental research of capillary evaporator jets FC-01KI, which increases the thermal Efficiency of a mobile kitchen to 45% while lowering diesel consumption by 15-35%, and increase the speed of the water boils in the boilers at 10-15%.

A simple and affordable way of upgrading injectors service personnel, providing high efficiency of combustion of liquid fuels and improving the reliability of their work. Changing the design of the vaporizer injectors leads to capillary evaporation of fuel-diesel fuel at elevated temperatures, eliminating the delay in the evaporator high-boiling fractions (waxes and resins) and extends the time of regular technical services kitchens in half.

Keywords: catering, mobile kitchen, heat unit, evaporator capillary-nozzle, increase reliability, reduce flow rate simmer.

Организация питания специальных контингентов (геологов, спасателей, военнослужащих) в полевых условиях – довольно сложная, требующая существенной проработки, задача [3,9,12]. Для надежной работы технических средств приготовления и транспортирования пищи в полевых условиях необходимо разработать более энергонасыщенные, и, в тоже время, экономичные тепловые блоки для климатических условий Крайнего Севера, позволяющих выполнять все технологические операции по приготовлению разнообразных блюд [7].

Наиболее доступным и безопасным для приготовления пищи является дизельное топливо. Его применение в тепловых блоках полевых кухонь вместо электрической энергии не только более экономично, но и существенно повышает надежность приготовления пищи в полевых условиях.

Как правило, аппараты на жидком топливе, просты и сравнительно дешевы, но серийные имеют слишком низкий коэффициент полезного действия. Пониженная эффективность использования дизельного топлива в тепловых блоках наших полевых кухонь связана с тем, что в испарительных горелках топливо испаряется не полностью и выбрасывается в топку в капельном виде. Часть его не догорает и поступает в атмосферу в виде угарного газа и сажи. Каждая кухня потребляет до 1500 кг дизельного топлива в месяц, доставка которого представляет некоторую трудность в отдаленных от городов районах [7]. Нами запатентована и исследована более надежная испарительная форсунка с высокими энергетическими, экологическими характеристиками, предназначенная для работы в топках тепловых блоков. Снижение потребления топлива на 25-35% существенно снизит нагрузку на средства подвоза и стоимость эксплуатации.

Научная задача состоит в разработке высокоэффективного теплового блока для приготовления пищи, позволяющего сократить расход топлива, время закипания воды и тепловой обработки продуктов, а также трудозатраты на обслуживание. Целью исследования является снижение тепловых потерь при приготовлении пищи и применение принципиально нового подхода к сжиганию дизельного топлива. Планируется, сократить время на приготовление пищи на 10-15%.

Для достижения поставленной цели необходимо последовательно решить следующие основные задачи:

- провести сравнительный анализ жидко-топливных горелок, используемых в армии и других технических комплексах;
- разработать и предложить простой и доступный способ модернизации форсунок обслуживающим персоналом, обеспечивающих максимальную эффективность сжигания жидкого топлива;
- создать математическую модель капиллярно-пористого кипения дизельного топлива в испарительных трубах кухонных форсунок;
- разработать экспериментальную форсунку и методику исследования эксплуатационных характеристик полевой кухни при многофакторном воздействии погоды;
- провести серию научно спланированных опытов по сжиганию дизельного топлива в тепловых блоках с предложенной жидко-топливной системой;
- разработать параметрический ряд испарительных форсунок мощностью от 4 до 18 кВт;
- разработать методику расчета тепловых блоков с учетом повышения эффективности сжигания топлива и конструктивных изменений наружной поверхности пищеварочных котлов.

Обзор исследований по интенсификации сжигания жидкого топлива показывает, что рядом исследователей достигнуты существенные результаты в этом направлении. Это применение способа сжигания в высоковольтном электрическом поле от 20 до 40 кВ/м, что наиболее приемлемо для тепловых аппаратов малой теплопроизводительности, имеющих свой источник электроэнергии. При этом повышение массовой скорости горения составляет от 25 до 50 % и более, что позволяет значительно уменьшить размеры топочных камер и увеличить коэффициент полезного действия и теплопроизводительность установки[4].

