

## СИСТЕМА ЗАПРАВКИ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ С ТРЕХКОМПОНЕНТНЫМИ ЖИДКОСТНЫМИ РАКЕТНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

*У.Т.Касымов<sup>1)</sup>, С.А.Толбай<sup>2)</sup>, М.Б.Берик<sup>3)</sup>*

1) К.т.н., профессор кафедры «Космическая техника и технологии» Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан, [kasimov.umirzak@mail.ru](mailto:kasimov.umirzak@mail.ru)

2) магистрант кафедры «Космическая техника и технологии» Евразийского национального университета имени Л. Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан, [tolebay\\_sa@mail.ru](mailto:tolebay_sa@mail.ru)

3) магистрант «Космическая техника и технологии» Евразийского национального университета имени Л. Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан, [maral\\_97@mail.ru](mailto:maral_97@mail.ru)

**Аннотация:** В данной статье был рассмотрен процесс заправки РН с трехкомпонентным ЖРД, с возможностью использования вместо РГ-1(нафтила) – СПГ, либо их сочетаний. Рассмотрены основные команды и операции согласно разработанной циклограмме заправки для разрабатываемой СЗ. Выполнение всех операций занимает 5 часов. Сделан вывод, что наибольшую сложность представляет работа СЗ жидкого водорода.

**Ключевые слова:** система заправки.

## ROCKET FUELING SYSTEM WITH THREE-COMPONENT LIQUID ROCKET ENGINES

*U.T.Kasymov<sup>1)</sup>, S.A. Tolebay<sup>2)</sup>, M.B.Berik<sup>3)</sup>*

1) candidate of technical sciences, professor of the Department of Space Engineering and Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan, [kasimov.umirzak@mail.ru](mailto:kasimov.umirzak@mail.ru)

2) master student of the department of Space Engineering and Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan, [tolebay\\_sa@mail.ru](mailto:tolebay_sa@mail.ru)

3) master student of the department of Space Engineering and Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan, [maral\\_97@mail.ru](mailto:maral_97@mail.ru)

**Abstract:** In this article, the process of refueling an LV with a three-component LRE was considered, with the possibility of using LNG instead of RG – 1(naphthyl), or their combinations. The main commands and operations are considered according to the developed refueling cyclogram for the developed NW. All operations take 5 hours to complete. It is concluded that the greatest complexity is represented by the operation of liquid hydrogen SCS.

**Key words:** filling system.

Системы заправки в классическом виде представляют собой сложный комплекс, обеспечивающий подачу горючего и окислителя в топливные баки ракеты-носителя. Наибольшее распространение получили системы заправки ракет-носителей с двухкомпонентными жидкостными ракетными двигателями.

Система заправки ракеты-носителя с трехкомпонентными жидкостными ракетными двигателями, обладает возможностью заправки ракеты-носителя с двух- и трехкомпонентными жидкостными ракетными двигателями, что повышает целесообразность ее использования. При этом в работе проработана перспектива замены нафтила (керосина) на сжиженный природный газ для совместного применения с жидким водородом.

Использование трехкомпонентных ЖРД (к примеру РД-701, при этом охлаждающим компонентом является водород) позволяет комбинировать отработанные технологии с возможностью использования перспективных компонентов ракетного топлива, в особенности с сжиженным природным газом.

Разрабатываемая СЗ состоит из:

- СЗ нафтилом (РГ-1);
- СЗ жидким кислородом;
- СЗ жидким водородом;
- СЗ СПГ.

Наиболее сложным является проведение заправки жидким водородом.

СГС по команде «Выдача СГ СК», проверяет герметичность АС наддувом в течении 10 минут, до сигнала «АС состыкован». Команда означает, что бортовые заправочные коммуникации и наземные заправочные коммуникации состыкованы, опрессованы и готовы к замене атмосферы.

Далее, в течении 20 минут, выполняется команда «Замена воздуха на азот», служащая для исключения взрывоопасных смесей воздуха с водородом.

Следующей командой является «Захолаживание азотом». Происходит пролив магистралей жидким азотом, в целях экономии жидкого водорода. Захолаживание выполняется до  $T=77^{\circ}\text{K}$ .

Затем следует вытеснение жидкого азота газообразным водородом по команде «Замена азота на водород».

Далее следует «Захолаживание водородом», по которой выполняется последующее захолаживание предварительно охлажденных магистралей до  $T=22^{\circ}\text{K}$ .

Только после выполнения всех предыдущих команд, на которые отводится суммарно 2 часа 20 минут, следует команда «Заправка малым расходом БВ1÷БВ6», по которой происходит заполнение малым расходом (в целях проверки правильности выполнения заправки), в течении 2,5 минут, баков 1÷6 жидким водородом.

Если не поступает команд на отмену, следует команда «Заправка большим расходом БВ1÷БВ6». Заправка большим расходом является основным видом заправки, т.к. позволяет уменьшить время на саму операцию до 2 часов 27,5 минут.

