



Поздеев Г. Л.,
Фролов В. П.

УНИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ЗАПРАВОЧНОЙ СТАНЦИИ ДЛЯ ЗАПРАВКИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ, РАЗГОННЫХ БЛОКОВ И ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК МАЛОЙ ТЯГИ КОСМИЧЕСКИХ РАКЕТНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Исследована возможность унификации оборудования для заправки разгонного блока, космического аппарата, двигательной установки малой тяги в условиях одной заправочной станции. Исследования выполнены на основе анализа комплекса факторов, определяющих особенности заправки аппаратов различного назначения, участвующих совместно в запуске ракеты-носителя. Сделан вывод о принципиальной возможности использовать собственное технологическое оборудование станции заправки для заправки космических аппаратов без привлечения дополнительной организации-исполнителя.

Ключевые слова: заправочная станция, компонент топлива, космический аппарат, разгонный блок, унификация, топливный бак.

1. Введение

Целью любого пуска ракеты-носителя является выведение на заданную орбиту космических аппаратов (КА), во многих случаях снабженных собственными жидкостными двигательными установками (ДУ). Для заправки топливных систем ДУ КА компонентами ракетных топлив (КРТ) и сжатыми газами в составе космических ракетных комплексов используются заправочные станции (ЗС), которые представляют собой сложные технические объекты, включающие в себя здания, сооружения с техническими системами и технологическое оборудование [1, 2]. Кроме космических аппаратов на заправочных станциях заправляются отдельные элементы ракеты-носителя, работающие, также как КА, в условиях космоса, имеющие собственные ДУ и требующие специальной подготовки КРТ к заправке (дегазирование КРТ, высокая точность дозирования КРТ и др.). Это, прежде всего, разгонные блоки (РБ), входящие в состав космической головной части, третьи ступени ракет-носителей, двигательные установки малой тяги (ДУМТ) [3].

В силу высокой технической насыщенности заправочных станций сложными технологическими системами, обеспечивающими процессы заправки аппаратов, безопасность персонала ЗС и экологическую безопасность, заправочные станции являются одними из самых дорогостоящих объектов космических ракетных комплексов (КРК). Поэтому при проектировании КРК вопросам снижения стоимости ЗС придается первостепенное значение.

В связи с этим актуальными являются исследования, посвященные унификации отдельных элементов оборудования ЗС для заправки летательных аппаратов различного назначения. Данная работа является исследованием одного из направлений унификации

оборудования ЗС в части обеспечения заправки КА, РБ, ДУМТ.

Поскольку унификация оборудования заправки РБ и ДУМТ полностью определяется одинаковыми конструктивными особенностями аппаратов и технологией их заправки КРТ, дальнейшие исследования проводятся относительно особенностей заправки КА и РБ.

Согласно сложившейся мировой практике работы по заправке КА компонентами топлива и сжатыми газами на ЗС осуществляются компанией, привлекаемой Заказчиком пусковых услуг на основе тендера. По условиям тендера компания поставляет на ЗС заправочное оборудование (ЗО), компоненты топлива и сжатые газы, разрабатывает технологию заправки и предоставляет специалистов, осуществляющих заправку КА. Поставщик пусковых услуг, которому принадлежит ЗС, предоставляет следующие стандартные услуги, обеспечивающие работы по заправке КА [4]:

- обеспечивается требуемая чистота воздуха в помещении, в котором размещается КА при заправке (не хуже ISO 8 по международному стандарту ISO 14644-1);
- обеспечивается подача технологической воды в зал заправки КА и в помещения ЗО для смыва проливов КРТ;
- производится отвод промстоков из зала заправки КА и помещений ЗО, сбор, накопление промстоков и выдача их на утилизацию;
- отводятся и утилизируются пары КРТ, генерируемое при проведении заправочных операций;
- производится, накапливается и подается на нейтрализацию съёмных элементов ЗО и КА дистиллированная вода;
- обеспечивается удобство и безопасность работ согласно требований Заказчика.

Следовательно, для унификации оборудования ЗС для заправки КА и РБ должны обязательно выполняться перечисленные базовые требования к заправке КА.

