

ВОПРОСЫ ХИМИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ВНУТРЕННЕГО ТЕПЛОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

Т. А. Манько¹, К. В. Козис²

¹ Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

² ГП «Конструкторское бюро «Южное» имени М.К. Янгеля

Анотация. Одна з особливостей ракетної техніки – високий темп ускладнення і оновлення конструкцій у зв'язку з тактико-технічними вимогами до них, що постійно зростають. Кожне покоління ракетно-космічних виробів характеризується новим комплексом конструктивно-технологічних параметрів і новими матеріалами з більш високими властивостями. Вирішення усієї сукупності конструкторських і технологічних завдань під час розроблення, створення й експлуатації космічних апаратів неможливо без широкого розвитку та впровадження нових матеріалів, що мають ряд характеристик, необхідних для виробів сучасної техніки. Найпоширеніші і найскладніші конструкції сучасної техніки – це ракетні двигуни твердого палива (РДТТ) з полімерних композиційних матеріалів. Під час їх створення одним з основних завдань є розроблення внутрішнього теплозахисного покриття корпусу ракетного двигуна твердого палива. На цей час на Державному підприємстві «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля» проводять роботи зі створення ракетних двигунів твердого палива. Розроблення їх внутрішніх теплозахисних покриттів з використанням матеріалів із заданими вимогами і в основному вітчизняного виробництва є важливим науково-технічним завданням. Стаття присвячена аналізу компонентів та інгредієнтів для гумових сумішей, які забезпечують властивості та основні функції внутрішнього теплозахисного покриття корпусу ракетного двигуна твердого палива. У статті відображені основні результати робіт, які пов'язані з розробкою рецептурного складу та технології виготовлення еластомерного матеріалу, котрий використовують при виготовленні внутрішнього теплозахисного покриття корпусів ракетних двигунів твердого палива із полімерних композиційних матеріалів.

Ключові слова: ВНУТРІШНЄ ТЕПЛОЗАХИСНЕ ПОКРИТТЯ, РАКЕТНИЙ ДВИГУН ТВЕРДОГО ПАЛИВА, ГУМОВА СУМІШ.

Аннотация. В статье отражены основные результаты работ, связанные с разработкой рецептурного состава и технологии изготовления эластомерного материала, используемого при изготовлении внутреннего теплозащитного покрытия корпусов ракетных двигателей твердого топлива из полимерных композиционных материалов.

Ключевые слова: ВНУТРЕННЕЕ ТЕПЛОЗАЩИТНОЕ ПОКРЫТИЕ, РАКЕТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА, КАЛАНДРОВАННАЯ РЕЗИНОВАЯ СМЕСЬ.

Abstract. One of specific features of rocket engineering – is the high rate of sophistication and renewal of structures due to constantly growing operational and technical specifications imposed to them. Every generation of rocket and space products features a new complex of design and processing parameters and new materials possessing higher properties. It is impossible to resolve the entire scope of design and processing tasks in course of development, creation and operation of spacecraft without extend development and infusion of new materials which possess a number of required characteristics imposed to state-of-the-art technology products. The most widespread and sophisticated structures of modern technology – are solid-propellant rocket motors (SPRM) made of polymer composite materials. One of the major tasks associated with their creation is development of the internal thermal protection coating of solid-propellant rocket motor casing. State enterprise Yuzhnoye Design Office named after M.K. Yangel is currently carrying out works on creation of solid-propellant rocket motors. Development of their internal thermal protection coatings using mainly domestically produced materials with specified requirements is a scientific and technological task of high importance which confirms the relevance of dissertational research. The article is devoted to the analysis of components and ingredients for rubber compounds, which provide the properties and basic functions of the thermal protective covering of solid propellant rocket engine. The article shows the main results of the work related to the development of prescribed composition and technology of manufacturing of elastomeric material which used in the manufacture of internal heat-resistant coating of solid-propellant rocket engines made of polymer composite materials.