По достижению уровня заполнения баков «Внимание БВ1÷БВ6», выдаваемых ПГС РН, выполняется команда «Заправка малым расходом БВ1÷БВ6», переходящая в команду «Подпитка БВ1÷БВ6», т.к. жидкий водород криогенный КРТ, происходит постоянное испарение и до момента отстыковки АС, количество КРТ в баках может уменьшится.

После команды «Стоп БВ1÷БВ6», ПГС РН выдает команду «Баки БВ1÷БВ6 в исходном», суть которой заключается в том, что вся арматура баков водорода РН запирается. В циклограмме заправочных операций, время на выполнение команд СЗ жидкого водорода, самое большое, поэтому после команды «Баки БВ1÷БВ6 в исходном», поступает команда «Заправка окончена».

СГС выдает «СГ на продувку ЗСК», в течении 2 минут выполняется команда «Продувка ЗСК В». Продувка для магистралей СЗ жидкого водорода осуществляется гелием, т.к. данный газ имеет температуру кипения ниже температуры кипения водорода ( $T_{\text{кип}}=4^{\circ}\text{K}$  и  $T_{\text{кип}}=20^{\circ}\text{K}$  соответственно).

После продувки, следует команда «Расстыковка АС» и выполняется обдув АС, в целях снижения пожароопасности, при включении ДУ РН.

Также запускается «Охлаждение ПУ», осуществляется подача воды.

Окончательной командой является «Контакт подъема», выдаваемой в момент подъема РН с ПУ.

Рассмотрим систему заправки жидким кислородом.

СГС по команде «Выдача СГ СК», проверяет герметичность АС наддувом в течении 10 минут, до сигнала «АС состыкован». Команда

означает, что бортовые заправочные коммуникации и наземные заправочные коммуникации состыкованы, опрессованы и готовы к замене атмосферы.

Далее следует «Захолаживание кислородом», по которой выполняется захолаживание магистралей до  $T=93^{\circ}\text{K}$ .

Только после выполнения всех предыдущих команд, на которые отводится суммарно 1 час 10 минут, следует команда «Заправка малым расходом БО1÷БО6», по которой происходит заполнение малым расходом (в целях проверки правильности выполнения заправки), в течении 2,5 минут, баков 1÷6 жидким кислородом.

Также по заполнению уровня до погружения ШБ поступает команда «ШБ погружены». После которой начинается заполнение ШБ гелием до поступления команды «ШБ заполнены».

Если не поступает команд на отмену, следует команда «Заправка большим расходом БО1÷БО6». Заправка большим расходом является основным видом заправки, т.к. позволяет уменьшить время на саму операцию до 2 часов 27,5 минут.

По достижению уровня заполнения баков «Внимание БО1÷БО6», выдаваемых ПГС РН, выполняется команда «Заправка малым расходом БО1÷БО6», переходящая в команду «Подпитка БО1÷БО6», т.к. жидкий кислород криогенный КРТ, происходит постоянное испарение и до момента отстыковки АС, количество КРТ в баках может уменьшится.

В циклограмме заправочных операций, время на выполнение команд СЗ жидкого водорода, самое большое, поэтому команда «Подпитка БО1÷БО6» выполняется до окончания заправки БВ1÷БВ6.

Затем выполняется команда «Стоп БО1÷БО6», ПГС РН выдает команду «Баки БО1÷БО6 в исходном», суть которой заключается в том, что вся арматура баков кислорода РН запирается, заправка кислорода окончена (команда «Заправка окончена»).

СГС выдает «СГ на продувку ЗСК», в течении 2 минут выполняется команда «Продувка ЗСК О». Продувка для магистралей СЗ жидкого кислорода осуществляется азотом.

После продувки, следует команда «Расстыковка АС» и выполняется обдув АС, в целях снижения пожароопасности, при включении ДУ РН.

Также запускается «Охлаждение ПУ», осуществляется подача воды.

Окончательной командой является «Контакт подъема», выдаваемой в момент подъема РН с ПУ.

Схожими особенностями СЗ СПГ является необходимость исключения взрывоопасных смесей СПГ с воздухом, в связи с этим некоторые операции схожи с СЗ жидкого водорода.

СГС по команде «Выдача СГ СК», проверяет герметичность АС наддувом в течении 10 минут, до сигнала «АС состыкован». Команда означает, что бортовые заправочные коммуникации и наземные заправочные коммуникации состыкованы, опрессованы и готовы к замене атмосферы.

Далее, в течении 20 минут, выполняется команда «Замена воздуха на азот», служащая для исключения взрывоопасных смесей воздуха с водородом.

Следующей командой является «Захолаживание СПГ». Происходит пролив магистралей СПГ, захолаживание выполняется до  $T=114^{\circ}\text{K}$ .

