

УДК 629.764.071.08

Канд. техн. наук Г. Л. Поздеев, Р. А. Кучеренко, Т. В. Кучеренко

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДОСТАВКИ НА КОСМОДРОМ КОМПОНЕНТОВ РАКЕТНОГО ТОПЛИВА С ЗАДАНЫМ ГАЗОНАСЫЩЕНИЕМ

Рассмотрен вопрос достижения заданного значения газонасыщения в компонентах ракетных топлив после их доставки с заводов-изготовителей на космодром. Учитывая, что процесс газонасыщения или дегазирования компонентов ракетных топлив является трудоемким и затратным, данный вопрос является актуальным. Для его решения были рассмотрены факторы, определяющие значение газонасыщения в доставляемых на космодром компонентах топлива, и разработана методика регулирования значения газонасыщения средствами завода-изготовителя топлива. Данная методика заключается в том, что в транспортной контейнер-цистерне после ее заправки компонентами ракетных топлив на заводе-изготовителе топлива создается определенное транспортировочное давление, которое определяется значением известного исходного дефицита или избытка газа в компонентах ракетного топлива, после чего контейнер-цистерну доставляют на космодром. Вследствие того, что контейнер-цистерна в ходе доставки компонентов ракетных топлив на космодром подвергается различным видам механических воздействий (вибрации, морская качка, торможение, перегрузка), в ней происходит процесс интенсивного перемешивания компонентов ракетных топлив. При перемешивании компонентов ракетных топлив происходит процесс насыщения топлива с переходом части газа из газового объема контейнер-цистерны в жидкость, в результате чего достигается определенное газонасыщение. В статье приведены результаты измерений параметров газожидкостной среды в контейнерах-цистернах с топливом в ходе доставки топлива в Украину с заводов КНР и выполнены оценки результатов измерений с использованием разработанной модели, которые подтвердили заложенный в модели количественный характер массообменных процессов, протекающих в газожидкостной среде при транспортировке контейнер-цистерны с топливом. Было определено, что вследствие неизбежных погрешностей измерения используемых параметров средствами транспортной контейнер-цистерны достижение заданного газонасыщения с высокой точностью является проблематичным. Несмотря на то, что данная методика не позволяет обеспечить точное значение заданного газонасыщения, ее применение позволяет ускорить и удешевить процесс подготовки топлива к заправке на космодроме, что особенно актуально для случая гелирования топлива. На базе данной методики для гелирования топлива предложена комплексная технология, предусматривающая управляемое газонасыщение в ходе доставки топлива и последующую корректировку газонасыщения средствами космодрома. Таким образом, в настоящей статье рассмотрена оригинальная модель управляемого регулирования газонасыщения топлив в ходе доставки их потребителю. Предложен вариант практического использования результатов исследований в виде комплексной технологии гелирования топлива, доставляемого в контейнер-цистерне с завода-изготовителя на космодром.

Ключевые слова: окислитель, горючее, гелирование, контейнер-цистерна, транспортировка.

Розглянуто питання досягнення заданого значення газонасичення в компонентах ракетного палива після їх доставки із заводів-виготовлювачів на космодром. Ураховуючи, що процес газонасичення або дегазування компонентів ракетних палив є трудомістким і затратним, це питання є актуальним. Для його вирішення було розглянуто фактори, що визначають значення газонасичення в доставляваних на космодром компонентах палива, і розроблено методику регулювання значення газонасичення засобами заводу-виготовлювача палива. Ця методика полягає в тому, що в транспортному контейнері-цистерні після його заправлення компонентами ракетного палива на заводі-виготовлювачі палива створюють певний транспортувальний тиск, який визначається значенням відомого вихідного дефіциту або надлишку газу в компонентах ракетного палива, після чого контейнер-цистерну доставляють на космодром. Унаслідок того, що контейнер-цистерна під час доставляння компонентів ракетного палива на космодром зазнає різних видів механічних впливів (вібрації, морська хитавиця, гальмування, перевантаження), у ньому відбувається процес інтенсивного перемішування компонентів ракетного палива. Під час перемішування компонентів ракетного палива відбувається процес насичення палива з переходом частини газу з газового об'єму контейнера-цистерни у рідину, в результаті чого досягається певне газонасичення. У статті наведено результати вимірювання параметрів газорідного середовища у контейнерах-цистернах з паливом під час доставляння палива в Україну із заводів КНР і оцінено результати вимірювань з використанням розробленої моделі, які підтвердили закладений у моделі кількісний характер масообмінних процесів, що відбуваються в газорідному се-