Keywords: THERMAL PROTECTIVE COVERING, SOLID PROPELLANT ROCKET ENGINE, RUBBER COMPOUND

Введение

Одной из перспективных разработок предприятий ракетно-космических комплексов являются ракетные двигатели твердого топлива (РДТТ). При проектировании и изготовлении корпусов ракетных двигателей твердого топлива особое внимание уделяется проблеме создания внутреннего теплозащитного покрытия из эластомерных материалов [1].

До настоящего времени при изготовлении корпусов РДТТ основной составляющей внутреннего теплозащитного покрытия являлись резиновые смеси типа 51-2058, 51-1620, 51-2110, 51-2147, поставки которых ограничены в связи с импортозамещением. Кроме того, практически все рецептуры этих составов были разработаны в середине XX века и их использование в современных конструкциях нецелесообразно ввиду изменений технологии производства компонентов.

При разработке современных ракетных двигателей существует проблема создания отечественных аналогов специальных резиновых смесей для внутреннего теплозащитного покрытия.

Постановка задачи

Предметом данной работы является анализ компонентов и ингредиентов для резиновых смесей, которые обеспечивают свойства и основные функции внутреннего теплозащитного покрытия корпуса ракетного двигателя твердого топлива.

Решение задачи

ГП «КБ Южное» им. М.К. Янгеля совместно с ГП «УНИКТИ «ДИНТЭМ» проводят работы по выбору материалов, в частности подбора компонентов и ингредиентов для рецептурных составов резиновых смесей и изготовлению опытных образцов внутреннего теплозащитного покрытия. Особое внимание уделяется сырьевой базе материалов, исследованию их физико-механических и теплофизических характеристик в соответствии с требованиями, предъявляемыми к резиновым смесям для изготовления

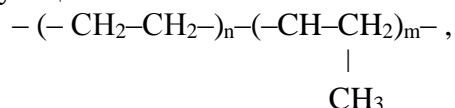
внутреннего теплозащитного покрытия [3].

Основным сырьем резиновой промышленности являются каучуки и от его выбора, при разработке рецептурного состава резиновой смеси, в конечном итоге, зависит комплекс свойств материала.

При разработке рецептурного состава резиновой смеси для внутреннего теплозащитного покрытия в качестве основы были рассмотрены этиленпропиленовые сополимеры и литые полиуретановые каучуки.

Выбранные этиленпропиленовые каучуки (СКЭПТ-40,50) состоят из чередующихся звеньев этилена и пропилена, содержащие небольшие количества (0,9-2,0 %) диенов. В качестве исходных диенов могут применяться: дициклопентадиен, 1,5-циклооктадиен и др.

Структурная молекула каучука следующая:



где n и m от 8 до 12.

Этиленпропиленовые и этиленпропилендиеновые каучуки обладают высокой озоно-, кислородо-, погодо-, теплостойкостью, стойкостью к ряду агрессивных сред (спирты, гликоли, кетоны, эфиры, гидравлические жидкости, щелочи, кислоты). Эти сополимеры характеризуются диэлектрическими показателями, достаточно высокой прочностью на разрыв, эластичностью к отскоку, повышенным сопротивлением к истиранию.

Альтернативным решением при выборе основы резиновой смеси могут быть низкомолекулярные уретановые каучуки холодного отверждения (СКУ). Путем рецептурных приемов можно получать покрытия, широко различающиеся по твердости, эластичности и прочности. Резины из СКУ характеризуются высокими механическими показателями, высокой износостойкостью, стойкостью к набуханию в маслах, различных топливах и растворителях, озоно-, светостойкостью, радиационной и вибростойкостью. [4].

Уретановые каучуки получают взаимодействием простых и сложных

полиэфиров, содержащие концевые гидроксильные группы с диизоцианатами

Для того чтобы придать резиновой смеси те или иные свойства, в ее рецептурный состав необходимо ввести различные ингредиенты.