Применение подачи вентилятором рециркулируемых высокотемпературных отходящих газов для более качественного испарения воздушно-капельной фракции топлива способствует повышению температуры факела и его безсажевому сгоранию, что также проблематично без стационарного источника питания[10].

Применение воздушных генераторов ультразвука может изменить форму факела, повысить градиенты температур в зоне горения и тем самым увеличить теплоотдачу от факела к тепловоспринимающим поверхностям, до некоторой степени увеличить скорость горения. Но для генерации ультразвука требуется достаточно мощный компрессор[5].

Имеется ряд других исследований, повышающих коэффициенты теплопередачи в устройствах для испарения воды и других жидкостей, на что нами обращено особое внимание[1,2,6,8]. Такие устройства сейчас широко применяют в атомной промышленности и ракетостроении. Эксперименты по испарению жидкостей в гладких трубах и образцах с пористой наполнителем показали, что наибольший вклад в теплообмен вносит процесс парообразования внутри пористой структуры, а не на внутренней поверхности стенки трубы. Показано, что интенсивность теплообмена при испарении в трубах, заполненных пористыми шарообразными телами, в 2...6 раз выше, чем при кипении жидкости на гладкой поверхности [2]. Это может быть спеченный металлический порошок или частицы керамики. Они являются теплопроводящими мостиками, снижающими температуру стенки испарителя и исключаящими эффект Лейденфроста (изоляция жидкости от греющей стенки паровой пленкой). При этом срок службы испарителя форсунки без прогорания увеличится. Для реализации способа модернизации испарительной форсунки, как показал длительный эксперимент, наиболее подходящим по цене и наличию в организациях, является обычный технический силикагель. Многочисленные поры силикагеля имеют каверны (макропоры), макрокапилляры и микрокапилляры. Простейшей моделью испарителя форсунки с капиллярно-пористым телом является труба, заполненная шарообразным силикагелем и нагреваемая снаружи факелом (Рис.1).

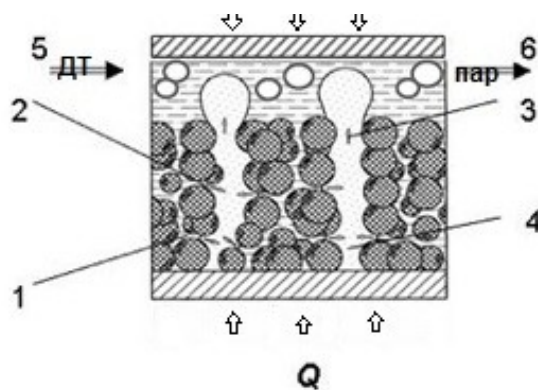


Рис. 1. Пористая структура испарителя модернизированной форсунки ФК-1КИ (разрез):

- 1 – микропоры внутри шарообразного силикагеля, 2 – мениски, образованные соседними шарами,
- 3 – пар дизельного топлива, 4 – макропора, 5 – поток дизельного топлива,
- 6 – двухфазный, далее паровой поток в верхнем мини-канале.

Количество центров парообразования (криволинейных поверхностей менисков) увеличивается пропорционально высоте жидкости в трубе, а так как часть верхнего объема трубы-испарителя занята паром, то следует ожидать рост коэффициента теплообмена в 2 – 2,5раза[1]. Форсунка при этом не только увеличивает удельную производительность по пару, но и его температуру на выходе из сопла. Таким образом, высококипящие фракции дизельного топлива не будут забивать испаритель в виде смол и кокса, что происходит на серийно выпускаемых испарительных форсунках, например, ФК-01 и ФК-02.

Как показал эксперимент, для такой форсунки характерен голубой, почти невидимый для глаза, цвет пламени, показывающий отсутствие в пламени твердых сажевых частичек.

