

УДК 621.454.3.03-213

**Малый Л. П.** начальник отдела ГП «КБ «Южное» им. М. К. Янгеля, Днепр, Украина,  
e-mail: info@yuzhnoye.com;

**Мотылев С. А.** начальник сектора ГП «КБ «Южное» им. М. К. Янгеля, Днепр, Украина,  
e-mail: motylevsergey@gmail.com

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ДНИЩ КОРПУСОВ РДТТ ИЗ УГЛЕПЛАСТИКА ВО ВРЕМЯ ИСПЫТАНИЙ И РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ

*В статье приведены исследования поведения днищ корпусов РДТТ для определения минимально необходимого места в переходном и хвостовом отсеках ракеты-носителя и выбор способа крепления и компактного размещения аппаратуры в отсеках ракеты-носителя. Для выполнения поставленных требований в статье рассмотрены следующие разделы: описание конструкции корпуса РДТТ, изготовление корпуса из углепластика, статические испытания корпуса РДТТ, огневые стендовые испытания двигателя, состояние корпуса после огневых стендовых испытаний. Рассмотрены основные проектные решения и выбор формы и профиля днища, а также элементы конструкции, входящие в состав днища. Проведены испытания, с целью подтверждения статической прочности и оценки качества изготовления корпуса. Во время испытаний при помощи установленной видеокамеры фиксировалось изменение контура заднего днища, на каждом этапе нагружения внутренним давлением. Впервые визуально зафиксировано работу заднего днища в районе клина. Проведен анализ перемещения пластика днищ по перу фланца при нагружении корпуса внутренним давлением. При нагружении корпуса внутренним давлением на поверхность днища, контактирующую с пером закладного фланца, воздействуют нагрузки, которые в 3 – 4 раза больше, чем на остальную поверхность днища. Это приводит к появлению значительных изгибающих моментов на пере фланца и так называемому эффекту «сползания днища» по перу фланца. Проведена оценка изменения формы днища от эллиптической к конической. Выполнен замер раскрытия торца днища относительно торца фланца. Разработана альтернативная схема установки датчиков для замера раскрытия. Создана качественная картина измерения отхода пластика от торца фланца, и изменения контура заднего днища при действии нагружения внутренним давлением. Результаты исследования поведения днищ во время работы двигателя и при статических испытаниях позволяют оценить минимально необходимое место в переходном и хвостовом отсеках ракеты-носителя, что, в свою очередь, позволяет экономить материалы (удешевить конструкцию) и выбрать способы крепления и компактно разместить аппаратуру в отсеках.*

**Ключевые слова:** корпус, РДТТ, днище, испытание, ОСИ, видеофиксация, проектирование, изготовление.

### Введение

В ракетно-космической технике широко применяются двигатели на твердом ракетном топливе, в состав двигателя входит корпус. Корпус предназначен для размещения заряда твердого ракетного топлива и служит камерой сгорания двигателя.

Проведены исследования поведения днищ корпусов РДТТ для определения минимально-необходимого места в переходном и хвостовом отсеках ракеты-носителя и выбор способа крепления и компактного размещения аппаратуры в отсеках ракеты-носителя.

### 1. Описание конструкции корпуса

Корпус представляет собой цельномотанную конструкцию типа «кокон» и состоит из силовой оболочки со шпангоутами, внутреннего

теплозащитного покрытия и фланцев переднего и заднего.

Силовая оболочка корпуса (СОК) воспринимает внутреннее давление от продуктов сгорания топлива и внешние нагрузки.

В качестве материала для изготовления СОК в настоящее время применяются композиционные материалы на основе высокопрочных стеклянных, арамидных, угольных волокон с различного вида связующими.

Шпангоуты изготавливаются методом намотки, в процессе изготовления корпуса.

Соединение корпуса со смежными отсеками осуществляется с помощью штифтового соединения.

Защиту силовой оболочки корпуса и фланцев от теплового воздействия продуктов сгорания твердого топлива выполняет внутреннее теплозащитное покрытие.