Все ингредиенты должны быть высокой степени дисперсности, иметь минимальное содержание влаги и летучих веществ, не иметь посторонних механических примесей и включений, а также минеральных кислот и растворимых в воде минеральных солей, быть стабильными в условиях хранения и нетоксичными.

В зависимости от специфики действия компонентов и влияния их на свойства резиновой смеси ингредиенты делятся на следующие группы:

- вулканизирующие вещества или вулканизирующие агенты;
- ускорители вулканизации;
- активаторы, наполнители или усилители;
- пластификаторы (мягчители);
- противостарители;
- ингредиенты специального назначения.

Вулканизирующие системы. При разработке рецептурных составов резиновых смесей были рассмотрены неорганические и органические вулканизирующие агенты.

В качестве неорганических агентов рассмотрены сера и оксиды металлов.

Основным вулканизирующим веществом непредельных (содержащих двойные связи) каучуков является сера, содержащаяся в смеси в количестве до 3% от массы каучука. При вулканизации наблюдается постепенное изменение свойств каучука, причем, в начале вулканизации свойства изменяются быстро, а затем медленно. Резко повышаются прочность при растяжении, теплостойкость, эластичность, стойкость каучука к старению, и к продолжительному воздействию окружающей среды (кислорода, воздуха и др.), химическая стойкость. При вулканизации серой каучук теряет способность растворяться: он только набухает в растворителях. Степень набухания (изменение массы) зависит от

степени вулканизации, от природы каучука и других ингредиентов резины.

Также в качестве вулканизирующих агентов каучуков применяют некоторые оксиды металлов. Наибольшее практическое применение имеют оксиды магния, цинка, двуокись свинца.

Оксид магния (MgO) применяется в качестве активатора ускорителей вулканизации – дифенилгуанидина (ДФГ) и действует как усилитель, снижающий теплообразование резин.

Оксид цинка (ZnO) применяется совместно с оксидом магния и замедляет действие ускорителей вулканизации щелочного характера, уменьшает опасность подвулканизации.

Оксид свинца применяется для вулканизации только бутадиен-нитрильных и полисульфидных каучуков.

В качестве органических вулканизирующих агентов применяются разные классы соединений. Для вулканизации этиленпропиленовых каучуков можно применять органические перекиси, N,N' – дитиодиморфолин (ДДТМ) или пероксидные соединения.

N,N' – дитиодиморфолин – серый или коричневый порошок с температурой плавления $124-126^{\circ}C$. ДДТМ при температуре вулканизации распадается на связи $S - N$ с выделением активной серы. Резины, получаемые при такой вулканизации, характеризуются более высоким сопротивлением старению и меньшей склонностью к преждевременной вулканизации.

Вулканизация каучуков пероксидами протекает по свободному механизму, при этом возникающие полимерные радикалы взаимодействуют между собой, образуя поперечные связи $-C-C-$, которые обуславливают более высокую стойкость вулканизатов к тепловому старению. К наиболее распространенным пероксидам, используемых в резиновой промышленности относятся: перекись бензоила, перекись дикумила, перекись 2,4-дихлорбензоила, перекись изопропилбензола.

Следующая группа ингредиентов рецептурного состава резиновой смеси –

ускорители вулканизации.

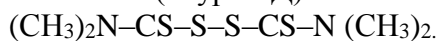
В настоящее время, в основном, применяются органические ускорители, которые по своему химическому составу подразделяются на следующие классы: дитиокарбаматы, тиурамы, тиазолы, сульфенамиды, гуанидины.

Дитиокарбаматы – $(RR'N-CS-S)Me$, где RR' – арил или другой радикал, Me – металл или атомность радикала.

Ускорители этой группы относятся к ультраускорителям и проявляют свое действие при температуре ниже $100^{\circ}C$.

Тиурамы – $RR'N-CS-S_n-CS-NR''R''$.

