

Тепловые процессы в технике. 2024. Т. 16. № 8. С. 353–363
Thermal processes in engineering, 2024, vol. 16, no. 8, pp. 353–363

Научная статья
УДК 536:537:621:662:665
URL: <https://tptmai.ru/publications.php?ID=183182>
EDN: <https://www.elibrary.ru/WAQHXR>

Разработка способа увеличения дальности полета воздушных, аэрокосмических и космических летательных аппаратов путем применения нанотехнологий

В.А. Алтунин¹✉, Н.Б. Давлатов^{1,2}, М.А. Зарипова², М.М. Сафаров², Ю.Ф. Гортышов¹, М.Л. Яновская³

¹КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Россия

²ТТУ им. ак. М.С. Осими, г. Душанбе, Республика Таджикистан

³ЦИАМ им. П.И. Баранова, Москва, Россия

✉ altspacevi@yahoo.com

Аннотация. Проведен анализ возможных путей увеличения ресурса и эффективности реактивных двигателей летательных аппаратов. Раскрыты особенности жидкого горючего марки гидразин и его применение в науке и технике. Показаны результаты экспериментальных исследований теплофизических и термодинамических свойств жидкого чистого гидразина в условиях естественной конвекции при различных давлениях и температурах, а также результаты внедрения в него чистых сухих фуллеренов. На основе проведенных экспериментальных исследований с чистым гидразином и его смесями с чистыми сухими углеродными наночастицами – фуллеренами разработан способ увеличения дальности полета воздушных и космических летательных аппаратов различного назначения.

Ключевые слова: жидкий чистый гидразин, чистые сухие фуллерены, дальность и время полета летательных аппаратов

Для цитирования. Алтунин В.А., Давлатов Н.Б., Зарипова М.А., Сафаров М.М., Гортышов Ю.Ф., Яновская М.Л. Разработка способа увеличения дальности полета воздушных, аэрокосмических и космических летательных аппаратов путем применения нанотехнологий // Тепловые процессы в технике. 2024. Т. 16. № 8. С. 353–363. URL: <https://tptmai.ru/publications.php?ID=183182>

Original article

Development of a method to increase flight range air, aerospace and space vehicles through the application of nanotechnology

V.A. Altunin¹✉, N.B. Davlatov^{1,2}, M.A. Zaripova², M.M. Safarov², Yu.F. Gortyshov¹, M.L. Yanovskaya³

¹KNITU-KAI named after. A.N. Tupolev - KAI, Kazan, Russia

²TTU named after. ak. M.S. Osimi, Dushanbe, Republic of Tajikistan

³CIAM named after. P.I. Baranova, Moscow, Russia

✉altspacevi@yahoo.com

Abstract. An analysis of possible ways to increase the service life and efficiency of aircraft jet engines was carried out. The features of hydrazine liquid fuel and its application in science and technology are revealed. The results of experimental studies of the thermophysical and thermodynamic properties of liquid pure hydrazine under conditions of natural convection at various pressures and temperatures, as well as the results of introducing pure dry fullerenes into it, are shown. Based on experimental studies with pure hydrazine and its mixtures with pure dry carbon nanoparticles – fullerenes, a method has been developed to increase the flight range of air and spacecraft for various purposes.

Keywords: liquid pure hydrazine, pure dry fullerenes, range and flight time of aircraft

For citation. Altunin V.A., Davlatov N.B., Zaripova M.A., Safarov M.M., Gortyshov Yu.F., Yanovskaya M.L. Development of a method to increase flight range air, aerospace and space vehicles through the application of nanotechnology. *Thermal processes in engineering*. 2024, vol. 16, no. 8, pp. 353–363. (In Russ.). URL: <https://tptmai.ru/publications.php?ID=183182>

Введение

В качестве реактивных двигателей на жидких горючих и охладителях одно- и многофазового использования для различных летательных аппаратов (ЛА) и космических ЛА (КЛА) в статье рассматриваются воздушно-реактивные двигатели (ВРД), жидкостные ракетные двигатели (ЖРД) различного назначения. Известно [1–12, 15–19], что повысить эффективность различных ЛА и КЛА возможно различными путями и способами. Одним из путей является повышение эффективности двигателей ЛА, КЛА. В свою очередь, повышение эффективности двигателей для ЛА, КЛА также возможно осуществить различными путями и способами:

а) путем изменения и оптимизации геометрических размеров деталей в существующих двигателях;

б) путем изменения (увеличения) геометрических размеров существующих двигателей;

в) путем изменения конструктивных схем двигателей, а также их агрегатов и деталей;

г) путем применения новых конструкционных материалов повышенных характеристик и технологий;

д) путем применения новых более энергетических горючих и топлив;

е) путем повышения эффективности существующих горючих и топлив за счет внедрения в них различных присадок, металлических и неметаллических добавок.

В статье раскрывается способ повышения эффективности существующего жидкого горючего для реактивных двигателей ЛА, КЛА – жидкого чистого гидразина. Этот способ осуществляется путем внедрения в жидкий чистый гидразин не-

металлических добавок в виде сухих чистых фуллеренов с целью повышения его плотности.

Целью данной статьи является раскрытие нового способа увеличения времени и дальности полета летательных аппаратов путем нанотехнологии повышения плотности горючего при внедрении в него чистых сухих фуллеренов.

