

УДК 621.454.3.03-213.01

doi: 10.32620/aktf.2019.8.04

А. В. ПАЛЮХ, С. А. МОТЫЛЁВ, Л. П. МАЛЫЙ

ГП «Конструкторское бюро «Южное» имени М. К. Янгеля, Днепр, Украина

КОНСТРУКТОРСКОЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРПУСА РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ ТИПА “КОКОН”

Ракетные двигатели на твёрдом топливе (РДТТ) широко используются в ракетной и ракетно-космической технике. Корпус является основным несущим элементом двигателя на твёрдом топливе и выполняет функции камеры сгорания, а также является основным силовым элементом двигателя и одновременно частью силовой конструкции ракеты. В статье приведено описание конструкции корпуса ракетного двигателя на твёрдом топливе типа "кокон", предназначение и требования к элементам конструкции корпуса РДТТ типа "кокон". Применяемые материалы и технологические требования к ним. Выбор конструкционных материалов (КМ) для каждого отдельного элемента и узла зависят от ряда факторов и требований, предъявленных к изделию. Свойства КМ в значительной степени зависят как от соотношения между связующим и армирующим компонентами, так и от параметров технологического процесса их изготовления. Технологический маршрут изготовления корпуса РДТТ типа "кокон". Технологический маршрут изготовления любого изделия в значительной мере зависит от применяемых материалов, типа производства, наличие производственной базы, конструкции изделия, его формы, технических требований и т.д. Изготовление внутреннего теплозащитного покрытия корпуса РДТТ типа "кокон". Изготовление внутреннего теплозащитного покрытия (ВТЗП) днищ переднего, заднего и цилиндрической части корпуса. ВТЗП днищ корпуса РДТТ типа "кокон" представляет собой многослойную конструкцию с фланцами, манжетами, компенсаторами. В связи с этим изготовление теплозащитного покрытия (ТЗП) днищ проводится отдельно. Перед выкладкой ТЗП цилиндрической части на подготовленную оправку укладываются последовательно чехлы (технологический и крепящего слоя), технологические чехлы переднего и заднего днищ, а также устанавливаются ТЗП переднего и заднего днищ. Изготовление силовой оболочки корпуса, оболочки связи и узлов стыка. Силовую оболочку и оболочку связи корпуса изготавливают спирально-кольцевой «мокрой» намоткой углеродного волокна, пропитанного эпоксидным связующим, на намоточном станке. Передний и задний узлы стыка корпуса изготавливаются методом намотки слоев углеродной ткани. Слои углеродной ткани чередуются с кольцевыми и спиральными слоями углеродного волокна, выполняющими роль уплотнения слоев углеродной ткани и связи переднего и заднего узлов стыка.

Ключевые слова: корпус РДТТ типа “кокон”; конструкция корпуса; ВТЗП корпуса; силовая оболочка корпуса; оболочка связи; передний и задний узлы стыка.

Введение

В современных баллистических ракетах в качестве маршевых двигателей наибольшее распространение получили жидкостные и твердотопливные ракетные двигатели.

Ракетным двигателем на твёрдом топливе (РДТТ) называется двигатель прямой реакции, в котором химическая энергия твёрдого топлива преобразуется сначала в тепловую, а затем в кинетическую энергию продуктов сгорания, отбрасываемых с большой скоростью в окружающее пространство.

Рассмотрим достоинства и недостатки твердотопливных двигателей.

К достоинствам можно отнести:

– сравнительная простота конструкции РДТТ, обусловленная размещением заряда твёрдого топли-

ва в камере сгорания;

– постоянная боевая готовность, поскольку стабильность свойств современных твёрдых топлив позволяет длительно хранить РДТТ в снаряженном состоянии на стартовых позициях;

– возможность длительного хранения;

– относительно высокая надёжность, обусловленная сравнительной простотой конструкции;

– простота эксплуатации ракет с РДТТ, predetermined простотой конструкции РДТТ, простотой подготовки системы к запуску и самого запуска двигателя.

К недостаткам можно отнести:

– ограниченную продолжительность работы двигателя вследствие наличия неохлаждаемых элементов конструкции;

– пониженную величину удельного импульса;

- трудность осуществления многократного запуска;
- трудность регулирования тяги в широком диапазоне;
- довольно высокая стоимость твердых топлив;
- изменение основных параметров в зависимости от начальной температуры заряда твердого топлива.