2. Объект исследования и его технологический аудит

Объектом исследования являются заправочные станции, проектируемые для заправки РБ, ДУМТ, КА компонентами ракетных топлив. В состав заправочных станций входят здания, сооружения с техническими системами и технологическое оборудование [5]. Схема станции показана на рис. 1.

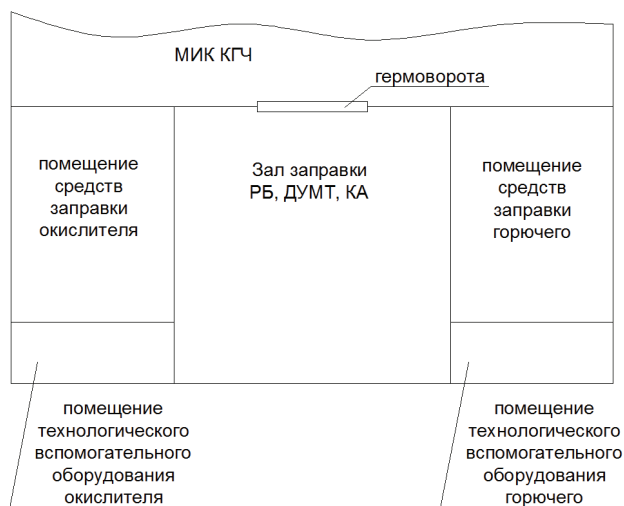


Рис. 1. Схема заправочной станции

Разгонные блоки, космические аппараты проходят соответствующие проверки в помещениях и на оборудовании МИК КГЧ и затем доставляются через герметичные ворота в зал заправки, помещения которого отвечают требованиям чистоты воздуха, предъявляемые для заправки КА (не хуже ISO 8 по международному стандарту ISO 14644-1). В помещениях технологического вспомогательного оборудования размещаются системы сбора и нейтрализации паров и промстоков и система нейтрализации съемных элементов оборудования ЗС, РБ, КА, загрязненных КРТ. В помещениях средств заправки размещаются технологическое оборудование средств заправки РБ, которое является принадлежностью ЗС, и заправочное оборудование КА, которое доставляется на ЗС представителями Заказчика. Понятно, что размещение в одном помещении двух комплектов оборудования представляется проблематичным и потребует либо увеличения габаритов станции, либо более плотного размещения элементов оборудования, затрудняющее их облуживание.

Поэтому исследования данной работы направлены на подтверждение возможности унификации оборудования заправочных станций для заправки РБ и КА.

3. Цель и задачи исследования

Целью исследования являются сбор и систематизация признаков, подтверждающих идентичность требований, предъявляемых для заправки РБ и КА.

Для достижения поставленной цели необходимо:

1. Рассмотреть и проанализировать комплекс факторов, определяющих особенности заправки КРТ КА и разгонных блоков;
2. Выполнить сравнительный анализ технологии заправки аппаратов и элементов технологического оборудования, занятых в заправке КА и РБ.

4. Исследование существующих решений проблемы

В работах [1–3] рассмотрены основные особенности заправочных станций, в том числе технологического оборудования ЗС, дающего представления о заправке космических аппаратов, разгонных блоков двигательных установок малой тяги. В частности, работа [2] посвящена вопросам проектирования универсальных заправочных станций, а в работе [3] представлены особенности космических аппаратов и разгонных блоков, заправляемых на этих станциях. Данные работ [2, 3, 6] позволили сформулировать комплекс факторов, определяющих особенности заправки КА и РБ компонентами ракетных топлив. В работах [4, 7] подробно представлены факторы, характеризующие технологию и заправочное оборудование для КА и РБ. В работе [2] исследуется опыт создания заправочных станций в СССР и России. В частности, описаны существующие заправочные станции космодромов Байконур и Плесецк, которые успешно использовались и используются для заправки большого количества разгонных блоков и космических аппаратов. В работе подробно рассмотрены близкие к тематике статьи вопросы структурно-функционального анализа комплексов, агрегатов и систем заправки. В работах [2, 8–10] существующие и вновь создаваемые перспективные заправочные станции рассматриваются как многофункциональные объекты, оборудование которых призвано обеспечить заправку разнообразных конструкций разгонных блоков и третьих ступеней ракет-носителей. Для заправки космических аппаратов на таких заправочных станциях предоставляется полный комплекс услуг, названных ранее в данной работе. При этом технологическое оборудование ЗС обеспечивает предоставление услуг, как для КА, так и для других заправляемых аппаратов, что подтверждает реализуемый на практике принцип частичной унификации ЗС и необходимость исследований условий полной унификации ЗС. Предполагается, что оборудование для заправки космических аппаратов и технологии их заправки обеспечиваются Заказчиком пуска, т. е. на существующих заправочных станциях обеспечивается принцип частичной унификации.