Для крепления к корпусу крышки с системой запуска двигателя и соплового блока предназначены фланцы передний и задний, устанавливаемые в днища теплозащитного покрытия переднего и заднего в процессе их изготовления.

К фланцу переднему крепится крышка с системой запуска двигателя, а к фланцу заднему – сопловой блок.

Фланцы изготавливаются из титанового сплава.

В состав корпуса входят следующие основные конструктивные элементы:

- силовая оболочка;
- стыковочные шпангоуты с узлами стыка;
- внутренняя теплозащита;
- фланцы;
- средства защиты от статического электричества.

Конструкция корпуса должна:

- отвечать современным требованиям производственных процессов в условиях серийного производства;
- обеспечивать получение требуемых геометрических размеров и технических характеристик;
- обеспечивать технологичность сборки.

Конструкция корпуса представлена на рис. 1, 2.



Рис. 1. Конструкция корпуса из углепластика



Рис. 2. Корпус из углепластика

## 2. Испытания

Проведены статические испытания корпусов из углепластика [1].

При проведении всех видов испытаний проводится контроль каждого корпуса.

На каждом корпусе должны быть проведены испытания:

- заднего и переднего шпангоутов осевыми растягивающими силами;
- заднего и переднего шпангоутов осевыми сжимающими силами;
- силовой оболочки корпуса внутренним избыточным гидравлическим давлением.

Статические испытания корпуса представлены на рис. 3.

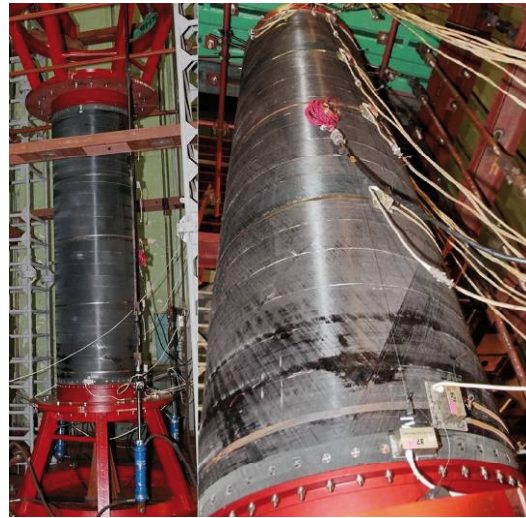


Рис. 3. Корпус РДТТ во время испытаний

Проведены огневые стендовые испытания (ОСИ) двигателя [2].

Двигатель в стапеле на стенде на рис. 4.



Рис. 4. Двигатель в стапеле

Двигатель во время работы на стенде на рис. 5.



Рис. 5. Работа двигателя

Корпус после ОСИ со стороны заднего днища на рис. 6

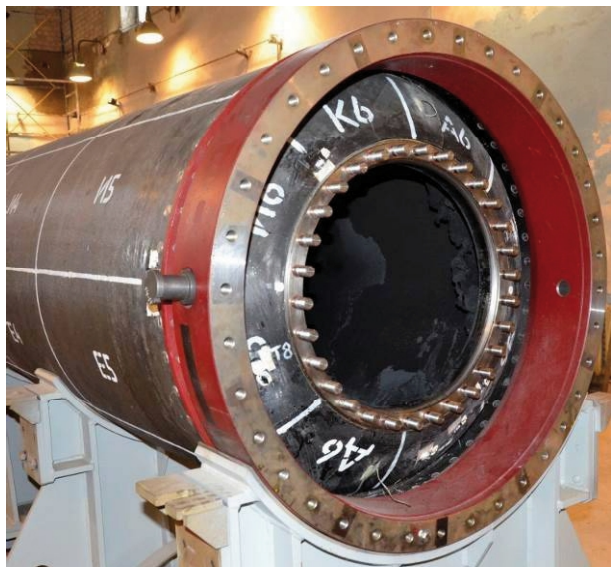


Рис. 6. Корпус двигателя после ОСИ

### 3. Исследование днищ

В настоящее время технологии шагнули далеко вперед, новые процессоры и мощные компьютеры позволяют считать информацию в большом объеме за короткое время. 3D съёмка позволяет снять и определить объект в пространстве и в масштабе.