редовищі під час транспортування контейнера-цистерни з паливом. Було визначено, що через неминучі похибки у вимірюванні використовуваних параметрів засобами транспортного контейнера-цистерни досягнути заданого газонасичення з високою точністю проблематично. Незважаючи на те, що ця методика не дозволяє забезпечити точне значення заданого газонасичення, її застосування дає змогу прискорити та здешевити процес підготування палива до заправки на космодромі, що особливо актуально для випадку гелювання палива. На базі цієї методики для гелювання палива запропоновано комплексну технологію, що передбачає кероване газонасичення під час доставляння палива й подальше коригування газонасичення засобами космодрому. Отже, у цій статті розглянуто оригінальну модель керованого регулювання газонасичення палива під час доставляння його споживачу. Запропоновано варіант практичного використання результатів досліджень у вигляді комплексної технології гелювання палива, яке доставляють у контейнері-цистерні із заводу-виготовлювача на космодром.

Ключові слова: окиснювач, пальне, гелювання, контейнер-цистерна, транспортування.

This article considers the issue of achievement of the specified value of propellants saturation by helium after their delivery from the manufacturers to the launch site. Knowing the fact that propellants gas saturation or gas separation processes are labour-consuming and costly this issue is of immediate interest. In order to solve this problem number of factors have been considered, which determine the value of gas saturation in the propellants delivered to the launch site and procedure to control the value of gas saturation by the fuel manufacturer has been developed. This procedure implies that shipping tank container is pressurized after being fueled with propellants at the manufacturer's, the pressure is characterized by the value of the known initial deficit or excess of gas in the propellants, following which tank container is delivered to the launch site. During transportation tank container is subjected to various kinds of mechanical actions (vibration, rolling and pitching in the sea, braking, transshipment), therefore intensive mixing of propellants occur. As propellants mix, process of propellant saturation occurs when certain amount of gas transits from tank container's gas volume into the liquid, therefore certain gas saturation is reached. Article includes the measuring results of the gas liquid medium parameters inside the tank containers with fuel in the process of fuel transportation to Ukraine from PRC factories and estimations of the measuring results using the developed model which confirmed the quantitative nature of the mass exchange processes, included in the model, going on in the gas liquid medium during transportation of the tank container with fuel equipment. It has been determined that due to inevitable errors in the measuring of the specified parameters by the tank container, the achievement of the specified gas saturation with high precision is problematic. In spite of the fact that this procedure does not provide exact value of the specified gas saturation, its application will accelerate and make cheaper the process of fuel preparation for filling operations at the launch site, which is especially relevant in case of fuel saturation by helium. Based on this fuel saturation by helium procedure, the complex technology is suggested, providing controlled gas saturation during fuel delivery and subsequent adjustment of gas saturation using launch site equipment. Therefore, this article develops and studies the original model of the controlled gas saturation of the fuel during its delivery to the consumer. Alternative of the practical use of the study results is suggested in the form of the complex technology of fuel saturation by helium, delivered in the tank containers from the manufacturer to the launch site.

Keywords: oxidizer, fuel, saturation by helium, tank container, transportation.