Особенности станции, решающей только задачи заправки КА, показаны в [11]. В работах [5, 7] представлены особенности станции, иллюстрирующей возможности полной унификации ЗС для заправки КА и РБ.

5. Методы исследований

Для исследования были использованы данные публикаций [1–11], посвященные особенностям заправочных станций и конструкций заправляемых аппаратов. При исследовании были использованы методы анализа определяющих факторов.

6. Результаты исследований

Вводятся понятия частичной и полной унификации заправочной станции.

Частичная унификация подразумевает идентичность состава технологического вспомогательного оборудования, обеспечивающего условия заправки РБ и КА.

Полная унификация подразумевает идентичность, как вспомогательного технологического оборудования, так и средств заправки КА и РБ и технологии заправки аппаратов.

С учетом особенностей работы КА и РБ в условиях невесомости в их конструкциях используются топливные баки шаровой формы с вытеснительными мембранами [6]. В космических аппаратах зарубежных Заказчиков пуска применяются гибкие мембраны. В составе РБ разработки ГП «КБ «Южное» применяются жесткие вытеснительные мембраны, которые перемещаются внутри бака только при вытеснении топлива в ДУ РБ в полете. Особенности конструкции РБ определяют необходимость глубокого дегазирования заправляемых КРТ до начала заправки. В процессе заправки обеспечиваются условия, исключающие наличие газов заправляемой полости бака и в компонентах топлива, заправляемых в бак. Для обеспечения данных условий технологическое оборудование ЗС, проектируемых для заправки РБ, обеспечивают глубокое вакуумирование заправляемой полости бака (подмембранное пространство) и надмембранного пространства (чтобы исключить деформирование мембраны при заправке) [7–10].

Наличие гибких мембран в баках КА позволяет заправлять баки КА без газовых объемов в баках, поэтому отсутствует необходимость дегазирования заправляемых КРТ. Однако и при заправке КА используется глубокое вакуумирование подмембранного пространства (чтобы исключить газовый объем под мембраной) и надмембранного пространства (чтобы обеспечить свободное перемещение мембраны в баке при заправке) [4].

Для заправки КА и РБ в качестве КРТ обычно применяются:

- окислитель – тетраоксид диазота (АТ);
- горючее – несимметричный диметилгидразин (НДМГ), гидразин.

Компоненты ракетного топлива, используемые для РБ, являются постоянными для данной конструкции РН. В основном это пара АТ+НДМГ. Учитывая многообразие конструкций КА и задач, решаемых КА, компоненты ракетных топлив могут быть разными для различных КА. Для малых КА чаще используется монотопливо гидрозин. Для крупных (тяжелых) КА используется двухкомпонентное топливо АТ+НДМГ. Компоненты топлива предполагается поставлять на ЗС для каждого пуска РН, в том числе для каждого типа КА. Применение различных топлив для различных КА не исключает использование для их заправки одного и того же оборудования (отдельно окислители, отдельно горючее) после нейтрализации использованного оборудования. В качестве сжатых газов для КА и РБ используется одна и та же номенклатура сжатых газов: азот, воздух, гелий.

Указанные газы предусматриваются на заправочной станции для технологических нужд и заправки РБ и могут предоставляться для заправки КА.

Перечень стандартных операций технологии заправки РБ и КА представлены в табл. 1.