Обзор и анализ научно-технической и патентно-лицензионной литературы по повышению плотности жидких горючих

Известно, что, в первую очередь, необходимо повышать плотность жидкого горючего, из-за чего будут открываться различные возможности увеличения эффективности двигателя, а также увеличения эффективности ЛА, КЛА одно- и многократного использования [3–8, 15–19]:

а) при полной заправке штатного бака или отсека горючего возможно: увеличение общей массы горючего, по сравнению со штатным горючим; увеличение времени (продолжительности) работы ВРД, ЖРД и дальности полета различных ЛА, КЛА; увеличение числа включений и времени (продолжительности) работы ЖРД многократного использования, ЖРД малой тяги многократного использования, а также микро-ЖРД многократного использования;

б) при заправке нового горючего с повышенной плотностью по нормам штатной заправки штатного горючего: происходит неполная заправка штатного бака или отсека горючего, из-за чего возможно: увеличение полезной нагрузки для ЛА, КЛА, что очень важно, особенно при выведении увеличенного полезного груза на космическую орбиту;

в) при использовании нового горючего с повышенной плотностью при сохранении технических характеристик штатного двигателя и всего ЛА, КЛА возможно конструктивное уменьшение объема бака или отсека горючего, что, в свою очередь, открывает возможность: уменьшения веса всего ЛА, КЛА; увеличения аэродинамических качеств (аэродинамических характеристик и дальности полета) ЛА, КЛА; увеличения массы полезной нагрузки при выведении на орбиту.

Для повышения эффективности жидких топлив или горючих в них вводят различные присадки или добавки [3–8, 15–19]. Как правило,

присадки являются неметаллическими веществами, обычно их вводят на нефтеперерабатывающих заводах. Присадки бывают: антиокислительные (в том числе, и для повышения термоокислительной стабильности углеводородного реактивного топлива, т.е. для улучшения его высокотемпературных свойств, повышения температуры начала разложения и начала образования осадков), противоизносные, антикоррозионные, противоводокристаллизационные, антиэлектростатические, антинагарные, противотурбулентные, антиосадкообразующие, стабилизаторы, активаторы воспламенения, вещества (депрессаторы), понижающие температуру замерзания и др.

Добавки к топливам и горючим бывают металлические (металлизированные) и неметаллические (неметаллизированные), их еще называют энергетическими добавками. Металлические добавки вводятся в топливо или в горючее в виде металлической пудры или порошка, гелевых растворов непосредственно перед сжиганием, а также – в ходе сжигания – при подаче в область горения.

Неметаллические добавки вводятся в виде растворимых порошков, их концентрированных растворов, жидкостей или гелирования при подготовке к полету или в ходе полета (см. патенты на изобретения РФ №№ 2461604, 2521429, 2521429, 2570910, 2570911, 2570913, 2513850, 2584947, 2180050, 2299232 и др.; патенты на изобретения США №№ 5611824, 5234475).

Одним из новых способов повышения эффективности жидких топлив или горючих является внедрение в них неметаллических энергетических добавок – углеродных наночастиц – фуллеренов [3, 6, 14–19]. В настоящее время влияние сухих чистых фуллеренов на повышение эффективности жидких топлив или горючих исследовано только для жидких углеводородных горючих и охладителей.

Особенности свойств и применение гидразина и его производных

Жидкий чистый гидразин широко применяется в качестве азотосодержащего горючего в авиационно-космической технике, а также в других областях промышленности: в энергетике, в медицине и др. [1–5, 12–16].

Гидразин (N_2H_4) – это однокомпонентное ракетное топливо или моно-горючее, которое было открыто и создано почти 150 лет назад, а наиболее эффективное его применение началось с началом развития реактивной авиации и ракетной техники; представляет собой бесцветную, дымящую на воздухе жидкость, сильно гигроскопичную и хорошо растворяющуюся в воде, спиртах, аминах и др. полярных растворителях; это эндотермичное соединение, поэтому имеет малую стабильность, легко воспламеняется и легко разлагается при нагревании и в присутствии катализаторов с образованием аммиака, водорода и азота. Все гидразиновые горючие и охладители являются токсичными и опасными для человека [3–5, 8, 11, 13, 15, 16, 19]. Но, несмотря на это, из-за своих особенных технических свойств, они продолжают эффективно использоваться, и в первую очередь, для двигателей ЛА, КЛА одно- и многоразового использования воздушного, аэрокосмического и космического базирования [1, 3–5, 7, 8, 11–13, 15–19]. При разложении 1 моля гидразина выделяется 46 кДж тепла, поэтому он, в основном, используется в ЖРД малой тяги и в газогенераторах, где образующиеся при разложении газы достигают температуры 1400 К и развивают давление (1–2) МПа [1, 3–5, 7, 8, 11–13, 15–19].

В настоящее время гидразин также широко используется в микро - ЖРД для эффективного управления орбитальными малыми и наноспутниками [1, 3–5, 7, 8, 12, 19]. Гидразин, его аналоги, производные и смеси также могут применяться в воздушно-космических самолетах, в гиперзвуковых ЛА одно- и многоразового использования двойного назначения в качестве основных, дополнительных и вспомогательных топлив (горючих) [16–19].

Более подробные сведения о применении гидразина и гидразиновых горючих в двигателях летательных аппаратов и в различных отраслях промышленности и народного хозяйства авторы статьи разместили в своих ранних статьях [16–19].

