
doi: <https://doi.org/10.15407/knit2017.05.049>

УДК 629.762.2:678.074

М. С. Хорольский

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, Днепро, Украина

О ВЛИЯНИИ РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ ЭЛАСТОМЕРОВ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ НА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ЭКОНОМИКИ И ОБЩЕСТВА

Приведены данные об использовании технологий производства некоторых изделий из различных материалов на основе эластомеров, преимущественно резинотехнических изделий, для объектов ракетно-космической техники и их составных частей, которые стали источником создания новых конструкций объектов и технологий их производства в других отраслях экономики, например в метро-, мосто- та машиностроении.

Ключевые слова: эластомеры, эластомерные материалы, резина, резинотехнические изделия, уплотнитель, ракетно-космическая техника, эластичный опорный шарнир, резиноармированная опорная часть.

В настоящее время почти невозможно найти транспортное средство для перевозки пассажиров и грузов, в котором не использовались бы эластомерные материалы и изделия на их основе, включая резинотехнические изделия (РТИ). Они выполняют различные функции, и классификация их довольно обширная. РТИ используются для герметизации различных рабочих сред в подвижных и неподвижных соединениях, амортизации и смягчения толчков и ударов объектов при их транспортировании, электро-, гидро-, звуко- и виброизоляции, транспортировании материалов и грузов в открытом и закрытом пространстве, мягкой передачи силовых нагрузок и многих других целей.

Очень много РТИ в устройствах различного назначения используется в объектах ракетно-космической техники и их составных частях (РКТСЧ), которые, являясь комплектуемыми изделиями, относятся в основном к изделиям первой катего-

рии [5]. То есть, если в процессе эксплуатации объекта устройство с РТИ теряет работоспособность, гибнет объект по вине такого устройства, как правило, с тяжелыми последствиями.

Учитывая, что эластомерные материалы, в частности резины, с течением времени в определенных условиях вследствие старения [1–3] сравнительно быстро теряют свои основные технические характеристики, то для объектов РКТСЧ очень тщательно отрабатывается рецептура резин и исследуются их технические характеристики в условиях, близких к эксплуатационным. При получении удовлетворительных данных по резине проводятся аналогичные исследования изделия из данной марки резины на различных этапах испытаний. При положительных результатах испытаний РТИ на определенном этапе оно допускается для испытаний последующего этапа. При отрицательных — на основе дефектации, исследований и анализа устанавливаются причины

© М. С. ХОРОЛЬСКИЙ, 2017

отрицательных — результатов и разрабатываются мероприятия по их устранению, включая, при необходимости, разработку или выбор нового материала, конструкции устройства с РТИ, либо того и другого. Процесс этот довольно сложный и трудоемкий, но он неизбежен, потому что от всех комплектующих изделий для объектов РКТСЧ требуется высокая надежность и заданная долговечность.

Если до начала 1970-х гг. на РТИ для объектов РКТСЧ устанавливались гарантийные сроки хранения и эксплуатации до пяти лет, к началу 1980-х гг. — до 10 лет, к началу XXI века — до 15—18 лет, то в настоящее время на основе проведенных разработок и обширных исследований для большинства РТИ могут быть установлены гарантийные сроки хранения и эксплуатации 28—30 лет и более. Очевидно, что если применить новые перспективные эластомерные материалы и исключить или значительно ограничить источники старения резин, можно добиться значительного увеличения гарантийных сроков сохранения резинами своих высоких технических характеристик.

Следует отметить, что РТИ самостоятельного применения не имеют, а обеспечивают работоспособность узлов и агрегатов, находясь в конкретных условиях эксплуатации и подвергаясь допустимому напряженно-деформированному состоянию. Поэтому при разработке РТИ необходимо комплексно учитывать все воздействующие факторы: конструктивные, эксплуатационные, технологические, складские, внешние, включая климатические, и человеческий. Именно такой подход используется в настоящее время при разработке РТИ для объектов РКТСЧ. Благодаря такому подходу за все годы космической эры ни в бывшем Союзе, ни в независимой Украине не было случаев аварийных ситуаций объектов ракетно-космической техники по вине РТИ.