Таблица 1

Перечень стандартных операций технологии заправки РБ и КА

Наименование операций заправки	Применение операций	
	Заправка РБ	Заправка КА
1. Подготовка (дегазирование) КРТ	+	-
2. Сборка схемы заправки	+	+
3. Контроль герметичности стыков	+	+
4. Вакуумирование надмембранного и подмембранного пространств в баке	+	+
5. Заполнение и проливка КРТ заправочных магистралей	+	+
6. Установка дозы заправляемого КРТ на весовом дозаторе	+	+
7. Заправка КРТ в топливный бак выдавливанием	+	+
8. Опорожнение и продувка заправочных коммуникаций	+	+
9. Вакуумирование и отстыковка от заправочного штуцера аппарата заправочной магистрали	+	+
10. Зарядка гелием газовых баллонов аппарата	+	-
11. Наддув газовой полости аппарата	-	+
12. Отстыковка от дренажного (газового) штуцера аппарата дренажных магистралей	+	+

Для заправки РБ размещается в зале заправки ЗС с чистой воздухом не хуже ISO 8 по международному стандарту ISO 14644-1.

Анализ табл. 1 показывает, что за исключением особенностей подготовки РБ (операция 1) все остальные операции по заправки РБ и КА совпадают.

Для заправки РБ на заправочной станции предусмотрено следующее технологическое оборудование [2, 5]:

- средства заправки РБ (ДУМТ);
- система сбора и нейтрализации паров и промстоков (ССНПП);
- система нейтрализации съемных элементов оборудования (СНСО), загрязненных КРТ.

На рис. 2 представлена блок-схема заправки РБ ракеты-носителя «Маяк» разработки ГП «КБ «Южное» [5]. Приведенные особенности средств заправки РБ характерны для заправки других РБ и ДУМТ.

На существующих станциях заправки средства заправки поставляются Заказчиками пуска.

На рис. 3 представлена блок-схема средств заправки КА согласно [11].

Перечень оборудования, приведенного на рис. 2, 3, их назначение и принадлежность приведены в табл. 2.