Особенностью конструкции твердотопливных двигателей является то, что все топливо находится внутри камеры сгорания, а корпус двигателя является несущим.

Области применения РДТТ, а также круг выполняемых задач довольно разнообразны. Вследствие этого разработано большое количество различных конструкций, отличающихся габаритными, массовыми, тяговыми, временными и другими характеристиками [2].

1. Описание конструкции корпуса типа "кокон"

Корпус является основным несущим элементом двигателя на твердом топливе и выполняет функции камеры сгорания.

Корпус РДТТ является основным силовым элементом двигателя и одновременно частью силовой конструкции ракеты. Он предназначен для:

- размещения заряда твердого ракетного топлива;
- передачи тяги от двигателя к летательному аппарату в целом;
- он также воспринимает силы давления продуктов сгорания и внешние нагрузки;
- при движении ракеты в плотных слоях атмосферы корпус подвергается аэродинамическому нагреву, от которого он обычно защищен внешним теплозащитным покрытием.

Для РДТТ наибольшее распространение получили разъёмные и неразъёмные типы корпусов.

В разъёмных корпусах цилиндрическая часть и днища выполнены отдельно, что усложняет сборку двигателя и снижает его весовое совершенство.

Неразъёмный (моноблочный) корпус типа "кокон" из высокопрочного углепластика, полученный методом намотки, обладает высоким весовым совершенством и высокой удельной прочностью, обеспечивает упрощение технологического процесса изготовления, а также возможность получения равнопрочной конструкции типа "кокон", выполненный путем намотки углепластика.

В состав конструкции корпуса типа "кокон" входят следующие узлы и элементы:

- силовая оболочка корпуса (СОК);
- фланец передний;

- фланец задний;
- передний узел стыка;
- задний узел стыка;
- внутреннее теплозащитное покрытие:
 - 1) переднего днища;
 - 2) заднего днища;
 - 3) цилиндрической части;
- оболочка связи;
- клинья.

Силовая оболочка воспринимает внутреннее давление и внешние силовые нагрузки, действующие на корпус. Она выполнена методом непрерывной намотки на оправку.

Передний фланец предназначен для крепления крышки с воспламенительным устройством.

Задний фланец служит для крепления соплового блока.

Фланцы завулканизовываются в теплозащитные покрытия днищ и заматываются в корпус в процессе формирования силовой оболочки.

Передний и задний узлы стыка предназначены для соединения корпуса со смежными отсеками.

Стыковка корпуса со смежными узлами осуществляется посредством штифто-шпилечного соединения.

Для уменьшения влияния узлов стыка на перемещения силовой оболочки в зоне между ними устанавливаются клинья, выполненные из резиновой смеси. Между клиньями прокладывается фторопластовая пленка для уменьшения напряжений в этой зоне.

Внутреннее теплозащитное покрытие (ВТЗП) корпуса предназначено для защиты силовой оболочки корпуса и фланцев от теплового воздействия продуктов сгорания заряда твердого топлива. В теплозащитное покрытие днищ входят дополнительно манжеты, служащие для раскрепления торцов заряда. Замок манжеты предназначен для соединения манжеты с основным теплозащитным покрытием (ТЗП).

Внутреннее теплозащитное покрытие (переднего днища, заднего днища, цилиндрической части) представляет собой многослойную конструкцию.

В состав пакета ТЗП входят следующие слои:

- защитно-крепящий слой (ЗКС), состоящий из барьерного и крепящего слоев (выполняет функции прочного скрепления теплозащиты корпуса с зарядом, а также не допускает миграцию пластификаторов твердого топлива в материал основной теплозащиты). ЗКС нанесен на всю центральную поверхность корпуса и обе манжеты со стороны заряда твердого топлива;

– основная теплозащита нанесена на всю внутреннюю поверхность корпуса. Материал –

смесь резиновая. Из этого же материала выполнена основная теплозащита манжет. В корпусе основная теплозащита предназначена также для обеспечения герметичности корпуса при эксплуатации, хранении и работе.

Для предотвращения слипания в процессе эксплуатации ТЗП с манжетой их смежные поверхности облицованы тканью капроновой эластичной технической (ТКЭТ).

В районе "перьев" закладных фланцев установлены кольцевые компенсаторы.