В результате накопленного опыта по созданию РТИ для объектов РКТСЧ многие конверсионные технологии по инициативе автора стали источником создания новых конструкций и технологий в объектах других отраслей экономики.

Так, благодаря созданным новым резинам для РТИ, комплектующих объекты РКТСЧ, автором

были предложены резины вместо свинца для изготовления уплотнителей, обеспечивающих герметизацию обделки из чугунных тубингов при строительстве метрополитена. И хотя на первом этапе у метростроителей были некоторые сомнения в возможности применения резины вместо свинца, после аргументированных доводов было получено согласие на применение резины.

До 1990-х гг. строительство метрополитенов в бывшем Союзе и в Украине осуществлялось из чугунных тубингов, скрепленных между собой болтовыми соединениями. Соединение чугунных тубингов ведется в статических условиях с определенным напряжением. Их герметизация осуществлялась с помощью свинцовых уплотнителей. Но при пуске тоннеля метро в эксплуатацию в результате динамического воздействия пассажирского состава стык частично раскрывался, и между чугунными тубингами образовывался зазор, что приводило к разгерметизации. Свинец пластичный материал, и уплотнитель из него не может восполнить образовавшийся зазор. В отличие от свинца резина является высокоэластичным упругим материалом, поэтому уплотнитель из резины за счет упругой деформации может в определенных пределах восполнить образовавшийся зазор между чугунными тубингами.

Кроме того, пара чугун-свинец в отличие от резины в процессе эксплуатации тоннелей метрополитена подвергается электрохимической коррозии под воздействием электромагнитного поля, что приводит к разрушению уплотнительных поверхностей чугунного тубинга и свинцового уплотнителя. Поэтому для уплотнителей из резины необходимо выбирать такой эластомер, резины на основе которого будут стойкими в условиях воздействия кислых или щелочных водных растворов и других эксплуатационных факторов. При соответствующей защите резиновых уплотнителей от старения воздействующих на них факторов такое уплотнительное устройство может надежно обеспечивать заданную работоспособность при условии создания на уплотнительных поверхностях достаточных контактных напряжений с учетом релаксационных процессов в резине.

Целесообразно отметить еще одно очень важное преимущество резины как конструкционного

материала. По сравнению со свинцовым резиновый уплотнитель имеет значительно меньшую жесткость, поэтому обделку тоннелей метрополитена можно изготавливать из более дешевых железобетонных блоков вместо чугунных туннингов. При этом монтаж резиновых уплотнителей в виде рамок на железобетонные блоки значительно упрощается, так как он осуществляется не в тоннеле, а на поверхности. В тоннель железобетонный блок опускается уже с установленным в посадочное место резиновым уплотнителем, что ускоряет монтаж. В смонтированном состоянии резиновые уплотнители смежных блоков соприкасаются между собой в состоянии заданного напряженно-деформированного состояния, как это показано на рис. 1, обеспечивая необходимую герметичность соединения.

Для обеспечения заданной деформации размеры резинового уплотнителя A_1 и B_1 и посадочного места A'_1 и B'_1 при минимально возможном зазоре S подбираются таким образом, чтобы с учетом точности монтажа (поля допусков) величина деформации сжатия находилась в пределах 18–45 %, а максимальная площадь сечения уплотнителя всегда была меньше минимальной площади сечения посадочного места. В этом случае грунтовые воды давлением P не смогут просочиться через посадочное место. С целью улучшения монтажа и исключения повреждения уплотнителя посадочное место в железобетонном блоке выполнено в виде периметральной канавки, боковые грани которых имеют наклон под определенным углом, как это показано на рис. 1.

Впервые в Украине резиновые уплотнители были применены при строительстве в Киеве наклонного хода станции метро «Печерська», введенной в эксплуатацию в декабре 1997 г. На последующих станциях метро «Дорогожичі», «Житомирська», «Академмістечко», «Сирецька» резиновые уплотнители используются для герметизации железобетонных блоков при прокладке как тоннелей, так и самих станций, обеспечивая необходимую работоспособность.