Тиурамы получают окислением дитиокарбаматов окислами азота, хлора или брома. В промышленности наиболее распространенным ускорителем данного класса является (тиурам Д):



Тиурам Д является ультраускорителем, его критическая температура действия $105-125^{\circ}C$. Резиновые смеси с тиурамом обладают склонностью к полувулканизации. В дозировке 3-5% тиурам применяют в производстве теплостойких резин.

Тиазолы – гетероциклические соединения, характеризующиеся наличием цикла, в состав которого входит сера.

Важнейший ускоритель этого класса – меркаптобензтиазол, называемый «каптакс», являющийся одним из наиболее распространенных в резиновой промышленности. Каптакс придает резинам хорошее сопротивление старению, имеет широкое плато вулканизации (период времени, в течение которого не наблюдается резких изменений свойств).

Другим ускорителем этой группы является 2,2-дибензтиазолилдисульфид – альтакс, получаемый окислением каптакса. Он придает резиновым смесям высокую стойкость к преждевременной вулканизации. При высокой температуре вулканизации разлагается с образованием каптакса.

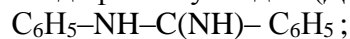
Сульфенамиды $-R-S-NR'R''$, где R – тиазолил, бензтиазолил, остаток карбаминовой кислоты и др.; $R'R''$ – алкил, арил и другие радикалы.

При изготовлении резиновых смесей

широкое применение нашли ускорители торговых марок Сульфенамид Ц и Сульфенамид М.

Резиновые смеси с сульфенамидами имеют замедленный начальный период вулканизации и поэтому обладают повышенной устойчивостью к преждевременной вулканизации. Сульфенамиды значительно повышают модуль и прочность при растяжении вулканизатов.

Гуанидины $-NH_2-C(NH)-NH_2$, самостоятельно не применяется в рецептурном составе резиновой смеси, вследствие своей нестойкости. В качестве ускорителей применяют производные гуанидина – дифенилгуанидин, трифенилгуанидин, ди-о-толилгуанидин. Из них наибольшее распространение получил дифенилгуанидин (ДФГ):



ДФГ часто применяют вместе с каптаксом или альтаксом, сильно активировав его действие.

Диизоцианаты – $-O=C=R'-N=C=O$.

Одним из распространенных типов диизоцианатов является толуол-2,4-диизоцианат (толуилендиизоцианат) $OCN-C_6H_4(NCO)-CH_3$, применяемый для литьевых полиуретанов. Образование сетчатой структуры (вулканизации) осуществляется в результате взаимодействия концевых изоцианатных групп $-N=C=O$ с уретановыми $-NH-$ группами полимера. Отличительной особенностью литьевых полиуретановых (СКУ-7А, СКУ-ПФЛ) является практически одновременное протекание их синтеза и образование поперечных связей, вследствие чего не требуется проведение специального процесса вулканизации.

Для придания резиновой смеси обрабатываемости, а также изменению ее механических свойств, увеличения электрической проводимости, химической и теплостойкости, в ее рецептурный состав необходимо ввести следующие ингредиенты-наполнители – **активаторы**.

Существующие наполнители для резиновых смесей подразделяются на активные и неактивные. Наиболее распространенным активным наполнителем

является технический углерод, который играет особо важную роль в резиновых смесях на основе синтетических некристаллизирующихся каучуков. Основным сырьем для получения технического углерода служат жидкие углеводородные масла нефтяного и каменноугольного происхождения, и газообразные углеводороды.

При разработке резиновых смесей для внутреннего теплозащитного покрытия РДТТ были проведены исследования различных марок техуглерода: N 220, N 330, N 550. В результате анализа установили, что использование техуглерода марок N, выпускаемого по международной классификации, приводит к повышению качества резин и изделий из них.

Наиболее активными неорганическими наполнителями являются высокодисперсные кремнекислоты. Кремнекислота состава $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ выпускается различных марок: У-333, БС-50, БС-150, БС-280, аэросил, А-175, А-300, А-380.