Введение

Одной из важнейших операций по подготовке ракеты-носителя (РН) к пуску на космодроме является заправка топливных баков РН компонентами ракетного топлива, в том числе высококипящими, в качестве которых в основном используются тетраоксид диазота (АТ) – окислитель и несимметричный диметилгидразин (НДМГ) – горючее. Производителями АТ и НДМГ являются Россия, Китай, США. Можно указать десятки космодромов в различных частях света, на которые для проведения пусков доставляются ракеты-носители, комплектующие и расходные материалы, в том числе АТ и НДМГ.

Доставка компонентов топлива на космодром включает в себя заполнение герметичных транспортных цистерн топливом на складах либо заводах-изготовителях топлива, транспортировку топлива потребителю, слив топлива из транспортных цистерн в стационарные резервуары, в которых проводится подготовка топлива к заправке летательных аппаратов. Особенностью подготовки топлива к заправке ампулизируемых летательных аппаратов (разгонные ступени ракет-носителей, двигательные установки малой тяги, космические аппараты и др.) является необходимость насыщения заправляемого топлива газом наддува либо дегазирование топлива. Как правило, корректировка содержания растворенного газа в компонен-

те топлива (газонасыщение или дегазирование) проводится уже на космодроме после слива топлива из средств доставки в заправочную емкость системы заправки на заправочной станции либо на стартовой позиции [1, 2]. В этом случае в составе заправочной станции или системы заправки стартовой позиции предусматривается специальное оборудование и отводится время для осуществления операций газонасыщения (дегазирования) топлива. Особенно трудоемким, затратным по времени и средствам является процесс гелирования топлива, предусматривающий расход большого количества дорогостоящего гелия и генерирующий унос большого количества паров топлива с их последующей дорогостоящей утилизацией. Предпочтительно осуществлять поставку топлива на космодром уже с заданной концентрацией газа в нем в специальных транспортно-заправочных контейнерах (ТЗК) [3]. Это достигается в том случае, если поставщик топлива имеет собственные стенды, на которых проводится газонасыщение (дегазация) топлива и обеспечиваются условия заправки ТЗК с сохранением достигнутого газонасыщения [4].

Однако при поставках топлива со складов или с завода-изготовителя обеспечить заданное газонасыщение не представляется возможным, поскольку в условиях завода-изготовителя предусматривается только выдача топлива в средства доставки без какой-либо доработки в части насыщения газом, требующего усложнения его подготовки к отгрузке и увеличения времени отгрузки.

В общем случае концентрация газа в топливе C_0 при отгрузке с завода-изготовителя является случайной величиной, значение которой определяется с учетом особенностей оборудования завода-изготовителя топлива, технологии заправки топлива в транспортные контейнеры-цистерны (КЦ), конструктивных особенностей КЦ, температуры топлива. При необходимости значение C_0 при каждой отгрузке топлива определяется экспериментально одним из известных способов, например газовой хроматографией.

После заливки КЦ топливом проводится корректировка давления в газовом объеме резервуара КЦ для создания заданного зна-

чения транспортного давления $P_{0\ mp}$. Значение $P_{0\ mp}$ выбирается таким образом, чтобы в процессе транспортировки КЦ с топливом значение $P_{i\ mp}$ было не ниже атмосферного давления на всех этапах доставки (для исключения попадания атмосферного воздуха внутрь резервуара КЦ и прочности КЦ),

$$P_{i\ mp} \geq 1,0 \text{ кгс/см}^2 \text{ (абс).}$$

Транспортное давление

$$P_{0\ mp} = P_{\Gamma 0\ mp} + P_{S0\ mp}, \quad (1)$$

где $P_{\Gamma 0\ mp}$ – парциальное давление газа в газовом объеме КЦ после ее наддува для транспортировки;

$P_{S0\ mp}$ – давление насыщенных паров топлива в КЦ при ее отправке.