Была проведена серия научно спланированных опытов по сжиганию дизельного топлива в модернизированных форсунках ФК-01КИ, установленных в полевых средствах приготовления и транспортирования пищи в полевых условиях. Особенностью изменения конструкции предложенных форсунок является применение в них объемно-капиллярного испарения дизельного топлива при повышенных температурах, что исключает задержку в испарителе высококипящих фракций (парафинов и смол). В качестве капиллярного жаростойкого материала после подбора применили силикагель технический гранулированный, заложенный в испарительные трубы форсунки без уплотнения. За счет высокой интенсивности кипения дизельного топлива в объеме каждой гранулы и между ними засорения капилляров в течение 4 месяцев работы не обнаружено, что обеспечивает длительность эксплуатации силикагеля без замены.

При этом достоверно получены положительные результаты повышения коэффициента полезного действия теплового блока прицепной кухни КП-130-11 при изменении расхода топлива (Рис.2), скорости закипания воды в котлах на 10-15%, существенному снижению расхода топлива, более быстрому розжигу и улучшению экологических показателей (Табл.1). Для чистоты эксперимента на первом этапе использованы серийные, постоянно используемые для практических занятий, кухни КП-130-11 и КО-75М, наработавшие перед установкой исследуемых форсунок по 120 - 140 часов и слоем сажи на котлах до 2-3мм.

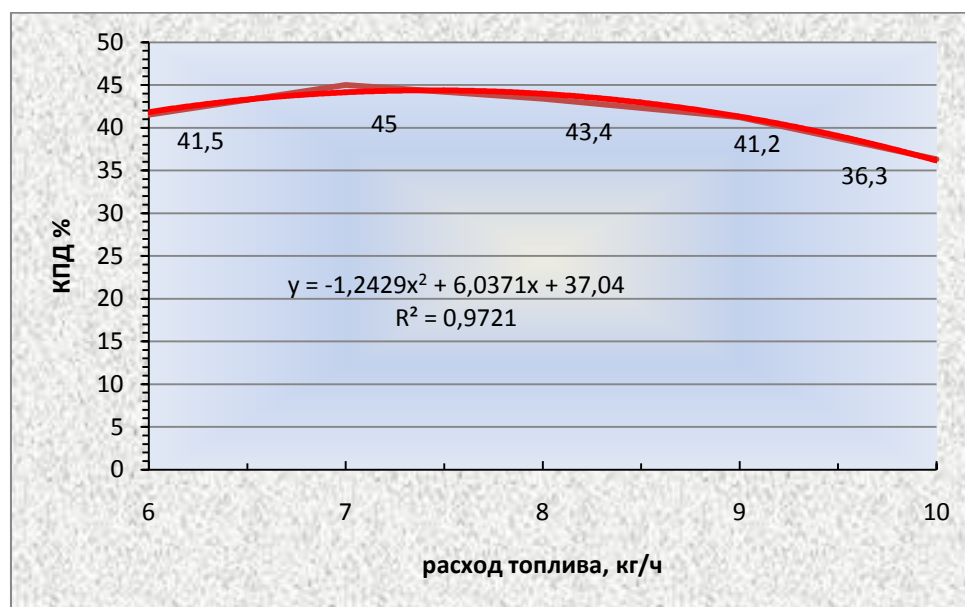


Рис. 2. Зависимость коэффициента полезного действия теплового блока прицепной кухни КП-130-11 от изменения расхода топлива.

Экспериментально определен наиболее экономичный расход дизельного топлива с модернизированными форсунками - 6,5-7,5 кг/ч вместо паспортных 12 кг/ч. При этом время закипания воды в котлах снизилось (Табл.1.).

Вывод

Расчеты показали, что к.п.д. полевых кухонь возрос на 13-16 %. Перевод кухонь на модернизированные ФК-01КИ позволяет снизить дымность уходящих газов в 2 с лишним раза, содержание СО - на 40-60 %, уменьшить расход дизельного топлива на 25-35%. Незначительно повышенная температура факела и применение объемного капиллярно-испарительного кипения в трубах форсунки существенно снижает в них количество отложений и смол, частоту технического обслуживания тепловых блоков и форсунок в 2 раза.