Вулканизаты с активными кремнекислотами превосходят по сопротивлению старению вулканизаты, содержащие технический углерод. Резины с «белой сажи» БС-50 или БС-150 обладают высокими электроизоляционными показателями. Кремнекислоты значительно улучшают каландруемость резиновых смесей, понижают их усадку. Эффект действия наполнителей зависит как от природы, свойств наполнителя и каучука, так и от условий их применения. Комбинируя различные виды технического углерода с кремнекислотами в резиновой смеси и их оптимальные дозировки, можно добиться получения вулканизатов с заданными свойствами.

Следующая группа ингредиентов, которые обеспечивают основные свойства резиновых смесей – **пластификаторы**. Пластификаторы – вещества, облегчающие изготовление и обработку резиновых смесей, снижающие температуру текучести и повышающие их пластичность.

В зависимости от происхождения мягчители подразделяются на следующие группы:

- вещества, получаемые из нефти;
- продукты переработки каменного угля;
- жирные кислоты;
- синтетические мягчители.

Мягчители – продукты переработки нефти. При разработке резиновых смесей были выбраны огнестойкие мягчители – хлорированные парафиновые углеводороды. К ним относятся твердый парафин ХП-1100, содержащий 70% хлора, который придает резинам способность к самозатуханию. Жидкий парафин ХП-333, содержащий 24% хлора, который применяют для частичной замены дибутилфталата.

Мягчители – продукты переработки каменного угля. К этой группе мягчителей относятся кумароноинденовые смолы (КИС). КИС – обладают хорошей теплопроводностью и высокими диэлектрическими свойствами. Они улучшают обрабатываемость резиновых смесей на производственном оборудовании, повышают клейкость и адгезию к тканям и металлам, повышают сопротивление раздиру и разрастанию трещин вулканизатов.

Мягчители – жирные кислоты. Жирные кислоты – поверхностно - активные вещества (ПАВ), которые адсорбируясь на поверхности частиц наполнителей, образуют мономолекулярный слой. Они препятствуют агломерации наполнителей и способствуют диспергированию их в резиновой смеси. Типичным представителем жирной кислоты является стеариновая кислота $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$. Техническая стеариновая кислота (стеарин) всегда содержит примесь других жирных кислот – олеиновой и пальмитиновой.

Синтетические мягчители. К синтетическим мягчителям относятся эфиры, полидиены, алкилфенолоформальдегидные смолы. Синтетические мягчители обладают хорошими пластифицирующими свойствами и способностью повышать морозостойкость вулканизатов. Особенно широкое распространение в качестве синтетических мягчителей получили дибутилфталат и дибутилсебацинат.

Поскольку при хранении и эксплуатации резиновых смесей происходит неизбежный процесс старения, приводящий к снижению их свойств, в рецептурный состав резиновых смесей вводятся **противостарители**, которые замедляют окисление и старение.

Существует много различных химических противостарителей, которые относятся к ароматическим аминопроизводным, алкифенолам и производным дигидрохинолина. Все они содержат аминные и гидроксильные группы с подвижным атомом водорода.

Ароматические аминопроизводные. К этой группе принадлежат противостарители, относящиеся к вторичным ароматическим аминам и диаминам. Типичным представителем является фенил-β-нафтиламин (неозон Д). Он эффективно защищает каучук и резины от теплового старения, повышает стойкость резин при многократных деформациях. Применяется в количестве 0,5-2% от массы каучука.

Производные дигидрохинолина. Эти противостарители обладают свойствами антизонатов, защищают резину от светоозонового и атмосферного старения. Универсальным противостарителем данного типа является поли-2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолин (ацетонанил).

По защитному действию ацетонанил превосходит неозон Д и параксинеозон.

При создании рецептурного состава резиновой смеси для внутреннего теплозащитного покрытия РДТТ

выбирались **ингредиенты специального назначения**, которые существенно увеличат стойкость резинового покрытия к воздействию высоких температур, огнестойкость, высокую адгезию к металлам и клеям. Такими добавками служили – фенолформальдегидные смолы и антипрены.