Только после выполнения всех предыдущих команд, на которые отводится суммарно 1 час, следует команда «Заправка малым расходом БСПГ1÷БСПГ6», по которой происходит заполнение малым расходом (в целях проверки правильности выполнения заправки), в течении 2,5 минут, баков 1÷6 СПГ.

Если не поступает команд на отмену, следует команда «Заправка большим расходом БСПГ1÷БСПГ6». Заправка большим расходом является основным видом заправки, т.к. позволяет уменьшить время на саму операцию до 1 часов 57,5 минут.

По достижению уровня заполнения баков «Внимание БСПГ1÷БСПГ6», выдаваемых ПГС РН, выполняется команда «Заправка малым расходом БСПГ1÷БСПГ6», переходящая в команду «Подпитка БСПГ1÷БСПГ6», т.к. СПГ криогенный КРТ, происходит постоянное испарение и до момента отстыковки АС, количество КРТ в баках может уменьшиться.

В циклограмме заправочных операций, время на выполнение команд СЗ жидкого водорода, самое большое, поэтому команда «Подпитка БСПГ1÷БСПГ6» выполняется до окончания заправки БВ1÷БВ6.

Затем выполняется команда «Стоп БСПГ1÷БСПГ6», ПГС РН выдает команду «Баки БСПГ1÷БСПГ6 в исходном», суть которой заключается в том, что вся арматура баков кислорода РН запирается, заправка СПГ окончена (команда «Заправка окончена»).

СГС выдает «СГ на продувку ЗСК», в течении 2 минут выполняется команда «Продувка ЗСК В». Продувка для магистралей СЗ СПГ осуществляется азотом.

После продувки, следует команда «Расстыковка АС» и выполняется обдув АС, в целях снижения пожароопасности, при включении ДУ РН.

Также запускается «Охлаждение ПУ», осуществляется подача воды.

Окончательной командой является «Контакт подъема», выдаваемой в момент подъема РН с ПУ.

Если рассматривать систему заправки нафтилом, то нужно отметить что нафтил представляет собой углеводородное горючее, является высококипящим, что в некоторой степени облегчает проведение операций с ним.

СГС по команде «Выдача СГ СК», проверяет герметичность АС наддувом в течении 10 минут, до сигнала «АС состыкован». Команда означает, что бортовые заправочные коммуникации и наземные заправочные коммуникации состыкованы, опрессованы и готовы к замене атмосферы.

Следующей командой является «Захолаживание нафтилом». Происходит пролив магистралей нафтилом, захолаживание выполняется до  $T=254^{\circ}\text{K}$ . Затем следует операция «Рассыщение», необходимая для равномерного распределения газа, содержащегося в нафтиле.

Только после выполнения всех предыдущих команд, на которые отводится суммарно 48 минут, следует команда «Заправка малым расходом БГ1÷БГ6», по которой происходит заполнение малым расходом (в целях проверки правильности выполнения заправки), в течении 2,5 минут, баков 1÷6 Г.

Если не поступает команд на отмену, следует команда «Заправка большим расходом БГ1÷БГ6». Заправка большим расходом является основным видом заправки, т.к. позволяет уменьшить время на саму операцию до 1 часов 57,5 минут.

По достижению уровня заполнения баков «Внимание БГ1÷БГ6», выдаваемых ПГС РН, выполняется команда «Заправка малым расходом БГ1÷БГ6», переходящая в команду «Стоп БГ1÷БГ6», «Баки БГ1÷БГ6 в исходном».

В циклограмме заправочных операций, время на выполнение команд СЗ жидкого водорода, самое большое, поэтому БГ1÷БГ6 запираются и находятся в ожидании команды СЗ жидким водородом «Заправка окончена».

СГС выдает «СГ на продувку ЗСК», в течении 2 минут выполняется команда «Продувка ЗСК Г».

После продувки, следует команда «Расстыковка АС» и выполняется обдув АС, в целях снижения пожароопасности, при включении ДУ РН.

Также запускается «Охлаждение ПУ», осуществляется подача воды.

Окончательной командой является «Контакт подъема», выдаваемой в момент подъема РН с ПУ.

Разрабатываемая СЗ, основывалась на базе существующего СК РН «Зенит», на котором имеются СЗ нафтила и СЗ жидкого кислорода, но в связи с тем, что циклограмма заправочных операций составляет суммарно 5 часов, в существующие СЗ вводятся новые насосы, тихоходные в

сравнении с имеющимися на СК, с целью более рационального использования финансовых и энергетических ресурсов.

Для жидкого водорода и СПГ выбрана СЗ выдавливанием, в связи с необходимостью обеспечения более высокой надежности и безопасности (отсутствие основного источника пожаровзрывоопасности – насоса), а также в связи с таким недостатком насосной системы, как нагрев КРТ.