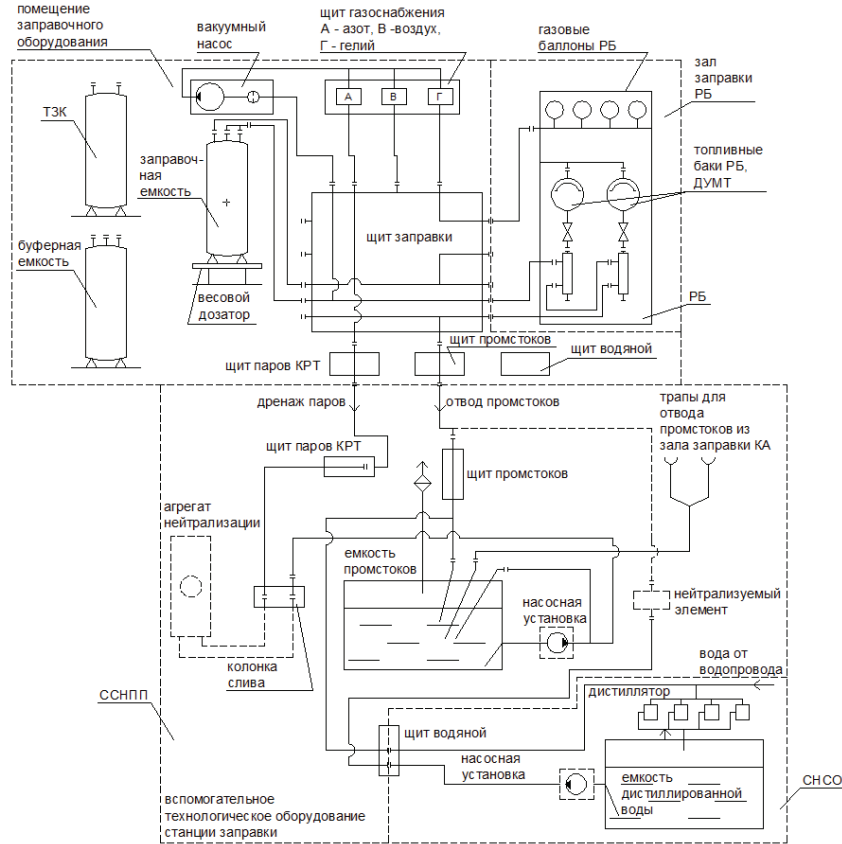


Рис. 2. Блок-схема заправки РБ, ДУМТ

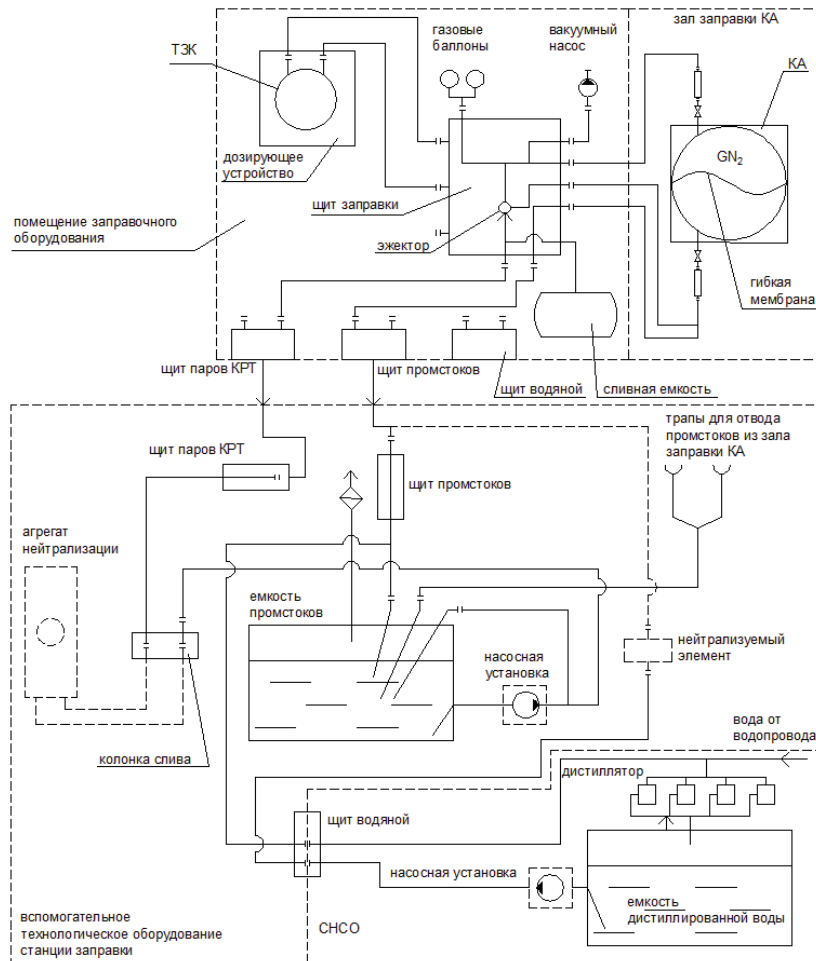


Рис. 3. Блок-схема средств заправки КА

Таблиця 2

Перечень оборудования, приведенного на рис. 2, 3, их назначение и принадлежность

Перечень оборудования ЗС	Назначение оборудования	Наличие на ЗС и принадлежность	
		ЗС РБ	ЗС КА
1. Транспортно-заправочный контейнер (ТЗК)	Доставка, хранение и выдача КРТ	+*	+**
2. Щит заправки	Управление потоками жидкости и газов согласно заданному алгоритму работ	+*	+**
3. Весовой дозатор	Дозирование заправляемого КРТ	+*	+**
4. Вакуумный насос	Вакуумирование полости бака	+*	+**
5. Щиты газоснабжения	Выдача газов на технологические нужды ЗС и наддув баков после заправки или зарядке газовых баллонов	+*	+**
6. Наполнительные и дренажные соединения (могут входить в состав комплектующих элементов аппарата)	Управление клапанами заправляемого аппарата	+*	+**
7. Гибкие трубопроводы (металлурков)	Сообщение между собой элементов средств заправки и связи со штуцерами заправляемого аппарата	+*	+**
8. Система сбора и нейтрализации паров и промстоков (ССНПП)	Прием промстоков, образовавшихся от смыва проливов КРТ, прием КРТ из заправочных магистралей средств заправки, создание вакуума в заправочных магистралах, нейтрализация паров КРТ	+*	+
9. Система нейтрализации съемных элементов оборудования (СНСО)	Выработка дистиллированной воды нейтрализации, подача воды на нейтрализацию	+*	+
10. Заправочная емкость	Дегазирование КРТ и выдача КРТ на заправку	+*	–
11. Буферная емкость	Дегазирование КРТ	+*	–