Из анализа научно-технической и патентно-лицензионной литературы установлено, что [2–19]:

1) ранее создавали систему «углеводородное горючее + фуллерены», вводя при этом и другие присадки и добавки;

2) теплофизические свойства (ТФС) жидкого чистого гидразина исследовали при его естественной конвекции в нормальных условиях, а также при высоких параметрах состояния по давлению и температуре;

3) влияние сухих чистых фуллеренов, а также фуллеренов с различными присоединениями, в том числе, и с металлическими, исследовали:

– в азотосодержащих жидкостях (в том числе, в горючих и растворителях, в водных растворах гидразина и воды – в гидразингидратах и др.);

– в других различных жидких и газообразных средах и растворах (в том числе с водой, с гадоллинием, с п-ксилолом, с ароматическими растворителями, с технической смесью высокомолекулярных карбоновых кислот, с системой «гегсан–о-ксилол–диметилформамид», со стиролом, с толуолом, с системой «о-ксилол в органических растворителях»),

– в растворах фуллеренсодержащих полимеров;

– в уретанах (гидроксильированные фуллерены и фуллеренсодержащие уретаны);

– в поливинилпирролидоне (звездообразные фуллеренсодержащие производные поливинилпирролидона в растворах);

– в полиметилметакрилатах (фуллеренсодержащие полиметилметакрилаты) – с целью определения изменения их ТФС и термодинамических свойств (ТДС), а также других свойств и возможностей, в том числе, для определения температур начала кипения;

4) физические, механические и ТФС свойства самих чистых сухих фуллеренов исследовали с различными присоединениями (до их смешения с различными жидкостями);

5) отсутствуют исследования по влиянию фуллеренов (в том числе, чистых и сухих) на ТФС и термодинамические свойства (ТДС) жидкого чистого гидразина.

Поэтому материалы данной статьи являются актуальными, новыми и необходимыми, т.к. они открывают:

– новые возможности по повышению эффективности жидкого чистого гидразина, а также азотосодержащих горючих и охладителей, в том числе, аналогов и производных чистого гидразина и его смесей с другими горючими и жидкостями;

– новые возможности по повышению эффективности двигателей одно- и многоразового использования наземного, воздушного, аэрокосмического и космического базирования;

– новые возможности по повышению эффективности (в том числе, и аэродинамического качества) различных ЛА и КЛА одно- и многоразового использования двойного назначения.

Экспериментальные исследования

Были созданы экспериментальные установки и рабочие участки, которые позволяли создавать давление $p = (0,1-49,1)$ МПа, температуру $T = (293-700)$ К [16–19]. Описание экспериментальных установок, методики проведения экспериментальных исследований с жидким чистым гидразином и с системой «гидразин + фуллерены» ранее были показаны в предыдущей статье авторов [18].

Первая часть экспериментов была проведена непосредственно с жидким чистым гидразином в условиях его естественной конвекции [17–19]. Также были рассмотрены и уточнены существующие формулы расчета ТФС жидкого чистого гидразина при различных термодинамических условиях. На основе результатов экспериментальных и теоретических исследований были разработаны новые экспериментальные формулы расчета ТФС жидкого чистого гидразина, даны рекомендации по использованию уже существующих формул. Созданная экспериментальная и теоретическая база данных о ТФС жидкого чистого гидразина позволила авторам перейти ко второй части исследований.

Вторая часть экспериментов была проведена непосредственно с жидким чистым гидразином в условиях его естественной конвекции в широком диапазоне параметров по давлению и температуре, но при внедрении в него чистых сухих фуллеренов марок C_{60} , C_{70} , C_{84} [17–19].

Концентрация каждой марки фуллеренов варьировалась от 0,1 до 0,5 %.

ТФС и ТДС нового горючего (наножидкости) типа «гидразин + фуллерены» были экспериментально определены для всех трех групп:

– первая группа: « $N_2H_4 + 0,1\% C_{60}$ », « $N_2H_4 + 0,2\% C_{60}$ », « $N_2H_4 + 0,3\% C_{60}$ », « $N_2H_4 + 0,4\% C_{60}$ », « $N_2H_4 + 0,5\% C_{60}$ »;

– вторая группа: « $N_2H_4 + 0,1\% C_{70}$ », « $N_2H_4 + 0,2\% C_{70}$ », « $N_2H_4 + 0,3\% C_{70}$ », « $N_2H_4 + 0,4\% C_{70}$ », « $N_2H_4 + 0,5\% C_{70}$ »;

– третья группа: « $N_2H_4 + 0,1\% C_{84}$ », « $N_2H_4 + 0,2\% C_{84}$ », « $N_2H_4 + 0,3\% C_{84}$ », « $N_2H_4 + 0,4\% C_{84}$ », « $N_2H_4 + 0,5\% C_{84}$ ».

Экспериментально было установлено, что фуллерены в любой концентрации полностью растворялись в жидком чистом гидразине в течение 10 минут. Зафиксировано повышение ТФС и ТДС жидкого чистого гидразина при различных температурах и давлениях при введении в него каждой исследуемой марки фуллеренов при их конкретных концентрациях. Эксперименты показали, что увеличение концентрации фуллеренов приводит к повышению плотности и других ТФС и ТДС, а при максимальном (в экспериментах) значении концентрации 0,5 % – происходит максимальное повышение плотности и других ТФС и ТДС. Экспериментально обнаружено, что среди исследуемых марок фуллеренов (C_{60} , C_{70} , C_{84}) при одинаковых условиях и одинаковых концентрациях рост увеличения ТФС и ТДС жидкого чистого гидразина происходит при последовательном выборе марки фуллеренов по возрастанию их маркировочного числа (нижнего индекса), т.е. числа атомов углерода в молекуле, где наиболее эффективными оказались фуллерены марки C_{84} .

Впервые получены экспериментальные данные и создан банк экспериментальных данных по влиянию чистых сухих фуллеренов марок C_{60} , C_{70} , C_{84} с их концентрацией %: (0,1–0,5) на увеличение ТФС и ТДС жидкого чистого гидразина в условиях его естественной конвекции в широком диапазоне параметров по давлению и температуре. Экспериментально было установлено, что при добавлении в жидкий чистый гидразин фуллеренов марки C_{60} , C_{70} , C_{84} плотность гидразина может быть увеличена на 2,5 % [18, 19].