Компенсаторы предназначены для уменьшения напряжений в материале теплозащиты в районе "перьев" закладных фланцев, возникающих вследствие существенно разной деформации силовой оболочки и закладных фланцев под воздействием внутреннего давления. Компенсаторы представляют собой прокладки из фторопластовой пленки. Размеры компенсаторов должны быть определены исходя из расчета напряженно-деформированного состояния системы "корпус – ТЗП – фланец" в условиях эксплуатации, заданных в ТЗ, и могут уточняться по результатам обработки.

К корпусу предъявляют следующие требования:

1. Корпус должен сохранять свою работоспособность при и после воздействия:

- нагрузок, действующих на корпус при его эксплуатации;
- внешнего теплового воздействия двигательной установки;
- температурно-влажностного режима атмосферы вокруг корпуса при наземной эксплуатации;
- вибрационных, виброимпульсных и акустических нагрузок на корпус.

2. Корпус должен быть герметичным с учетом заданных условий эксплуатации.

3. Корпус не должен иметь индивидуальной подгонки при сборке изделия.

4. Корпус должен обладать высокой удельной прочностью.

5. Корпус должен обеспечивать упрощение технологического процесса изготовления.

6. Корпус должен обладать наименьшей возможной себестоимостью.

7. Технология корпуса должна обеспечивать возможность получения равнопрочной конструкции.

2. Применяемые материалы и технологические требования к ним

Выбор конструкционных материалов для каждого отдельного элемента и узла зависит от ряда факторов и требований, предъявленных к изделию:

- удельная прочность и удельная жесткость;

- долговечность конструкции.

Технологические требования к материалам корпуса:

- высокая технологичность в изготовлении;
- способность к длительному хранению с сохранением первоначальных свойств;
- сопротивляемость к тепловому удару;
- эрозионная стойкость;
- достаточные механические свойства при рабочей температуре.

Выбор связующего зависит от технических параметров изготовления и эксплуатационных свойств пластиков. В отвержденном состоянии связующее создает монолитность композиционного материала, объединяя армирующий материал в одно целое. Композиционный материал способен выдерживать нагрузки растяжения, сжатия и изгиба. Наиболее распространены эпоксидные связующие.

Эпоксидные связующие обладают следующими свойствами:

- хорошей механической прочностью;
- высокими диэлектрическими характеристиками;
- сравнительно высокой стойкостью конструкционного материала при повышенных температурах;
- высокой жесткостью;
- малой объемной усадкой при отверждении (2...8 %).

Свойства КМ в значительной степени зависят как от соотношения между связующим и армирующим компонентами, так и от параметров технологического процесса их изготовления [1].

3. Технологический маршрут изготовления корпуса типа "кокон"

Технологический маршрут изготовления любого изделия в значительной мере зависит от применяемых материалов, типа производства, наличие производственной базы, конструкции изделия, его формы, технических требований и т.д.

Для проектируемого корпуса типа "кокон" технологический маршрут, следующий:

- изготовление ВТЗП днищ переднего и заднего;
- изготовление металлической оправки;
- сборка оправки под намотку;
- нанесение на оправку ВТЗП;
- приготовление связующего;
- намотка силовой оболочки корпуса;
- установка ложных днищ;
- формирование клиньев из резины;
- пропитка углеродной ткани;
- намотка оболочки связи и узлов стыка;
- отверждение (термообработка) заготовки корпуса в печи аэродинамического подогрева при $t=140^{\circ}\text{C}$;

- подрезка ложных днищ;
- извлечение металлической оправки;
- механическая обработка узлов стыка (токарная, слесарная);
- сверление отверстий в узлах стыка и вклейка штифтов;
- статические испытания корпуса на прочность;
- контроль выходных геометрических параметров;
- контроль герметичности.

4. Изготовление ВТЗП корпуса РДТТ типа “кокон”

Изготовление ВТЗП днищ переднего и заднего.

Внутреннее теплозащитное покрытие днищ корпуса МД представляет собой многослойную конструкцию с фланцами, манжетами, компенсаторами. В связи с этим изготовление ТЗП днищ проводится отдельно.

ТЗП днищ и манжеты изготавливаются выкладкой резиновых заготовок на металлическую форму с последующим прессовым формованием. При изготовлении ТЗП днищ на форму укладывают чехлы (технологический и крепящего слоя), барьерный слой, а затем выкладывают слой основной теплозащиты до получения требуемой толщины. В необходимых зонах формируются замковые части манжет, компенсаторы, раскрепляющие ТЗП и “перо” фланца, и вклеиваются фланцы.