Согласно известному уравнению Рауля-Генри [5] значению $P_{\Gamma 0\ mp}$ соответствует значение равновесного газонасыщения

$$C_{0\ mp} = P_{\Gamma 0\ mp} \cdot \alpha, \quad (2)$$

где α – коэффициент пропорциональности (коэффициент Генри).

В зависимости от достигнутого значения C_0 и выбранного значения $P_{0\ mp}$ реализуются следующие условия массообмена в резервуаре КЦ:

$$C_0 > C_{0\ mp}; \quad (3)$$

$$C_0 < C_{0\ mp}. \quad (4)$$

Условию (3) соответствует состояние газожидкостной среды в КЦ, при котором существует избыток массы газа в жидкости и дефицит массы газа в газовом объеме цистерны. При этом условии в процессе доставки КЦ потребителю происходит дегазирование топлива с переходом части газа из жидкости в газовый объем цистерны, т.е.

$$P_{\Gamma i\ mp} > P_{\Gamma 0\ mp}.$$

Условию (4) соответствует состояние газожидкостной среды в КЦ, при котором су-

существует дефицит массы газа в жидкости и избыток массы газа в газовом объеме емкости. При этом условии в процессе доставки КЦ потребителю происходит насыщение топлива с переходом части газа из газового объема емкости в жидкость, т. е.

$$P_{Гi\text{ тр}} < P_{Г0\text{ тр}}.$$

Доставка КРТ с завода-изготовителя топлива потребителю, например на космодром для заправки баков РН, обычно включает в себя транспортировку КЦ с топливом автомобильным, железнодорожным и морским видами транспорта. Во время транспортировки КЦ с топливом вибрации, резкие изменения скорости движения, качка при морской перевозке и др. вызывают колебания жидкости на границе раздела фаз и вынужденную конвекцию внутри жидкости, что способствует установлению динамического равновесия газа, растворенного в жидкости и находящегося в газовом объеме, т. е. возможно достижение равенства

$$C_{\text{треб}} = P_{Г\text{ треб}} \cdot \alpha, \quad (5)$$

где $C_{\text{треб}}$ – требуемая концентрация газа в топливе, доставляемом КЦ;

$P_{Г\text{ треб}}$ – парциальное давление газа в газовом объеме КЦ, равновесное величине $C_{\text{треб}}$.

Таким образом, задача состоит в том, чтобы выбрать для наддува КЦ такое давление $P_{Г0\text{ тр}}$, которое в процессе доставки КЦ примет значение $P_{Гi\text{ тр}} = P_{Г\text{ треб}}$.

С учетом изложенных положений сформулирована модель управляемого изменения концентрации газа в топливе при его доставке потребителю, суть которой состоит:

- для условия (3) – в реализации за счет дренирования парогазовой смеси из КЦ равенства

$$\Delta M_{\text{изб.г.жидк}} = \Delta M_{\text{деф.г}}, \quad (6)$$

где $\Delta M_{\text{изб.г.жидк}}$ – существующий избыток массы газа в жидкости;

$\Delta M_{\text{деф.г}}$ – создаваемый дефицит массы газа в газовом объеме КЦ;

- для условия (4) – в реализации за счет наддува КЦ равенства

$$\Delta M_{\text{деф.г.жидк}} = \Delta M_{\text{изб.г}}, \quad (7)$$

где $\Delta M_{\text{деф.г.жидк}}$ – существующий дефицит массы газа в жидкости;

$\Delta M_{\text{изб.г}}$ – создаваемый избыток массы газа в газовом объеме КЦ.

Для условия (3) требуемый дефицит массы газа, создаваемый в газовом объеме КЦ, определяется из выражения

$$\Delta M_{\text{деф.г}} = M_{\kappa} - M_0, \quad (8)$$

где M_{κ} – конечная масса газа в газовом объеме емкости (после доставки емкости потребителю);

M_0 – начальная масса газа в газовом объеме емкости (после наддува емкости для транспортировки).