Результаты исследований по влиянию фуллеренов на увеличение плотности жидкого чистого гидразина были сведены в таблицу в виде относительных коэффициентов, которые были вычислены путем деления числителя на знаменатель, где в числителе находилось значение плотности нано-жидкости типа «гидразин + фуллерен» (нового горючего), а в знаменателе – значение плотности жидкого чистого гидразина

(без фуллеренов), т.е. для определения вклада фуллеренов марок C₆₀, C₇₀, C₈₄ с их концентрацией (0,1–0,5) % масс., введенных в жидкий чистый гидразин, на изменение его плотности при различных давлениях и температурах были найдены относительные коэффициенты, т.е. зависимости в виде отношения:

$$K_p(T) = \rho_f / \rho_0 = f(T); \quad (1)$$

где K_p(T) – относительный коэффициент плотности при изменении температуры и постоянном давлении для системы «(гидразин + фуллерены) / гидразин»; ρ_f – плотность жидкого чистого гидразина с внедренными фуллеренами марок C₆₀, C₇₀, C₈₄ при их концентрации (0,1–0,5) % масс.; ρ₀ – плотность жидкого чистого гидразина (без внедрения фуллеренов);

Для удобства расчетов и восприятия текста, таблицы и графиков были введены следующие обозначения:

K_p(T) (0,5 % C₆₀) – это относительный коэффициент плотности системы «(N₂H₄ + 0,5 % C₆₀) / N₂H₄» при изменении температуры (T) и постоянном давлении (p) для случая, когда в жидкий чистый гидразин введены чистые сухие фуллерены марки C₆₀ с концентрацией 0,5 % масс.;

K_p(T) (0,5 % C₇₀) – это относительный коэффициент плотности системы «(N₂H₄ + 0,5 % C₇₀) / N₂H₄» при изменении температуры (T) и постоянном давлении (p) для случая, когда в жидкий чистый гидразин введены чистые сухие фуллерены марки C₇₀ с концентрацией 0,5 % масс.;

K_p(T) (0,5 % C₈₄) – это относительный коэффициент плотности системы «(N₂H₄ + 0,5 % C₈₄) / N₂H₄» при изменении температуры (T) и постоянном давлении (p) для случая, когда в жидкий чистый гидразин введены чистые сухие фуллерены марки C₈₄ с концентрацией 0,5 % масс.;

Для примера, в табл. 1 показаны максимальные значения относительных коэффициентов плотности, т.е. показан вклад фуллеренов в повышение плотности жидкого чистого гидразина после растворения в нем фуллеренов при их максимальной (в экспериментах) концентрации %: 0,5.

На рис. 1–6 в виде графиков представлены результаты расчета значений K_p(T).

Таблица 1. Относительные коэффициенты плотности нового горючего «гидразин + фуллерены (0,5 % C₆₀, 0,5 % C₇₀, 0,5 % C₈₄)» при различных температурах и давлениях

T, К	K _p (T) (0,5 % C ₆₀);					
	p, МПа					
	0,101	9,81	19,62	29,43	39,24	49,01
293	1,012	1,012	1,012	1,011	1,012	1,014
333	1,013	1,011	1,013	1,012	1,013	1,013
373	1,013	1,011	1,014	1,014	1,013	1,013
413	–	1,017	1,013	1,013	1,013	1,013
493	–	1,015	1,015	1,014	1,015	1,014
533	–	1,009	1,016	1,015	1,016	1,017
	K _p (T) (0,5 % C ₇₀)					
293	1,017	1,016	1,015	1,015	1,016	1,017
333	1,017	1,014	1,016	1,016	1,016	1,016
373	1,018	1,017	1,018	1,018	1,017	1,017
413	–	1,021	1,018	1,017	1,017	1,018
493	–	1,020	1,019	1,019	1,019	1,021
533	–	1,015	1,021	1,022	1,018	1,019
	K _p (T) (0,5 % C ₈₄)					
293	1,021	1,021	1,018	1,017	1,017	1,018
333	1,023	1,019	1,020	1,019	1,018	1,017
373	1,024	1,022	1,021	1,020	1,019	1,018
413	–	1,025	1,024	1,023	1,022	1,021
493	–	1,026	1,025	1,024	1,023	1,024
533	–	1,022	1,026	1,025	1,024	1,023

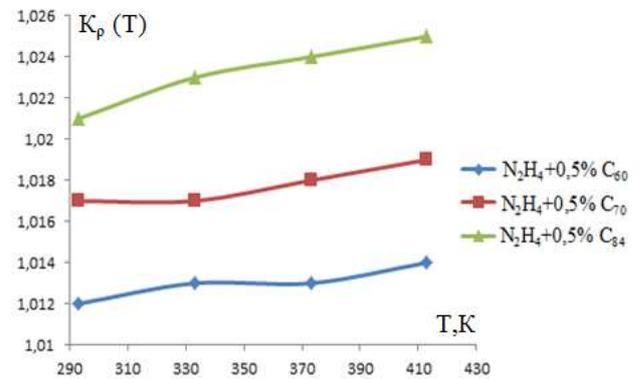


Рис. 1. Зависимость относительного коэффициента плотности K_p(T) от температуры при давлении p = 0,101 МПа

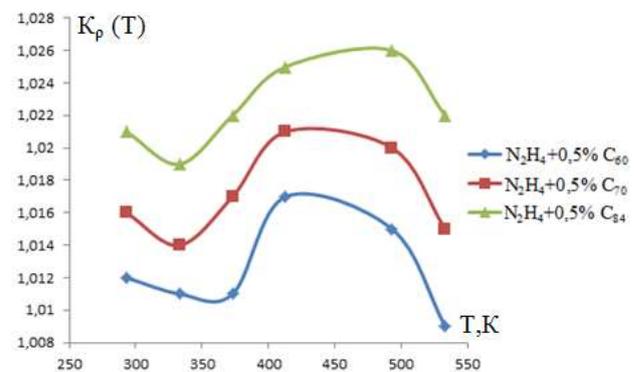


Рис. 2. Зависимость относительного коэффициента плотности K_p(T) от температуры при давлении p = 9,81 МПа