Поверхности фланцев перед склеиванием с теплозащитным покрытием подвергают пескоструйной обработке.

Вулканизация ТЗП днищ производится неполная, чтобы последующая термообработка совместно с корпусом обеспечила получение заданных свойств материала ТЗП. Дефектоскопию и замер толщин проводят, не снимая ТЗП с формы.

После снятия ТЗП с формы производят контроль толщины манжеты, а также контроль качества наружной и внутренней поверхностей ТЗП, размеров и массы.

Перед выкладкой ТЗП цилиндрической части на подготовленную оправку укладываются последовательно чехлы (технологический и крепящего слоя), технологические чехлы переднего и заднего днищ, а также устанавливаются ТЗП переднего и заднего днищ.

После установки ТЗП днищ на оправку послойно собирается ТЗП цилиндрической части: барьерный слой, слой основной теплозащиты до набора требуемой толщины и герметизирующий слой.

Между окончанием нанесения покрытия и началом намотки устанавливаются жесткие временные разрывы. В случае возможного их превышения,

во избежание провисания слоев ТЗП цилиндрической части, покрытие с определенным шагом приматывают технологическим слоем сухого волокна, который удаляют перед намоткой силовой оболочки корпуса.

Перед намоткой силовой оболочки корпуса на герметизирующий слой и основное ТЗП наносится клей, а затем места стыка ТЗП цилиндрической части с ТЗП переднего и заднего днищ приматываются кольцевыми слоями углеродного волокна, пропитанного эпоксидным связующим.

5. Изготовление силовой оболочки корпуса, оболочки связи и узлов стыка

Силовую оболочку и оболочку связи корпуса изготавливают спирально-кольцевой «мокрой» намоткой углеродного волокна, пропитанного эпоксидным связующим на намоточном станке. Существует также «сухой» способ намотки. Если нить заранее пропитана смолой (связующим) и поступает на процесс намотки в подсушенном виде, то процесс намотки изделия называют «сухим», если нить пропускается через смолу непосредственно перед намоткой - «мокрым».

В настоящее время отечественное и зарубежное серийное изготовление корпусов производится методом «мокрой намотки».

Достоинствами этого метода являются:

- простота и экономичность;
- возможность плотной упаковки армирующего материала в процессе намотки и, следовательно, меньшая пористость готового пластика.

Недостатки этого метода:

- использование связующих только с низкой вязкостью;
- травмируемость волокна в процессе прохождения его по нитетракту.

Намотка углеродного волокна производится по специальным программам с обеспечением требуемых параметров намотки (углы и шаг намотки, натяжение армирующей ленты). Пропитка волокна связующим производится в процессе намотки.

Приготовление связующего включает размельчение исходной смолы, взвешивание и смешивание её со стабилизаторами, отвердителями. Вязкость приготовленного связующего контролируется.

Подготовка оборудования включает в себя составление программы намотки, проверка узлов и агрегатов станка, контроль стабильности задаваемых параметров намотки. Оправку устанавливают на станок, обезжиривают рабочую поверхность и наносят на неё противадгезионный смазочный материал.

Изготовление силовой оболочки осуществляется намоткой чередующихся спиральных и кольцевых слоев углеволокна на станке.

После окончания намотки производится повторное определение связующего.

Далее выполняется намотка узлов стыка из углеродной ткани и углеволокна. Пропитку углеродной ткани эпоксидным связующим с одновременной сушкой проводят на машине для пропитки. Полученный препрег разрезают на ленты требуемой ширины.

Передний и задний узлы стыка корпуса изготавливаются методом намотки слоев углеродной ткани. Слои углеродной ткани чередуются с кольцевыми и спиральными слоями углеродного волокна выполняющими роль уплотнения слоев углеродной ткани и связи переднего и заднего узлов стыка.

Отверждение заготовки корпуса с намотанной на нее технологической рубашкой производят при температуре $t_{max} + 140\text{ }^{\circ}\text{C}$ в печи аэродинамического подогрева. Одновременно происходит окончательная вулканизация ВТЗП.

Дальнейшие работы с отвержденной заготовкой рекомендуется проводить не ранее, чем через 24 часа.