Примечание: * – оборудование, входящее в состав заправочной станции; ** – оборудование, поставляемое Заказчиком пуска

Анализ заправочных станций РБ и КА показывает: – для предоставления стандартных базовых услуг при заправке КА и РБ применяется одинаковое вспомогательное технологическое оборудование заправочных станций (ССНПП, СНСО), позволяющее унифицировать заправочные станции РБ для заправки КА по принципу частичной унификации; – средства заправки РБ КРТ на станции заправки в комплексах разработки ГП «КБ «Южное» имеют оборудование, аналогичное оборудованию заправки КА, поставляемое Заказчиком, что позволяет унифицировать ЗС по принципу полной унификации. Таким образом, возникает реальная возможность полной унификации заправочных станций РБ с использованием заправочных средств ЗС для заправки КА.

7. SWOT-анализ результатов исследований

Положительным аспектом полной унификации ЗС для заправки КА и РБ является экономический фактор, определяемый возможностью участвовать в тендере Заказчика с предоставлением более дешевых услуг по заправке КА.

Существующим отрицательным влиянием полной унификации заправочной станции с участием Поставщика пусковых услуг в тендере на заправку КА является необходимость изготовления средств заправки РБ в виде комплекта отдельных элементов, которые собираются в схему заправки только для проведения заправки аппаратов. Это необходимо по условиям тендера для разделения оборудования других участников тендера.

В дальнейшем результаты исследований могут быть использованы для разработки унифицированной для различных КА технологии нейтрализации после сли-

ва КРТ (при необходимости) с использованием штатного оборудования заправки РБ, избыточного по отношению к заправке КА (заправочная и буферная емкости, расширенные возможности щита заправки).

8. Выводы

1. Рассмотрен и проанализирован комплекс факторов, определяющих особенности заправки КРТ КА и разгонных блоков. К таким факторам относятся:

- особенности конструкции топливных систем КА и РБ;
- заправляемые компоненты ракетного топлива;
- технология заправки аппаратов;
- технологическое заправочное оборудование.

2. Выполнены исследования, которые подтвердили возможность унифицировать оборудование ЗС для заправки КА, РБ, ДУМТ, что дает возможность расширить услуги ЗС и предложить Заказчику пуска более дешевый вариант заправки КА без привлечения дополнительной организации-исполнителя. Реализация предлагаемой полной унификации ЗС позволит «замкнуть» в рамках одного проекта весь комплекс работ по подготовке к заправке КА, РБ, ДУМТ, исключив сторонних исполнителей работ по заправке КА.

Литература

1. Вольский, А. П. Космодром [Текст] / под общ. ред. А. П. Вольского. – М.: Военное издательство МО СССР, 1977. – 311 с.
2. Степанов, М. И. Методологические подходы и принципы обоснования конструктивных и методологических требований при проектировании комплексов заправки ракет и космических аппаратов [Текст] / М. И. Степанов // Космическая техника. Ракетное вооружение. – 2004. – Вып. 1. – С. 67–71.