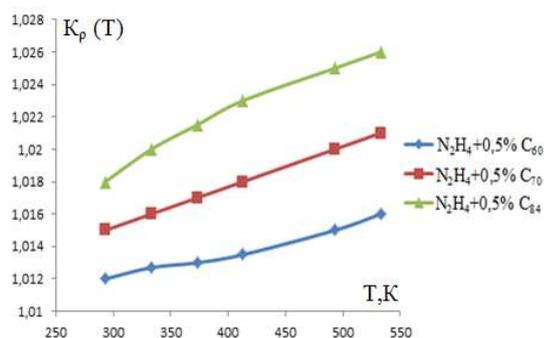


Рис. 3. Зависимость относительного коэффициента плотности $K_p(T)$ от температуры при давлении $p = 19,62$ МПа

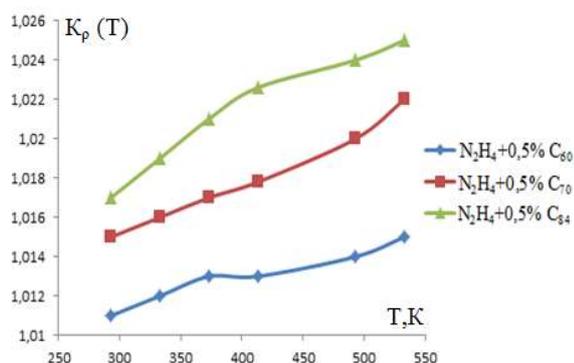


Рис. 4. Зависимость относительного коэффициента плотности $K_p(T)$ от температуры при давлении $p = 29,43$ МПа

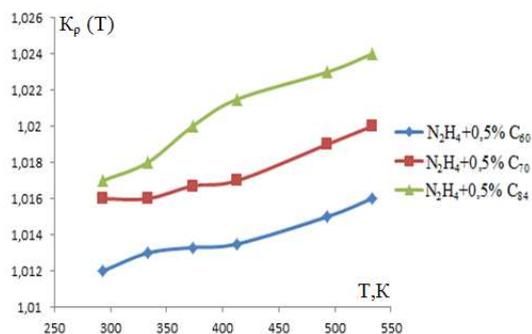


Рис. 5. Зависимость относительного коэффициента плотности $K_p(T)$ от температуры при давлении $p = 39,24$ МПа

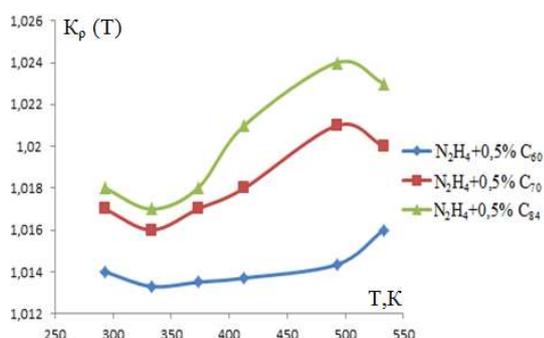


Рис. 6. Зависимость относительного коэффициента плотности $K_p(T)$ от температуры при давлении $p = 49,01$ МПа

Расчет увеличения дальности и времени полета летательного аппарата на жидком чистом гидразине при внедрении в него фуллеренов

Увеличение плотности жидкого горючего оказывает существенное влияние на дальность и время (продолжительность) полета ЛА, что очень важно особенно для различных беспилотных и пилотируемых ЛА, КЛА одно – и много-разового использования двойного назначения.

Для примера, можно привести расчеты и реально показать эффективность введения чистых сухих фуллеренов в жидкий чистый гидразин с целью повышения его плотности с дальнейшим увеличением дальности и времени (продолжительности) полета ЛА.

Известно, что дальность полета ЛА определяется по формуле [1, 16–19]:

$$L = m/C_k, \quad (2)$$

где L – дальность полета ЛА; m – масса топлива (горючего); C_k – километровый расход топлива (горючего) (расход топлива (горючего) на 1 км полета ЛА).

Масса топлива (горючего) определяется по формуле [1, 3–6, 8–11, 13, 15–19]:

$$m = \rho V, \quad (3)$$

где ρ – плотность топлива (горючего); V – объем бака горючего.

Пусть для жидкого чистого гидразина: $m = 1000$ кг; $C_k = 5$ кг/км.

Тогда получим дальность полета ЛА: $L = 1000/5 = 200$ км.

После внедрения в жидкий чистый гидразин чистых сухих фуллеренов, например, марки C_{84} , с концентрацией %: 0,5, плотность новой наножидкости типа «жидкий гидразин + фуллерен (0,5% C_{84})» (нового горючего) будет увеличенной. Например, относительная плотность будет иметь значение 1,025 (см. табл. 1, рис. 1–6).

Тогда масса новой наножидкости (нового горючего) при том же объеме бака горючего будет тоже увеличенной на такую же величину (множитель 1,025), что и плотность:

$$M_1 = 1,025m, \quad (4)$$

где M_1 – масса новой наножидкости (горючего).

Найдем массу новой наножидкости (нового горючего):

$$M_1 = 1,025 (1000) = 1025 \text{ кг.}$$

При использовании новой нано-жидкости (нового горючего) дальность полета ЛА (L_1) будет увеличенной:

$$L_1 = m/C_k = 1025/5 = 205 \text{ км.}$$

Найдем относительное увеличение дальности полета ЛА ($L_{\text{отн}}$) в процентах [1, 16–19]:

$$L_{\text{отн}} = [(L_1 - L)/L] 100 \% = 2,5 \%.$$

Далее можно найти и время (продолжительность) полета ЛА при использовании жидкого чистого гидразина, а также при использовании новой нано – жидкости (нового горючего) [1, 16–19].