Таблица 1

Технико-экономические показатели полевых кухонь с установленными капиллярно-испарительными форсунками ФК-01КИ

Объект исследования / показатели	КП-130-11 с форсунками ФК-01	КП-130-11 с двумя форсунками ФК-01КИ	КО-75М с одной форсункой ФК-01КИ
Время закипания, мин.	55-63	42-55	25,0
Время розжига, мин.	6-10	4-7	4-7
Расход дизельного топлива кухней, мин/мах, кг/час.	10,7-12,1	6,3-9,4	3,1-4,2
к.п.д. полевой кухни,%	30-33	41-46	42-47
Дымность уходящих газов по прибору, %	100 (хорошо заметно, голубовато-серые)	41 (практически незаметно на глаз)	38 (незаметно на глаз)
Содержание угарного газа (СО) в уходящих газах, %	6	2,2-2,5	2,0-2,1
Засорение сопла форсунки	Относительно часто	не происходит	не происходит
Цвет и температура воспламенителя форсунки	Красный 730-750	Оранжевый 840-870	Оранжевый 840-870
Цвет пламени	Оранжевый, с перемежающимися желтыми (недогар) языками. Звук средней силы(60 Дб), периодически изменяющийся.	Сине-оранжевый (как у паяльной лампы). Звук средней силы(65 Дб), не изменяющийся по времени.	Сине-оранжевый (как у паяльной лампы). Звук средней силы(65 Дб), не изменяющийся по времени.

Список литературы

1. *Vasiliev L., Zhuravlyov A., Novikov M., Vasiliev L., Jr.* Heat transfer with propane evaporation from a porous wick of heat pipe // J. Porous Media. –2001. –Vol. 4, No. 2. – P. 103–111.
2. *Васильев Л.Л., Журавлёв А.С., Шановалов А.В.* Институт тепло и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси. Теплообмен при парообразовании в пористой тепловыделяющей стенке кольцевого миниканала. Промышленная теплотехника, 2008, т. 30, № 5.
3. *Войсковое питание. Учебник./ Л.: ВАТТ, 2005.- 320 с.*
4. *Громцев С.А.* Вепольные технологии повышения эффективности энергетических источников техники тыла: Дис. ... докт. техн. наук./Л.: ВАТТ, 1995 . – 176 с.
5. *Иванова М.А.* Разработка ресурсосберегающего процесса производства мелкочтучных булочных изделий с использованием инновационного оборудования: Дис. ... канд. техн. наук. – СПб: СПбГУНиПТ, 2009. – 106 с.
6. *Кузма-Китча Ю.А.* Улучшение характеристик элементов парогенерирующей техники путем интенсификации теплообмена [Текст] / Ю.А. Кузма-Китча, А.С. Комендантов, Г. Барч // In: Proc. 4th Minsk International Heat and Mass Transfer Forum. – Minsk, Belarus. – 2000. – P. 215-222
7. Особенности базирования, тылового и технического обеспечения сил и войск Северного Флота. Учебное пособие. – СПб.: ВАТТ, 2006.-220 с.

8. Поляев В.М., Майоров В.А, Васильев Л.Л. Гидродинамика и теплообмен в пористых элементах конструкций летательных аппаратов.- М.: Машиностроение, 1998. -168 с.
9. Продовольственное обеспечение Вооруженных Сил в мирное время. Учебник. – СПб.: ВАТТ, 2003 .- 340 с.
10. Способ работы воздушного тракта котла (Патент SU 1742587).
11. Хмелев, В.Н. Ультразвуковое распыление жидкостей: монография [Текст] / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, А.В. Шалунова; Алт. гос. техн. ун-т им.И.И. Ползунова, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 250 с.
12. Эксплуатация технических средств приготовления и транспортирования пищи в полевых условиях. Руководство. Воениздат,1980.- 280 с.
13. Амосова М.А., Антупьев В.Т., Громцев С.А. Способы и методы повышения характеристик газового оборудования общественного питания. // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2009. № 1. С. 12-22.
14. Громцев С.А., Антупьев В.Т. Методы вепольного повышения эффективности тепловых аппаратов пищевой промышленности// Вестник Международной академии холода. 2010. № 4. С. 27-29.
15. Громцев С.А., Громцев А.С., Червяков О.М. Особенности производства ржано-пшеничного хлеба в полевых условиях // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2013. № 3. С. 14.