Метод фотографирования позволяет более точно определить перемещение объектов корпуса.

Данный метод обеспечивает определение по фотографии площади, ширины, длины, а также расстояния между объектами. Данную процедуру и последующее вычисление размеров можно проводить в любом графическом редакторе, который позволяет выделять области, увеличивать фото, подсчитывать количество пикселей на единицу площади, (Photoshop, ImageJ и др.). Для каждого замера определялась площадь в пикселях по эталонам, затем по известному масштабу рассчитывалась разница начального положения от имеющегося на каждом этапе нагружения корпуса. Но такой метод не позволяет оценить движение и поведение днища в режиме реального времени.

Видеосъемка позволяет автоматически определить площадь и габаритные размеры в режиме реального времени. Такая методика позволяет сэкономить время и финансовые затраты на испытания, а погрешность таких измерений не уступает прямым замерам. Такие технологии широко применяются в кино, при использовании спецэффектов, а также в быстро развивающихся технологиях виртуальной реальности VR.

При выборе основных проектных решений прорабатывались следующие элементы конструкции корпуса:

- профиля днищ;
- замки манжет;
- форма и размеры ВТЗП;
- форма и размеры фланцев.

В корпусах применён изотенсоидный профиль днища с параметром разгрузки в полюсах  $\beta = r_0$  для получения заданного объема при ограниченной длине корпуса. Такие профили днищ прошли успешную отработку в изделиях ГП «КБ «Южное».

Замок манжеты предназначен для соединения манжеты с основным ТЗП.

Форма и размеры ВТЗП определялись исходя из геометрии профиля днищ и формой спроектированного заряда. Внутренняя поверхность силовой оболочки корпуса (СОК) полностью покрыта ВТЗП, толщина которого определяется из условия обеспечения температуры силовой оболочки не более плюс 80 °С во время работы двигательной установки.

Для раскрепления торцов заряда на переднем и заднем днищах выполнены манжеты.

При статических и при ОСИ датчики перемещения устанавливаются согласно схеме в одно и то же место, для получения синхронных показаний. Схема установки датчиков представлена на рис. 7.

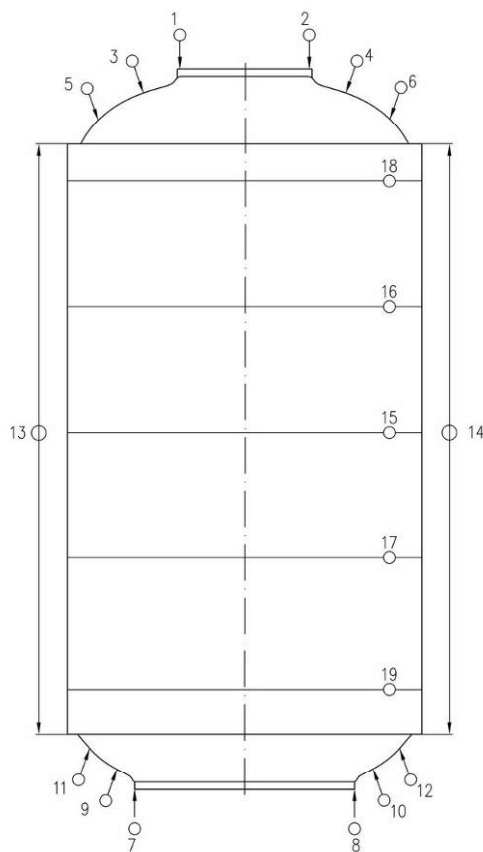


Рис. 7. Схема установки датчиков

Испытания корпуса проводятся с целью подтверждения статической прочности и оценки качества изготовления корпуса [1].

В процессе нагружения корпуса внутренним давлением, производилась видеофиксация изменения контура заднего днища при помощи установленной видеокамеры. Из полученных видеоматериалов получаем качественную картину изменения контура днища, которая показывает действительное изменение формы днища от эллиптической к конической. Качественная картина заднего днища представлена в виде прорисованного контура изменения профиля на каждом этапе нагружения внутренним давлением рис. 8.