Время (продолжительность) полета ЛА определяется по формуле [1, 2, 7, 15–19]:

$$T = m/C_{\text{ч}}, \quad (5)$$

где T – продолжительность полета ЛА; m – масса топлива (горючего); $C_{\text{ч}}$ – часовой расход топлива (горючего) (расход топлива (горючего) за 1 час полета ЛА).

Пусть для жидкого чистого гидразина: $m = 1000$ кг; $C_{\text{ч}} = 250$ кг/ч. Тогда $T = 1000/250 = 4$ часа = 240 минут.

После внедрения фуллеренов в жидкий чистый гидразин, например, марки C_{84} с концентрацией %: 0,5, масса новой нано-жидкости (нового горючего) будет увеличенной, как и в первом примере, т.е. $M_1 = 1,025m = 1025$ кг [1, 3–6, 8–11, 13, 15–19].

Найдем продолжительность полета ЛА при использовании новой нано-жидкости (нового горючего) (T_1) [1, 16–19]:

$$T_1 = M_1/C_{\text{ч}} = 1025/250 = 4,1 \text{ ч} = 246 \text{ минут.}$$

Найдем относительную продолжительность полета ЛА ($T_{\text{отн}}$) в процентах [1, 16–19]:

$$\begin{aligned} T_{\text{отн}} &= [(T_1 - T)/T] 100 \% = \\ &= [(246 - 240)/240] 100 \% = 2,5 \%. \end{aligned}$$

Из этих расчетов видно, что фуллерены действительно увеличивают дальность и время (продолжительность) полета ЛА при использовании системы «гидразин + фуллерены». Открывается возможность реального увеличения эффективности ЛА, КЛА [1, 3–6, 8–11, 13, 15–19]. Кроме того, необходимо отметить, что открывается возможность увеличения не только дальности

и времени полета ЛА, КЛА, но и увеличения количества включений ЖРД малой тяги многократного использования для КЛА (орбитальных космических станций, орбитальных спутников, а также вспомогательных ЖРД малой тяги многократного использования – для отечественных разгонных блоков (РБ) марок «Фрегат», «Фрегат-СБ», «Фрегат-МТ»).

Также можно определить возможность уменьшения веса двигателей (или бака горючего), веса дополнительной нагрузки для выведения на орбиту и др. параметры [1, 12, 16–19].

Авторами статьи были разработаны рекомендации по способам введения фуллеренов в жидкий чистый гидразин в ходе эксплуатации двигателей ЛА, КЛА различного базирования и применения [16-19]:

1) на борту воздушных, гиперзвуковых, аэрокосмических и космических летательных аппаратов одно- и многократного использования конструктивно снаружи или внутри бака или отсека или специального бака горючего располагать бортовые устройства для ввода конкретной марки и концентрации фуллеренов в жидкий чистый гидразин в ходе воздушных, гиперзвуковых, аэрокосмических и космических полетов;

2) бортовые устройства для ввода фуллеренов в жидкий чистый гидразин заполнять перед полетом ЛА, КЛА фуллеренами: или в виде чистого сухого порошка; или в виде раствора чистых сухих фуллеренов в жидком чистом гидразине;

3) бортовые устройства для ввода фуллеренов в жидкий чистый гидразин конструктивно выполнены: одноразового использования – для двигателей одноразового использования, для ЛА и КЛА одноразового использования; многократного использования – для двигателей многократного включения и использования, для ЛА, КЛА многократного использования; стационарные или съемные, заменяемые в незаправленном или в заправленном видах;

4) фуллерены вводятся в жидкий чистый гидразин:

а) или в наземных условиях в стационарных или мобильных баках или цистернах; непосредственно в баках или отсеках горючего на ЛА, КЛА; перед запуском двигателей ЛА, КЛА;

б) или в воздушных условиях, непосредственно в баках или отсеках горючего ЛА; в ходе работы двигателей при полете ЛА;

в) или в космических условиях, непосредственно в баках или отсеках горючего ЛА, КЛА; в период молчания двигателей на орбите, а также в ходе их работы; в период подготовки бортового горючего (его сбора и повышения его эффективности) для подготовки КЛА к уходу на дальние орбиты захоронения или к спуску на Землю, при этом ввод фуллеренов осуществляется в общем баке или отсеке горючего, а также в дополнительных баках, куда собираются остатки бортового горючего, или горючее в них заправляется на Земле до начала полета;

5) бортовые устройства для ввода фуллеренов в жидкий чистый гидразин конструктивно объединить в общую батарею, где каждое устройство заправляется фуллеренами одной марки, например, или C_{60} , или C_{70} , или C_{84} , и одной концентрации, например, или %: 0,1, или 0,2, или 0,3, или 0,4, или 0,5;

6) ввод фуллеренов в жидкий чистый гидразин осуществлять или вручную, или полуавтоматически, или автоматически;

7) выбор и задействование заполненного конкретной маркой и конкретной концентрацией фуллеренами бортового устройства для ввода фуллеренов в жидкий чистый гидразин осуществлять по экспериментальной базе данных (по таблицам или графикам) вручную, полуавтоматически или автоматически – при необходимости обеспечения нужной (расчетной) плотности жидкого чистого гидразина для выполнения различных полетных заданий и задач для пилотируемых и беспилотных ЛА, КЛА одно- и многоразового использования двойного назначения;

8) информацию о вводе фуллеренов в жидкий чистый гидразин и их полное растворение в нем в автоматическом режиме заносить в бортовой и наземный компьютер, а также выводить на информационное табло летчика-космонавта и наземного оператора.