Для условия (4) требуемый избыток массы газа, создаваемый в газовом объеме КЦ, определяется из выражения

$$\Delta M_{\text{изб.г}} = M_0 - M_{\kappa}; \quad (9)$$

$$M_0 = \frac{P_{Г0\text{ тр}}(V - V_{\text{ж}})}{R_{\Gamma} T_0}, \quad (10)$$

где $P_{Г0\text{ тр}}$ – парциальное давление газа в газовом объеме емкости после ее наддува для транспортировки;

V – полный объем емкости КЦ;

$V_{\text{ж}}$ – объем жидкости в емкости;

R_{Γ} – газовая постоянная для газа наддува;

T_0 – абсолютная начальная температура газожидкостной среды

$$M_{\kappa} = \frac{P_{Г\text{ треб}}(V - V_{\text{ж}})}{R_{\Gamma} T_{\kappa}}, \quad (11)$$

где $P_{Г\text{ треб}}$ – требуемое парциальное давление газа в КЦ после доставки КЦ потребителю.

$$\Delta M_{\text{изб.г.жидк}} = \Delta C_{\text{ж.изб}} \cdot V_{\text{ж}}, \quad (12)$$

где $\Delta C_{ж.изб}$ – избыточное содержание газа в жидкости.

$$\Delta C_{ж.изб} = C_{0ж} - C_{ж.треб}, \quad (13)$$

где $C_{0ж}$ – исходное содержание газа в жидкости; $C_{ж.треб}$ – требуемое содержание газа в жидкости.

$$\Delta M_{деф.г.жидк} = \Delta C_{ж.деф} \cdot V_{ж}, \quad (14)$$

где $\Delta C_{ж.деф}$ – дефицит содержания газа в жидкости,

$$\Delta C_{ж.деф} = C_{ж.треб} - C_{0ж}. \quad (15)$$

Из выражений (6), (8) следует

$$\Delta M_{изб.г.жидк} = M_{к} - M_0. \quad (16)$$

Из выражений (7), (9) следует

$$\Delta M_{деф.г.жидк} = M_0 - M_{к}. \quad (17)$$

С учетом изложенного:

- уравнение (16) преобразуется к виду

$$P_{Г_0тр.дег} = P_{Г.треб} \frac{T_0}{T_{к}} - \Delta C_{ж.изб} R_{Г} \cdot T_0 \frac{K}{1-K}, \quad (18)$$

где $P_{Г_0тр.дег}$ – создаваемая транспортная величина парциального давления газа в КЦ при необходимости дегазирования топлива;

- уравнение (17) преобразуется к виду

$$P_{Г_0тр.нас} = P_{Г.треб} \frac{T_0}{T_{к}} + \Delta C_{ж.деф} R_{Г} \cdot T_0 \frac{K}{1-K}, \quad (19)$$

где $P_{Г_0тр.нас}$ – создаваемая транспортная величина парциального давления газа в КЦ при необходимости насыщения топлива газом.

В выражениях (18), (19) величина

$$K = \frac{V_{ж}}{V}$$

КЦ топливом.

Величина $\frac{K}{1-K}$ – поправочный объемный

критерий, учитывающий степень заполнения емкости жидкостью. При $K = 0,5$ объемный критерий равен 1, при увеличении K объемный критерий возрастает и при $K = 0,8$ (штатная заливка КЦ) составляет 4. Следует отметить, что величина $P_{Г_0тр}$ чрезвычайно чув-

ствительна к объемному критерию, поскольку именно он определяет значение свободного объема в КЦ и массу газа, участвующую в процессе корректировки газонасыщения жидкости. Значение температурного критерия $\frac{T_0}{T_{к}}$ в диапазоне температур транспорти-

руемого топлива 5...20 °С изменяется в пределах 0,95...1,05.

Из выражения (19) следует, что практически при любом значении дефицита газа в топливе $\Delta C_{ж.деф}$ можно обеспечить получение требуемого значения газонасыщения доставляемого в КЦ топлива путем создания в КЦ расчетного значения транспортного давления $P_{Г_0тр}$.