3. Поздеев, Г. Л. Исследование существующих возможностей и путей совершенствования заправочно-нейтрализационных станций космодромов «Байконур» и «Плесецк» для обеспечения заправки компонентами топлива летательных аппаратов в интересах Украины. Тема «Байконур» [Текст]: научно-технический отчет / Г. Л. Поздеев. – Днепропетровск: ГП «КБ «Южное», 1994. – Кн. 1, Ч. 2. – 144 с.
4. Денисов, О. Е. Комплект оборудования для заправочной станции [Текст]: инженерная записка. 46-400-07 / О. Е. Денисов. – М.: ФГУП КБТХМ, 2007. – 72 с.
5. Белых, В. С. Экспериментальные исследования процессов непрерывной подготовки компонентов топлива на потоке [Текст] / В. С. Белых // Ракетно-космическая техника. Серия III. – 1988. – Вып. 3. – 31 с.
6. Козлов, А. А. Системы питания и управления жидкостных ракетных двигательных установок [Текст] / А. А. Козлов. – М.: Машиностроение, 1988. – 352 с.
7. Дегтярев, А. В. Заправочно-нейтрализационная станция. Основные характеристики [Текст]: документ MSA YZH ANL054 02 / А. В. Дегтярев. – Днепропетровск: ГП «КБ «Южное», 2015. – 130 с.
8. Поздеев, Г. Л. Описание процедуры заправки КА. Программа Днепр [Текст]: документ DNR YZH PRC 003 00 / Г. Л. Поздеев, В. П. Фролов. – Днепропетровск: ГП «КБ «Южное», 2004. – 51 с.
9. Поздеев, Г. Л. Организация заправки АКБ «Кречет» компонентами топлива сжатым гелием на объекте «Ясное» [Текст]: технический отчет. Днепр-АКБ «Кречет». 21.15337.155 ОТ / Г. Л. Поздеев, В. П. Фролов. – Днепропетровск: ГП «КБ «Южное», 2006. – 74 с.
10. Белых, В. С. Разработка универсального способа и устройства дискретно-непрерывного весового дозирования для технологических систем заправки двигательных установок космических аппаратов [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / В. С. Белых. – КБ Общесоюзного Машиностроения, 1988. – 200 с.
11. Егоров, Ю. В. Закономерности массообмена и расчета параметров при дегазировании компонентов топлива на потоке методом барботирования инертным газом [Текст] / Ю. В. Егоров // Ракетно-космическая техника. Серия III. – 1985. – Вып. 3. – 46 с.

УНІФІКАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ЗАПРАВНОЇ СТАНЦІЇ ДЛЯ ЗАПРАВКИ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ, РОЗГІННИХ БЛОКІВ І ДВИГУННИХ УСТАНОВОК МАЛОЇ ТЯГИ КОСМІЧНИХ РАКЕТНИХ КОМПЛЕКСІВ

Досліджено можливість уніфікації обладнання для заправки розгінного блоку, космічного апарату, рухової установки малої тяги в умовах однієї заправної станції. Дослідження виконані на основі аналізу комплексу чинників, що визначають особливості заправки апаратів різного призначення, що беруть участь спільно в запуску ракети-носія. Зроблено висновок про принципову можливість використовувати власне технологічне обладнання станції заправки для заправки космічних апаратів без залучення додаткової організації-виконавця.

Ключові слова: заправна станція, компонент палива, космічний апарат, розгінний блок, уніфікація, паливний бак.

Поздеев Геннадий Леонидович, кандидат технических наук, начальник группы, Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля», Днепр, Украина, e-mail: pozdejevgl@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3470-5960>

Фролов Виктор Петрович, кандидат технических наук, заместитель начальника комплекса по разработке и созданию наземных ракетных и космических ракетных комплексов, Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля», Днепр, Украина, e-mail: vpfrolov@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5786-8765>

УДК 681.32:519.673

DOI: 10.15587/2312-8372.2017.91794

Грицюк Е. М.

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА ТЕМПЕРАТУРНЫХ И ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ТЕЛАХ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

Рассмотрены вопросы создания специализированных интеллектуальных систем, используемых при проектировании тел сложной формы. Предметной областью созданной системы является моделирование и анализ температурных и термомеханических полей в телах сложной геометрической формы. Для решения краевых задач теплопроводности и термоупругости используется аппарат теории R-функций. Рассмотрены некоторые характеристики базы знаний системы, а также метод представления знаний.

Ключевые слова: проектирование, моделирование, краевые задачи, интеллектуальная система.

1. Введение

При проектировании конструкций, работающих в условиях высокого теплового нагружения, возникают задачи моделирования температурных и термомеханических полей. Компьютерное моделирование процессов теплопроводности и термоупругости является важной задачей, решаемой при проектировании изделий

в машиностроительной, энергетической, атомной промышленности, в технологических процессах химической, строительной, текстильной и других отраслях промышленности. При решении этих задач возникает необходимость в проведении расчетов температурных и термомеханических полей с учетом самых различных факторов физического и геометрического характера. Значительного повышения эффективности можно