Для более наглядного представления изменения контура рисунок 8 был промасштабирован в реальный масштаб с задним днищем. По условным точкам, поставленным на разных диаметрах днища, получаем максимальный «сдвиг» контура по нормали.

Также при испытаниях внутренним давлением корпуса производилась видеофиксация перемещения заднего днища в районе клина. Данные видеоматериалы позволили впервые визуально увидеть работу заднего днища в районе клина рис. 9. Промасштабировав фото в реальный масштаб, получаем отход заднего днища от клина.

Условные точки изменения контура по нормали

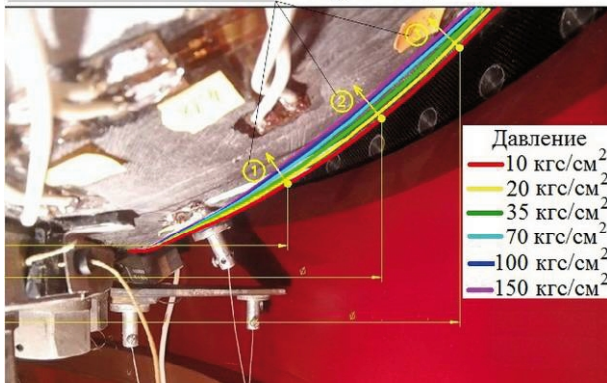


Рис. 8. Изменение профиля заднего днища



Рис. 9. Заднее днище в районе клина

Анализ перемещения пластика днищ по перу фланца при нагружении корпуса внутренним давлением.

При нагружении корпуса внутренним давлением на поверхность днища, контактирующую с пером закладного фланца, воздействуют нагрузки, которые в 3 – 4 раза больше, чем на остальную поверхность днища. Это приводит к появлению значительных изгибающих моментов на перо фланца и так называемому эффекту «сползания днища» по перу фланца. Для компенсации таких перемещений на перо фланца укладывается фторопласт, дающий возможность реализации относительных перемещений без разрушения конструкции днища в зоне контакта.

Для замера перемещений торца днища относительно торца фланца были установлены датчики перемещений на рис. 10.

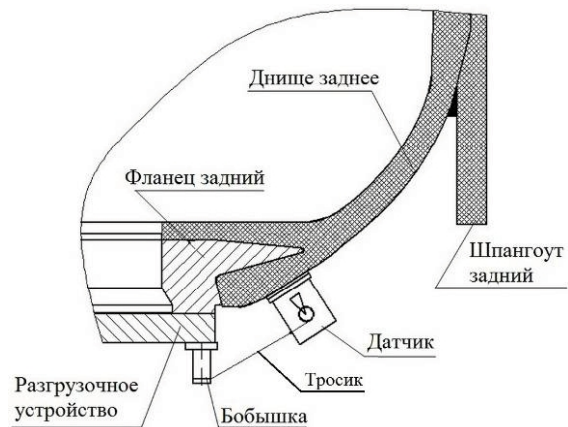


Рис. 10. Схема установки датчиков перемещения

Корпус датчика крепится на днище на определенном расстоянии от торца фланца, а мерительный тросик крепится на бобышке, приклеенной к торцу фланца.

Днища в процессе нагружения вытягиваются вдоль оси корпуса, изменяя форму от эллиптической к конической.

Рассмотрев более детально схему установки датчика, видно, что отклонение датчика связано с изгибом пера фланца.

Качественная схема изменения положения датчика представлена на рис. 11.

Для исключения влияния изменения формы днища на положения датчиков измерения, разработана альтернатива по их месту расположения. Такое расположение заключается в том, что два датчика устанавливаются на пластины, которые в свою очередь закрепляются на разгрузочном устройстве заднего днища. В следствие, данное расположение датчиков полностью исключило влияние на измерения при изменении формы днища от эллиптиче-

ской к конической. Качественная картина измерения отхода пластика от торца фланца, и изменения контура заднего днища при действии нагрузки внутренним давлением представлена на рис. 12.