Отсюда вытекает возможность насыщать топливо гелием до заданного значения $C_{треб}$ в процессе транспортировки топлива, тем самым сократив расход гелия и унос паров топлива при насыщении топлива гелием в условиях заправочных станций космодрома.

В то же время из выражения (18) следует, что глубокое дегазирование топлива в КЦ при транспортировке топлива не представляется возможным, поскольку требует создания в газовом объеме вакуума, что противоречит условию транспортировки КЦ $P_{0тр} \geq 1,0$ кгс/см² (абс). В реальных условиях заправки КЦ топливом и создания безопасных условий транспортировки достигается дегазирование топлива $\Delta C_{изб}$ в пределах 0,1...0,15 г/л при начальной концентрации газа в топливе 0,3...0,5 г/л.

На ГП «КБ «Южное» был исследован процесс изменения газонасыщения компонентов топлива в контейнере-цистерне при доставке топлива потребителю [6]. Исследования были выполнены на основании анализа опытных данных, полученных при доставке компонентов ракетных топлив АТ и НДМГ в контейнерах-цистернах моделей 8036 и 8508 с заводов-изготовителей топлив в КНР на завод № 100 ГП ПО ЮМЗ Украина. Общий вид контейнера-цистерны модели 8508 и особенности конструкции представлены на рис. 1, 2.

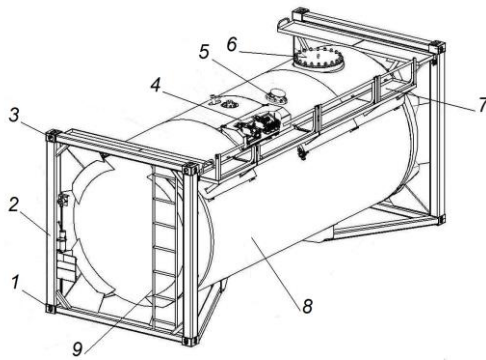


Рис. 1. Контейнер-цистерна для несимметричного диметилгидразина модели 8508:

1, 3 – угловые фитинги; 2 – торцевая рама; 4 – арматурный отсек; 5 – предохранительный клапан; 6 – люк-лаз; 7 – помост; 8 – цистерна; 9 – лестница

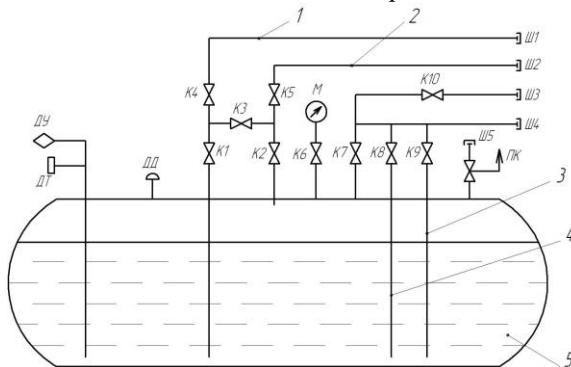


Рис. 2. Пневмогидравлическая схема КЦ:

1 – заправочно-сливной трубопровод; 2 – дренажный трубопровод; 3 – трубопровод отбора усредненной пробы; 4 – трубопровод отбора донной пробы и слива остатков; 5 – резервуар КЦ

Как следует из представленных рисунков, конструкция контейнера-цистерны может обеспечить полную герметизацию газового объема КЦ (двойная-тройная герметизация всех отсеков при транспортировке топлива).

Транспортировка КЦ осуществлялась автомобильным, железнодорожным и морским видами транспорта. Фиксировались параметры газожидкостной среды в КЦ при отправке с завода и после доставки потребителю. Результаты измерений представлены в таблице.