Эти работы включают подрезку и снятие ложных днищ и технологической рубашки, а также извлечение разборной металлической оправки из заготовки корпуса. Затем производится механическая обработка торцев узлов стыка на токарном станке и сверление по кондукторам на радиально-сверлильном станке радиальных и осевых отверстий под штифто-шпилечные соединения узлов стыка с последующей установкой в них штифтов и втулок.

Корпус МД подвергается неразрушающему контролю сплошности материала корпуса акустическим методом, контролю выходных габаритных параметров, массы. Затем контролируется его герметичность и проводятся статические испытания на прочность силовой оболочки внутренним гидравли-

ческим давлением, а также осевыми сжимающими и растягивающими нагрузками узлов стыка.

После сушки внутренней поверхности корпуса горячим воздухом проводится контроль качества наружной и внутренней поверхности корпуса, выходных геометрических параметров. Затем на передний и задний фланцы устанавливаются транспортировочные крышки, выполняется металлизация наружной поверхности корпуса и повторный контроль герметичности [1].

Заключение

ГП «КБ «Южное» разрабатываются и изготавливаются корпуса РДТТ типа «кокон». Представленные в настоящей статье материалы могут быть приняты при разработке рабочей конструкторской документации на корпус ракетного двигателя на твердом топливе типа «кокон» для РКН и ОТР.

Литература

1. *Применяемые материалы и типовые технологии [Текст]. – Днепр : ГП «КБ «Южное» им. М. К. Янгеля, 2015. – Т. 2. – 94 с.*
2. *Конструкции ракетных двигателей на твердом топливе [Текст] / Л. Н. Лавров, А. А. Болотов, В. И. Гапаненко и др. – М. : Машиностроение, 1993. – 215 с.*

References

1. *Primenjaemye materialy i tipovye tehnologii. [Applied materials and typical technologies]. Dnipro, Yuzhnoye SDO, 2015, vol. 2. 94 p.*
2. *Lavrov, L. N., Bolotov, A. A., Gapanenko, V. I., Dumin, O. S., Zinovev, P. A., Panasevich, B. L., Polomskih, N. L., Sokolovsky, M. I., Scherbak, JU. N. Konstrukcii raketnyh dvigatelej na tverdom toplive [Designs of rocket engines on firm fuel]. Moscow, Mechanical engineering Publ., 1993. 215 p.*

Поступила в редакцию 10.06.2019, рассмотрена на редколлегии 7.08.2019

КОНСТРУКТОРСЬКЕ І ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КОРПУСУ РАКЕТНОГО ДВИГУНА НА ТВЕРДОМУ ПАЛИВІ ТИПУ “КОКОН”

О. В. Палюх, С. О. Мотильов, Л. П. Малий

Ракетні двигуни на твердому паливі (РДТП) широко використовуються в ракетній та ракетно-космічній техніці. Корпус є основним елементом двигуна на твердому паливі і виконує функцію камери згоряння, а також є основним силовим елементом двигуна і одночасно частиною силової конструкції ракети. В статті приведено опис конструкції корпусу ракетного двигуна на твердому паливі типу “кокон”, призначення та вимоги до елементів конструкції корпусу РДТП типу “кокон”. Застосовані матеріали та технологічні вимоги до них. Вибір конструкційних матеріалів для кожного окремого елемента і вузла залежить від ряду факторів і вимог, які пред’явлені до виробу. Властивості КМ в значній мірі залежать як від співвідношення зв’язуючого і армуючого компонентів, так і від параметрів технологічного процесу їх виготовлення. Технологічний маршрут виготовлення корпусу РДТП типу “кокон”. Технологічний маршрут виготовлення будь-якого виробу в значній мірі залежить від застосованих матеріалів, типу виробництва, наявності виробничої

бази, конструкції виробу, його форми, технічних вимог і т.д. Виготовлення внутрішнього теплозахисного покриття корпусу РДТП типу “кокон”. Виготовлення внутрішнього теплозахисного покриття (ВТЗП) днищ переднього, заднього і циліндричної частини корпусу. ВТЗП днищ корпусу РДТП типу “кокон” є багатощаровою конструкцією з фланцями, манжетами, компенсаторами. В зв’язку з цим виготовлення теплозахисного покриття (ТЗП) днищ проводиться окремо. Перед викладкою ТЗП циліндричної частини на підготовлену оправку викладаються послідовно чохла (технологічний і скріплюючого шару), технологічні чохла переднього і заднього днищ, а також встановлюються ТЗП переднього та заднього днищ. Виготовлення силової оболонки корпусу, оболонки зв’язку і вузлів стику. Силу оболонку і оболонку зв’язку корпусу виготовляють спірально-кільцевим “мокрим” намотуванням вуглецевого волокна, просоченим епоксидною смолою, на намотувальному верстаті. Передній і задній вузли стику корпусу виготовляються методом намотування шарів вуглецевої тканини. Шари вуглецевої тканини чергуються з кільцевими та спіральними шарами вуглецевого волокна, виконуючи роль ущільнювача шарів вуглецевої тканини і зв’язку переднього і заднього вузлів стику.