Заключение

Проведенный обзор и анализ научно-технической и патентно-лицензионной литературы показал, что:

– жидкий чистый гидразин обладает уникальными теплофизическими (ТФС) и термодинамическими (ТДС) свойствами, поэтому он ши-

роко используется в ракетно-космической технике, в различных областях промышленности и народного хозяйства;

– производные гидразина и его смеси с другими горючими и жидкостями также обладают повышенными характеристиками и также широко применяются в науке и технике;

– увеличение плотности жидкого чистого гидразина путем внедрения в него чистых сухих фуллеренов – является новым и неисследованным способом повышения дальности и времени работы реактивных двигателей ЛА, КЛА;

– тема данной статьи является весьма актуальной и необходимой;

– необходимо проведение широкомасштабных экспериментальных исследований.

Авторами статьи была создана экспериментальная база, которая позволила провести всесторонние исследования с жидким чистым гидразином в условиях его естественной конвекции без внедрения и с внедрением чистых сухих фуллеренов.

Результаты экспериментальных исследований показали, что:

– фуллерены в любой концентрации полностью растворялись в жидком чистом гидразине в течение 10 минут;

– увеличение концентрации фуллеренов приводит к повышению плотности и других ТФС и ТДС, а при максимальном (в экспериментах) значении концентрации 0,5 % – происходит максимальное повышение плотности и других ТФС и ТДС:

– среди исследуемых марок фуллеренов (C_{60} , C_{70} , C_{84}) при одинаковых условиях и одинаковых концентрациях рост увеличения ТФС и ТДС жидкого чистого гидразина происходит при последовательном выборе марки фуллеренов по возрастанию их маркировочного числа (нижнего индекса), т.е. числа атомов углерода в молекуле, где наиболее эффективными оказались фуллерены марки C_{84} ;

– при добавлении в жидкий чистый гидразин фуллеренов марки C_{60} , C_{70} , C_{84} плотность гидразина может быть увеличена на 2,5 %.

На основе результатов экспериментальных исследований:

– были проанализированы формулы расчетов ТФС и ТДС для жидкого чистого гидразина различных авторов, показаны большие неточности

в формулах у некоторых авторов, выведены новые индивидуальные формулы;

– были разработаны новые формулы расчета ТФС и ТДС жидкого чистого гидразина при внедрении в него различных фуллеренов с концентрацией (0,1–0,5) %;

– был введен новый относительный коэффициент, показывающий вклад растворенных фуллеренов в увеличение плотности жидкого чистого гидразина;

– разработан и запатентован новый способ увеличения дальности и времени полета ЛА, КЛА;

– разработаны рекомендации по новым способам введения фуллеренов в жидкий чистый гидразин в ходе эксплуатации двигателей ЛА, КЛА различного базирования и применения;

– открываются возможности по увеличению числа запуска ЖРД различного класса и назначения, по увеличению полезной нагрузки, выводимой на орбиту, по уменьшению веса двигателя и самих ЛА, КЛА

Также необходимо отметить, что:

– увеличение плотности и других ТФС и ТДС жидкого чистого гидразина будет способствовать и увеличению ТФС и ТДС производных гидразина, различных его смесей с другими горючими и жидкостями;

– результаты проведенных исследований, а также материалы данной статьи необходимо учитывать при проектировании, создании и эксплуатации различных ВРД и ЖРД на жидком чистом гидразине с внедренными в него (перед полетом, в ходе полета ЛА, КЛА) чистых сухих фуллеренов, что будет способствовать повышению ресурса и эффективности различных перспективных отечественных ЛА, КЛА одно- и многоразового использования двойного назначения, а также повышению эффективности наземных энергоустановок многоразового использования.

Список источников

- Алемасов В.Е., Дрегалин А.Ф., Тишин А.П. Теория ракетных двигателей: учебник / под ред. В.П. Глушко. М.: Изд-во «Машиностроение», 1989. 464 с.
- Анализ энергетических возможностей составных углеводородных горючих для кислородных двигателей космических ракетных ступеней / И.С. Аверьков [и др.] // Космическая техника и технологии. 2017. № 4 С. 46–51.
- Бакулин В.Н., Дубовкин Н.Ф., Котова В.Н., Сорокин В.А. Энергоёмкие горючие для авиационных и ракетных двигателей: монография / под ред. Л.С. Яновского. М.: Изд-во «ФИЗМАТЛИТ», 2009. 400 с.
- Большаков Г.Ф. Химия и технология компонентов жидкого ракетного топлива: монография. Л.: Изд-во «Химия», 1983. 320 с.
- Химмотология ракетных и реактивных топлив: монография / А.А. Братков [и др.] / под ред. А.А. Браткова. М.: Изд-во «Химия», 1987. 304 с.
- Данилов А.М. Применение присадок в топливах: справочник. 3-е изд., доп. СПб: Изд-во «ХИМИЗДАТ», 2010. 360 с.
- Добровольский В.М. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. / под ред. Д.А. Ягодникова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 448 с.
- Физико-химические и эксплуатационные свойства реактивных топлив: справочник / Н.Ф. Дубовкин [и др.]. М.: Изд-во «Химия», 1985. 240 с.
- Инженерные методы определения физико-химических и эксплуатационных свойств топлив: монография / Н.Ф. Дубовкин Н.Ф. [и др.]. Казань: Изд-во «Мастер Лайн», 2000. 378 с.
- Топлива для воздушно-реактивных двигателей. М.: Изд-во «МАТИ» – Российский государственный технологический университет им. К.Э. Циолковского, 2001. 443 с.
- Зрелов В.Н., Серегин Е.П. Жидкие ракетные топлива: монография. М.: Изд-во «Химия», 1975. 320 с.
- Проблема разработки микро - двигательных установок / А.И. Коломенцев [и др.] // Известия вузов. Авиационная техника. 2010. № 2. С. 53–55.
- Коровин Н.В. Гидразин. М.: Химия, 1980. 272 с.
- Мекалова Н.В. Фуллерены в растворах: монография. Уфа: Изд-во «Уфимский государственный нефтяной технический университет», 2001. 107 с.
- Хавкин А.В., Гуляева Л.А., Белоусов А.И. Производство реактивных топлив повышенной плотности (Т-8В и Т-6) // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2015. №4. С. 13–16.
- Некоторые пути повышения эффективности жидких и газообразных углеводородных и азотосодержащих горючих для двигателей летательных аппаратов / В.А. Алтуниин [и др.] // Тепловые процессы в технике. 2019. Т. 11. № 10. С. 453–479.
- Способ повышения эффективности воздушных, гиперзвуковых, аэрокосмических и космических летательных аппаратов одно- и многоразового использования на жидком азотосодержащем горючем: пат. на изобретение Рос. Федерация. № 2738300; 11.12.20, Бюл. № 35.
- Результаты экспериментальных исследований и методика расчета теплофизических свойств гидразина и его смесей с фуллеренами / В.А. Алтуниин [и др.] // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2019. № 3. С. 39–51.
- Экспериментальное исследование плотности и теплоемкости жидкого чистого гидразина при введении