Фенолформальдегидные смолы применяют для улучшения обрабатываемости смесей и повышения теплостойкости. В зависимости от содержания смолы можно получать вулканизаты от мягких эластичных до твердых эбонитоподобных.

Для повышения огнестойкости в резиновые смеси вводят антипрены. К числу антипренов относят трехокись сурьмы и хлорпарафины. Их совместное применение повышает огнестойкость резиновых смесей.

В результате проведения научно-исследовательской работы и анализа компонентов и ингредиентов для резиновой смеси совместными усилиями ГП «КБ «Южное» и ГП «УНИКТИ «ДИНТЭМ» разработаны рецептурные составы и изготовлены опытные образцы резины для внутреннего теплозащитного покрытия РДТТ. Составлены основные рецептуры опытных заправок резиновых смесей и проведена оценка их физико-механических и теплофизических характеристик. В табл. 1 приведены физико-механические и теплофизические показатели опытных образцов разработанных рецептурных составов [5].

Таблица 1 – Физико-механические и теплофизические показатели опытных образцов рецептурных составов резиновых смесей

№ п/п	Наименование показателя	Требования	Опытные образцы 5 рецептурных составов				
			1	2	3	4	5
1	Предел прочности при растяжении, кгс/см ² , не менее	80	80	90	85	93	101
2	Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	460	500	600	650	650	690
3	Относительная остаточная деформация, %, не более	40	42	43	44	40	38
4	Плотность, г/см ³	1,02-1,08	1,05	1,1	1,08	1,07	1,03
5	Твердость, ед. ШорА	-	50	52	55	58	58
6	Теплоемкость, Дж/(кг·град)	0,058	0,053	0,051	0,051	0,054	0,057
7	Коеф. теплопроводности, Вт/(м·К)	0,2435	0,2136	0,2402	0,2250	0,2230	0,2430

Как следует из данных табл. 1, все опытные варианты резины по физико-механическим и теплофизическим показателям соответствуют заданным требованиям. При этом удовлетворительным комплексом свойств обладает резина с рецептурным составом 5. Разработанная рецептура использовалась для изготовления резиновых смесей для внутреннего теплозащитного покрытия РДТТ.

Для обеспечения основных функций внутреннего теплозащитного покрытия – защиты от воздействия температурных деформаций, обусловленных различными коэффициентами термического расширения материалов корпуса и твердого топлива и тепловой защиты корпуса от воздействия

высокотемпературной газовой среды в процессе работы изделия, разработана технология послойного формования из резиновой смеси толщиной от 3 до 14 мм. Для обеспечения заданной толщины использовали каландрованную резиновую смесь разработанной рецептуры.

Каландрованную резиновую смесь изготавливали на смесительных вальцах ЛБ 320 $\frac{160}{160}$ при температуре валков (30-40)⁰С.

Для получения заготовок каландрованного резинового полотна заданной толщины разработана и отработана технология его изготовления на 5-валковом каландре 5-200-600Л (табл. 2).

Таблица 2 Технические характеристики каландра 5-200-600Л

Наименование параметра	Номинальная величина
Диаметр валков, мм	200
Длина валков, мм	600
Количество валков, шт.	5
Наибольший зазор между валками, мм	10
Окружная скорость 5-го валка, м/мин	
а) минимальная	5,42
б) максимальная	16,5
Наименьшая частота вращения 3-го валка (приводного), об/мин	8,474
Наименьшая окружная скорость 3-го валка, м/мин	5,33

В табл. 3 представлены данные по качеству каландрованного полотна резиновой смеси при различных температурах каландрования.

После серии экспериментов и анализа полученных результатов установлено, что увеличение температуры валков с 50 до 85⁰С и скорости каландрования в пределах от 3 до 5 м/мин возможно, получить ровное,

без пузырей, пор и трещин полотно, пригодное для дальнейших технологических операций (раскройки, сборки изделия по элементам) и формования внутреннего теплозащитного покрытия.