References

1. Vasiliev L., Zhuravlyov A., Novikov M., Vasiliev L., Jr. Heat transfer with propane evaporation from a porous wick of heat pipe // J. Porous Media. –2001. –Vol. 4, No. 2. – P. 103–111.
2. Vasil'ev L.L., Zhuravlev A.S., Shapovalov A.V. Institut teplo i massoobmena im. A.V. Lykova NAN Belarusi. Teploobmen pri paroobrazovanii v poristoi teplovydelyayushchei stenke kol'tseвого minikanala. Promyshlennaya teplotekhnika, 2008, t. 30, № 5.
3. Voiskovoe pitanie. Uchebник./ L.: VATT, 2005.- 320 s.
4. Gromtsev S.A. Vepol'nye tekhnologii povysheniya effektivnosti energeticheskikh istochnikov tekhniki tyla: Dis. ... dokt. tekhn. nauk./L.: VATT, 1995 . – 176 s.
5. Ivanova M.A. Razrabotka resursosberegayushchego protsessa proizvodstva melkoshtuchnykh bulochnykh izdelii s ispol'zovaniem innovatsionnogo oborudovaniya: Dis. ... kand. tekhn. nauk. – SPb: SPbGUNIPT, 2009. – 106 s.
6. Kuzma-Kitcha Yu.A. Uluchshenie kharakteristik elementov parogeneriruyushchei tekhniki putem intensivatsii teploobmena [Tekst] / Yu.A. Kuzma-Kitcha, A.S. Komendantov, G. Barch // In: Proc. 4th Minsk International Heat and Mass Transfer Forum. – Minsk, Belarus. – 2000. – R. 215-222
7. Osobennosti bazirovaniya, tylovogo i tekhnicheskogo obespecheniya sil i voisk Severnogo Flota. Uchebnoe posobie. – SPb.: VATT, 2006.-220 s.
8. Polyayev V.M., Maiorov V.A, Vasil'ev L.L. Gidrodinamika i teploobmen v poristyykh elementakh konstruktssii letatel'nykh apparatov.- М.: Mashinostroenie, 1998. -168 s.
9. Prodovol'stvennoe obespechenie Vooruzhennykh Sil v mirnoe vremya. Uchebник. – SPb.: VATT, 2003 .340 s.
10. Sposob raboty vozdušnogo trakta kotla (Patent SU 1742587).
11. Khmelev, V.N. Ul'trazvukovoe raspylenie zhidkosti: monografiya [Tekst] / V.N. Khmelev, A.V. Shalunov, A.V. Shalunova; Alt. gos. tekhn. un-t im.I.I. Polzunova, BТИ. – Biisk: Izd-vo Alt. gos. tekhn. un-ta, 2010. – 250 s.
12. Ekspluatatsiya tekhnicheskikh sredstv prigotovleniya i transportirovaniya pishchi v polevykh usloviyakh. Rukovodstvo. Voениzdat,1980.- 280 s.
13. Amosova M.A., Antuf'ev V.T., Gromtsev S.A. Sposoby i metody povysheniya kharakteristik gazovogo oborudovaniya obshchestvennogo pitaniya. // Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv. 2009. № 1. S. 12-22.
14. Gromtsev S.A., Antuf'ev V.T. Metody vepol'nogo povysheniya effektivnosti teplovykh ap-paratov pishchevoi promyshlennosti// Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda. 2010. № 4. S. 27-29.
15. Gromtsev S.A., Gromtsev A.S., Chervyakov O.M. Osobennosti proizvodstva rzhano-pshenichnogo khleba v polevykh usloviyakh // Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv. 2013. № 3. S. 14.