в него чистых сухих фуллеренов / В.А. Алтунин [и др.] // Инженерный журнал: наука и инновации. 2020. № 2. DOI: 10.18698/2308-6033-2020-2-1957

References

1. Alemasov VE, Dregalin AF, Tishin AP. (ed.) Theory of rocket engines. Moscow: Izd-vo «Mashinostroenie»; 1989. 464 p. (In Russ.)
2. Aver'kov IS, Demskaya IA, Katkov RE et al. Analysis of the energy capabilities of composite hydrocarbon fuels for oxygen engines of space rocket stages // Kosmicheskaja tehnika i tehnologii. 2017;(4):46-51. (In Russ.)
3. Bakulin VN, Dubovkin NF, Kotova VN, Sorokin VA. (ed.) Energy-intensive fuels for aircraft and rocket engines. Moscow: Izd-vo «FIZMATLIT»; 2009. 400 p. (In Russ.)
4. Bol'shakov GF. Chemistry and technology of liquid propellant components. Leningrad: Izd-vo «Himiya»; 1983. 320 p. (In Russ.)
5. Bratkov AA, Seryogin EP, Gorenkov AF et al. (ed.). Chemical biology of rocket and jet fuels. Moscow: Izd-vo «Himija»; 1987. 304 p. (In Russ.)
6. Danilov AM. 3rd ed. The use of additives in fuels. Saint Petersburg: Izd-vo «HIMIZDAT»; 2010. 360 p. (In Russ.)
7. Dobrovolskij VM. 2nd ed. Liquid rocket engines. Design basics. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.Je. Bauman; 2005. 448 p. (In Russ.)
8. Dubovkin NF, Malanicheva VG, Massur YuP et al. Physico-chemical and operational properties of reactive fuels. Moscow: Izd-vo «Himija»; 1985. 240 p. (In Russ.)
9. Dubovkin NF, Yanovskij LS, Shigabiev TN et al. Engineering methods for determining the physico-chemical and operational properties of fuels. Kazan: Izd-vo «Master Lajn»; 2000. 378 p. (In Russ.)
10. Dubovkin NF, Yanovskij LS, Harin AA et al. Fuel for air-jet engines. Moscow: Izd-vo «MATI» – Rossijskij gosudarstvennyj tehnologicheskij universitet im. K.Je. Ciolkovskogo; 2001. 443 p. (In Russ.)
11. Zrel'ov VN, Serjogin EP. Liquid rocket fuels. Moscow: Izd-vo «Himija»; 1975. 320 p. (In Russ.)
12. Kolomencev AI, Bajkov AV, Martynenko SI et al. The problem of developing micro-propulsion systems. Izvestija vuzov. Aviacionnaja tehnika. 2010;(2):53-55. (In Russ.)
13. Korovin NV. Gidrazin. Moscow: Himija; 1980. 272 p. (In Russ.)
14. Mekalova NV. Fullerenes in solutions. Ufa: Izd-vo «Ufimskij gosudarstvennyj neftjanoy tehnicheskij universitet»; 2001. 107 p. (In Russ.)
15. Havkin AV, Guljaeva LA, Belousov AI. Production of high-density jet fuels (T-8B and T-6). Mir nefteproduktov. Vestnik neftjanyh kompanij. 2015;(4):13-16. (In Russ.)
16. Altunin VA, Altunin KV, Aliev IN et al. Some ways to improve the efficiency of liquid and gaseous hydrocarbon and nitrogen-containing fuels for aircraft engines. Thermal processes in engineering. 2019;11(10):453-479. (In Russ.)
17. Altunin VA, Davlatov NB, Zaripova MA et al. A method for increasing the efficiency of air, hypersonic, aerospace and space aircraft of single and reusable use on liquid nitrogen-containing fuel. 2738300 (Patent) 2020. (In Russ.)
18. Altunin VA, Davlatov NB, Zaripova MA, Aliev IN, Yanovskaya ML. Results of experimental studies and methods for calculating the thermophysical properties of hydrazine and its mixtures with fullerenes. Vestnik KGTU im. A.N. Tupoleva. 2019;(3):39-51. (In Russ.)
19. Altunin VA, Davlatov NB, Zaripova MA, Safarov MM, Aliyev IN, Yanovskaya ML. Experimental study of the density and heat capacity of liquid pure hydrazine when introducing pure dry fullerenes into it. Engineering Journal: Inzhenernyj zhurnal: nauka i innovacii, 2020;(2). DOI: 10.18698/2308-6033-2020-2-1957. (In Russ.)