Разработанный режим каландрования позволяет получать резиновую смесь толщиной от 0,5 до 2 мм [6].

Таблица 3 – Показатели качества поверхности каландрованного полотна, полученного при различных режимах каландрования

№ п/п	Температура валков каландра, ⁰ С				Скорость каландрования, м/мин	Качество поверхности полотна
	Верхний №2	Средний №3	Нижний №4	Выносной №5		
1	55	50	55	50	3	Неровности, шубление, пузыри, поры, калибр переменный
2	65	60	65	60	4	Неровности, пузыри, поры, калибр переменный
3	75	70	75	70	5	Поверхность неоднородная, пузыри, калибр переменный
4	85	80	90	85	5	Поверхность ровная, без пузырей и пор, калибр постоянный

Выводы

В результате научно-исследовательской работы проведен анализ компонентов и ингредиентов, которые обеспечивают свойства и основные функции внутреннего теплозащитного покрытия корпуса ракетного двигателя твердого топлива. Создан рецептурный состав каландрованной резиновой смеси, отработана технология ее изготовления и каландрования. Разработанная каландрованная резиновая смесь рекомендована для применения в качестве внутреннего теплозащитного покрытия перспективных ракетных двигателей твердого топлива разработки ГП «КБ «Южное» им. М.К. Янгеля.

Библиографические ссылки

1. Ф. П. Санин, Л. Д. Кучма, Е. А. Джур, А. Ф. Санин. Твердотопливные ракетные двигатели. Материалы и технологии: учеб. пособие. Днепропетровск: Изд-во Днепропетр. ун-та, 1999. 320 с.
2. L. V. Keller, S. A. Allinikov, A. Olevitch, S. S. Schwartz. Space rigidized resin fiberglass sandwich materials. Journal of Spacecraft and Rockets. Vol. 3. Issue 4, 2006. pp. 513 – 518.
3. К. В. Козис, Т. А. Манько, А. М. Потапов, И. А. Гусарова. Теплофизические характеристики резины марки 1001 для внутреннего теплозащитного покрытия ракетных твердотопливных двигателей. Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. Аэрокосм. Ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». Вып. 1 (85). 2016. С. 94-100.
4. Ю. Б. Дубинкер, А. А. Донской. Эластомерные теплозащитные

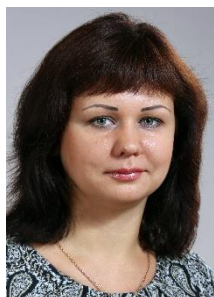
материалы. Обзор Всерос. Ин-т авиац. Материалов. М., 1969. 320 с.

5. Козис К. В. Приоритетные вопросы импортозамещения при разработке внутреннего теплозащитного покрытия корпусов ракетных твердотопливных двигателей: сб. тез. докл. IV-й Всеукраинский форум студентов, аспирантов и молодых ученых (Днепр, 27-28 апр. 2017 г.). Днепр, 2017. С. 237.
6. Т. А. Манько, К. В. Козис, А. М. Потапов, А. И. Скоков, С. П. Лавриненко. Разработка эластомерного материала для внутреннего теплозащитного покрытия ракетного двигателя твердого топлива. Механика гироскопических систем: сб. науч. тр. Киевского политехнического института. Вып.4. 2017. С.68-75.

Надійшла до редколегії 25.02.19



Манько Тамара Антоновна, Україна. Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара. Професор кафедри технології виробництва, доктор технічних наук. Сфера інтересів – композиційні і теплозахисні матеріали.



Козис Кристина Вікторівна, Україна. Государственное підприємство «Конструкторське бюро «Южне» ім. М.К. Янгеля. Ведучий інженер, кандидат технічних наук. Сфера інтересів – композиційні і теплозахисні матеріали РКТ.