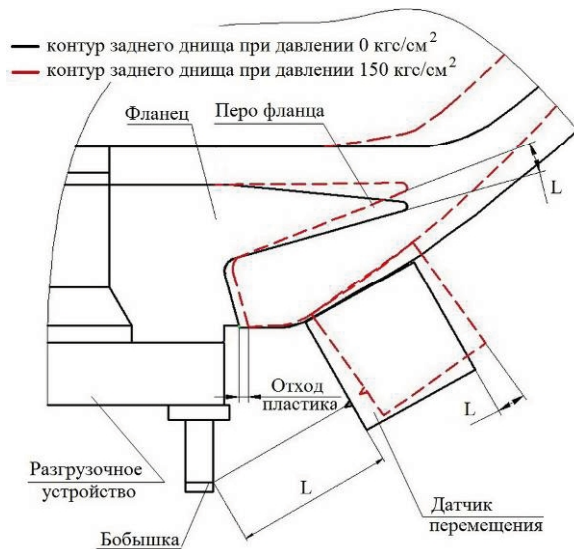


Рис. 11. Схема изменения положения датчика перемещения

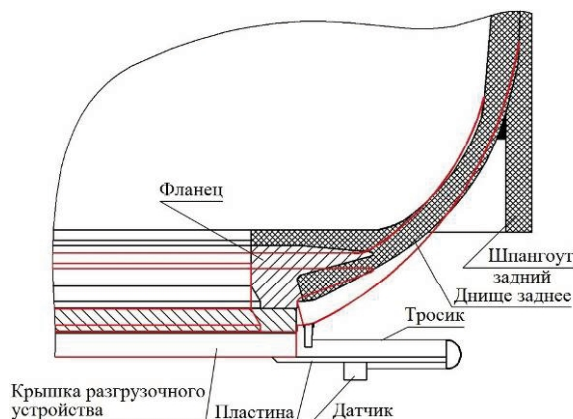


Рис. 12. Схема установки датчика перемещения

Перемещение и деформации элементов корпуса при статических и ОСИ идентичны, что соответствует правильности выбранного метода испытания корпусов.

### Выводы

Результаты исследования поведения днищ во время работы двигателя и при статических испытаниях, позволяют оценить минимально необходимое место в переходном и хвостовом отсеках ракеты-носителя, что в свою очередь позволяет экономить материалы (удешевить конструкцию) и выбрать способы крепления и компактное размещение аппаратуры в отсеках.

### Заключение

ГП «КБ «Южное» разрабатывают и изготавливают углепластиковые корпуса для ракет и ракеты-носителя.

Проводятся статические и огневые стендовые испытания.

Исследуется поведение днищ что позволяет оценить минимально-необходимое место в переходном и хвостовом отсеках ракеты.

Внедряются в работу новые и перспективные методы контроля перемещения и деформации элементов конструкции корпуса.

### Литература

1. Результаты и анализ статических испытаний корпусов [Текст] // ГП «КБ «Южное» им.М.К.Янгеля. — Днепр, 2018. - 112 с.
2. Результаты огневых стендовых испытаний двигателя [Текст] // ГП «КБ «Южное» им.М.К.Янгеля. — Днепр, 2019. - 92 с.

Поступила в редакцию 07.07.2019

### С.О. Мотильов, Л.П. Малий. Дослідження поведінки днищ корпусів рдтп з вуглепластика під час випробувань та роботи двигуна

У статті наведені дослідження поведінки днищ корпусів РДТП для визначення мінімально необхідного місця у перехідному та хвостовому відсіках ракето-носія, вибір способу кріплення та компактного розміщення апаратури в відсіках ракето-носія. Для виконання поставлених вимог у статті розглянуті наступні розділи: опис конструкції корпусу РДТП, виготовлення корпусу з вуглепластика, вогневі стендові випробування двигуна, стан корпусу після вогневих стендових випробувань. Розглянуті основні проектні рішення та вибір форми і профілю днища, а також елементи конструкції, що входять до складу днища. Проведені випробування, з метою підтвердження статичної міцності та оцінки якості виготовлення корпусу. Під час випробувань за допомогою встановленої відеокамери фіксувалася зміна контуру заднього днища, на кожному етапі навантаження внутрішнім тиском. Вперше візуально зафіксовано роботу заднього днища в районі клина. Для виключення впливу зміни форми днища на положення датчиків заміру, розроблена альтернатива по їх місцезнаходженню. Проведено аналіз переміщення пластика днищ по перу фланця при навантаженні корпусу внутрішнім тиском. При навантаженні кор-