Согласно таблице при доставке топлива имело место насыщение топлива газом наддува КЦ (условие $C_{0,жс} < C_{жс к}$), поэтому, используя результаты практических измерений, можно из выражения (19) получить значение транспортного давления $P_{Г_0,тр}$ в газовом объеме КЦ, которое нужно было бы создать, чтобы газосодержание топлива после доставки было равно $C_{жс к}$. Расчеты показали отклонение расчетных и измеренных значе-

ний давления на ~5% для окислителя и на ~30% для горючего.

Параметры газожидкостной среды в КЦ	Значения параметров в КЦ окислителя		Значения параметров в КЦ горючего	
	при отправке КЦ	после доставки КЦ	при отправке КЦ	после доставки КЦ
Объем КРТ, м ³	15,84	15,17	18,24	17,75
Давление в газовом объеме, кгс/см ²	1,71	1,0	1,87	1,08
Температура КРТ, °С	13,6	5,1	21,5	3,6
Газонасыщение топлива, г/л*	0,376	0,46	0,217	0,24

*Газосодержание топлива при отправке КЦ $C_{0,жс}$ и после доставки $C_{жс к}$ определялось расчетным путем.

Приведенный единичный пример не может служить основанием для оценки точностных характеристик предложенной модели управляемого изменения концентрации газа в топливе при его доставке потребителю, однако позволяет сделать следующие выводы:

- расчетные выражения (18), (19) правильно отражают количественный характер массообменных процессов, протекающих в газожидкостной среде при транспортировке КЦ с топливом;

- достижение высокой точности прогнозируемого значения газонасыщения в топливе при его транспортировке в КЦ на основе результатов измерений, выполненных с помощью технических приборов низкого класса точности, которыми оснащаются серийные контейнеры-цистерны, в принципе невозможно;

- методика управляемого газонасыщения может обеспечить только приближенное значение заданной величины газонасыщения в доставляемом топливе с необходимостью последующей корректировки достигнутого значения газонасыщения;

- актуальность использования методики управляемого газонасыщения топлива в практике доставки топлива потребителю (особенно на космодромы для заправки РН) заключается в возможности значительного сокращения времени газонасыщения, расхода газа и уноса паров топлива;

– необходимо выполнить специальные планируемые испытания, позволяющие оценить методическую погрешность достижения требуемого значения газосодержания топлива в процессе его транспортировки.

Выводы

ГП "КБ "Южное" разработана комплексная технология гелирования топлива, доставляемого в КЦ, в процессе его доставки с завода-изготовителя на космодром. Поскольку топливо уже в основном насыщено гелием при доставке, сокращаются время операции, расход гелия и унос паров топлива и затраты на утилизацию паров топлива на заправочной станции космодрома.

Учитывая практическую значимость представленной модели управляемого изменения концентрации газа в топливе при его доставке потребителю, необходимо продолжить дальнейшие исследования модели, в том числе экспериментальным путем.

Список использованной литературы

1. Вольский А. П. Космодром. – М.: Воениздат, 1977. – 311 с.
2. Степанов А. Н., Воробьев А. М., Гранкин Б. К. Комплексы заправки ракет и космических аппаратов. – СПб:ОМ-ПРЕСС, 2004. – 26 с.
3. Кирьянова А. Н., Матвеева О. П. Определение колебания давления в газовой полости герметичных емкостей транспортно-заправочных контейнеров для ракетных топлив при температурных воздействиях// Наука и инновации. – 2016. – Вып. 7.
4. Бережковский М. И. Хранение и транспортировка химических продуктов. – М.: Химия, 1973. – 272 с.
5. Перепелкин К. Е., Матвеев В. С. Газовые эмульсии. – Л.:Химия, 1979. – 200 с.
6. Исследование процессов дегазирования компонентов топлива в контейнере-цистерне при доставке топлива потребителю. Циклон-4М 21.18425.174 ОТ: Техн. отчет. – Днепропетровск: ГП "КБ "Южное", 2017. – 39 с.

Статья поступила 18.10.2018