Ключові слова: корпус РДТП типу “кокон”; конструкція корпусу; ВТЗП корпусу; силова оболонка корпусу; оболонка зв’язку; передній і задній вузли стику.

DESIGN AND TECHNOLOGICAL MAINTENANCE OF MANUFACTURING THE CASE OF THE ROCKET ENGINE ON FIRM FUEL OF TYPE "COCOON"

A. V. Palyukh, S. A. Motylov, L. P. Mali

Rocket engines on firm fuel are widely applied in the rocket and space-rocket technics. The case is the basic bearing element of the engine on firm fuel and carries out functions of the chamber of combustion, and also is the basic power element of the engine and simultaneously a part of a power design of the rocket. In the article on firm fuel of type "cocoon", mission and requirements the description of a design of the case of the rocket engine results in elements of a design of case rocket engines on firm fuel of type "cocoon". It is determined the applied materials and technology requirements to them. The choice of constructional materials for each separate element and knot depends on many factors and the requirements shown to a product. Properties of composite material substantially depend as on parity between binding and reinforcing components, and from parameters of the technological process of their manufacturing. It is determined a technological route of manufacturing of case rocket engines on firm fuel of type "cocoon". The technological route of manufacturing of any product appreciably depends on applied materials, manufacture type, presence of an industrial base, a design of a product, its form, technical requirements, etc. It is determined the manufacturing of an internal heat-shielding covering of case rocket engines on firm fuel of type "cocoon". It is determined the manufacturing internal heat-shielding covering of the bottoms forward, back and a cylindrical part of the case. The internal heat-shielding covering of the bottoms of case rocket engines on firm fuel of type "cocoon" represents a multilayered design with flanges, cuffs, jacks. In this connection manufacturing heat-shielding covering of the bottoms is spent separately. Before calculation heat-shielding covering of a cylindrical part on prepared mandrel covers (technological and a fixing layer), technological covers of the forward and back bottoms keep within consistently and also are established heat-shielding covering the forward and back bottoms. It is determined the manufacturing of a power cover of the case, a cover of communication and joint knots. Power cover and the cover of communication of the case make spirally-ring "wet" winding of the carbon fiber impregnated epoxy resin, on winding the machine tool. Forward and back knots of a joint of the case are made by a method of winding of layers of carbon fabric. Layers of a carbon fabric alternate with ring and spiral layers of a carbon fiber carrying out a role of consolidation of layers of carbon fabric and communication of forward and back knots of a joint.

Keywords: Case rocket engines on firm fuel of type "cocoon"; a case design; internal heat-shielding covering cases; a power cover of the case; a communication cover; forward and back knots of a joint.

Палюх Алексей Владимирович – начальник группы ГП «КБ «Южное» им. М. К. Янгеля, Днепр, Украина.

Мотылев Сергей Александрович – начальник сектора ГП «КБ «Южное» им. М. К. Янгеля, Днепр, Украина.

Малый Леонид Прокофьевич – начальник отдела ГП «КБ «Южное» им. М. К. Янгеля, Днепр, Украина.

Palyukh Aleksey Vladimirovich – The chief of group of SE Design Office “YUZHNOYE”, Dnepr, Ukraine, e-mail: innaabramova4@gmail.com, ORCID Author ID: 0000-0003-3989-0373.

Motylov Sehi Oleksandrovich – The chief of sector of SE Design Office “YUZHNOYE”, Dnepr, Ukraine, e-mail: motylevsergey@gmail.com, ORCID Author ID: 0000-0002-2489-1472.

Malyi Leonid Prokofievich – The chief of department of SE Design Office “YUZHNOYE”, Dnepr, Ukraine, e-mail: info@yuzhnoye.com, ORCID Author ID: 0000-0002-2024-0250.