посу внутрішнім тиском на поверхню днища, що контактує з пером заднього фланця, впливають навантаження, які в 3-4 рази більше, ніж на решту поверхні днища. Це призводить до появи значних згинальних моментів на пері фланця, та так званому ефекту «сповзання днища» по перу фланця. Проведена оцінка зміни форми днища від еліптичної до конічної. Виконано замір розкриття торця днища відносно торця фланця. Розроблена альтернативна схема установки датчиків для виміру розкриття. Створена якісна картина виміру відходу пластика від торця фланцю, та зміни контуру заднього днища при дії навантаження внутрішнім тиском. Результати досліджень поведінки днищ під час роботи двигуна та при статичних випробуваннях дозволяють оцінити мінімально необхідне місце в перехідному та хвостовому відсіках ракето-носія, що в свою чергу дозволяє економити матеріали (здешевити конструкцію), вибрати способи кріплення та компактно розмістити апаратуру в відсіках.

**Ключові слова:** корпус, РДТП, днище, випробування, ВСВ, відеофіксація, проектування, виготовлення.

**S.O.Motylov, L.P.Malyi. Research of behaviour of the bottoms of bodies solid propellant rocket engine from carbon composite during tests and engine run**

*In the article researches of behaviour of the bottoms of bodies solid propellant rocket engine for definition of an is minimum-necessary place in transitive and tail compartments of the launch vehicle and selection of a way of attachment and compact accommodation of equipment in launch vehicle compartments are resulted. For fulfilment of the delivered requirements in the article following sections are considered: the description of a design of body solid propellant rocket engine, manufacturing of a body from carbon composite, static tests of body solid propellant rocket engine, firing bench tests of the engine, a condition of a body after firing bench tests. The basic design solutions and selection of the form and a bottom structure, and also configuration items the a part bottoms are considered. Tests, for the purpose of acknowledgement of static strength and an estimation of quality of manufacturing of a body are conducted. During tests by means of the established video camera change of a contour of the back bottom, at each stage of loading was fixed by internal pressure. For the first time it is visually fixed activity of the back bottom around a wedge. The analysis of moving of plastic of the bottoms on flange pen is carried out at body loading by internal pressure. At body loading by internal pressure upon the surface of the bottom contacting to pen of a mortgage flange, which in 3 - 4 times more than loads influence other surface of the bottom. It leads to occurrence of the significant bending moments on pen of a flange and to so-called effect of "bottom slipping» on flange pen. The estimation of change of the form of the bottom from elliptical to the conical is conducted. Measurement of a deployment of an end face of the bottom concerning a flange end face is executed. The alternative scheme of installation of sensors is developed for deployment measurement. The qualitative picture of measurement of withdrawal of plastic from a flange end face, and change of a contour of the back bottom at loading action by internal pressure is created. Results of research of behaviour of the bottoms in a thruster-on time and at static tests, allow to estimate an is minimum-necessary place in transitive and tail compartments of the launch vehicle that, in turn, allows to save materials (to reduce the price of a design) and to choose ways of attachment and compactly to place equipment in compartments.*

**Key words:** case, solid propellant rocket engine, the bottom, test, AXES, video fixing, designing, manufacturing.

**References**

1. Rezul'taty i analiz sticheskih ispytanij korpusov [Results and the analysis of static tests of bod-ies]. Dnipro, Yuzhnoye SDO, 2018. 112 p.
2. Rezul'taty ognevyh stendovyh ispytanij dvigatelja [Results of firing bench tests of the engine]. Dnipro, Yuzhnoye SDO, 2019. 92 p.