А вот еще один пример. С целью снижения массы твердотопливной ракеты и повышения энергетической эффективности ее двигательной

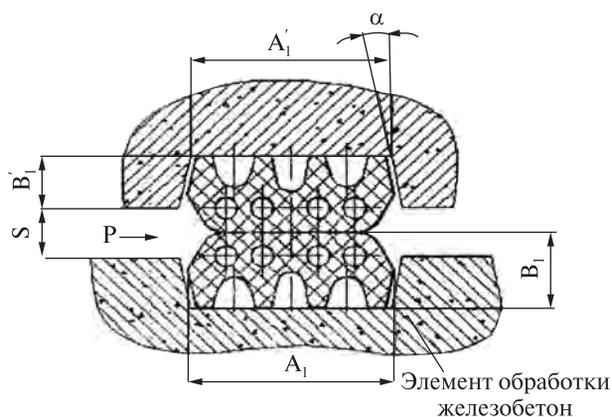


Рис. 1. Схема герметизации железобетонных блоков резиновыми уплотнителями



Рис. 2. Эластичный опорный шарнир для поворотного сопла

установки под руководством автора и с его участием был разработан многослойный резинометаллический эластичный опорный шарнир (см. рис. 2) для обеспечения поворота сопла двигательной установки, обеспечивая тем самым управление ракетой в процессе полета. Это одно из самых сложных и наукоемких резинотехнических изделий известных в мировой практике изделие прошло все необходимые стадии отработки и было применено на твердотопливной ракете 15Ж60 [4], за которое автор этой статьи был удостоен Государственной премии.

Эффективность указанной конструкции и технологии производства заключались в комплексном подходе на всех стадиях отработки, о чем упоминалось ранее. С помощью указанного эластичного опорного шарнира были достигнуты за-



Рис. 3. Натурные образцы резиноармированных опорных частей



Рис. 4. Место установки резиноармированной опорной части

данные характеристики поворота сопла за счет сдвига одного слоя резины относительно другого. Отсюда следует, что резина должна быть достаточно эластичной и иметь высокую прочность связи резины с металлом. Именно эти свойства резины были заимствованы для создания нового типа опорных частей при строительстве мостов.

Проанализировав некоторые особенности обеспечения работоспособности металлических опорных частей моста и их взаимодействие с пролетными строениями, автором была предложена технология обустройства опорных частей мостовых сооружений с применением многослойных резиноармированных опорных частей (РАОЧ) взамен металлических, в которых в качестве армирующих элементов могут применяться тонкослойные плоские металлические пластины (см. рис. 3). Впервые в Украине РАОЧ были применены в 2000 г. при строительстве мостов в Киеве.

Преимущества РАОЧ по сравнению с металлическими очевидны:

1) резина, обладая гистерезисными свойствами, обеспечивает поглощение и рассеивание энергии колебаний, защищая опоры моста от вибрации,

2) РАОЧ благодаря своим характеристикам обеспечивает компенсацию температурно-силовых деформаций при значительно меньших силовых воздействиях без скольжения по опорным поверхностям пролета за счет послойного сдвига резины,

3) РАОЧ обеспечивает компенсацию погрешностей геометрических параметров пролета (в частности коробление), которые с увеличением его габаритов возрастают,

4) РАОЧ может быть изготовлена любых размеров и конструкций (прямоугольные, круглые, составные), которые зависят от нагрузки и конструктивных особенностей пролета. Чем больше длина пролета, тем больше высота РАОЧ, что связано с необходимостью обеспечения компенсации температурно-силовых деформаций пролета за счет деформации сдвига резины без ее разрушения. Возрастание вертикальной нагрузки требует увеличения площади РАОЧ,

5) для обеспечения длительной эксплуатации РАОЧ (не менее 25 лет до замены) вертикальная нагрузка для автодорожных мостов должна быть не более 20 МПа, для железнодорожных — не более 15 МПа,

6) при эксплуатации моста замена РАОЧ, которая не представляет особых сложностей, осуществляется не ранее чем через 25 лет при капитальном ремонте. За время эксплуатации моста просадка РАОЧ составляет не более 3 мм при условии, что для соответствующих условий эксплуатации выбрана резина с высокими техническими характеристиками, а пролет моста правильно смонтирован. Один из вариантов монтажа показан на рис. 4.

В тоже время следует отметить, что надежная работоспособность РАОЧ возможна лишь при качественном изготовлении, соблюдая все требования при выборе резины, конструкции, армирующих элементов и правильности их подготовки, обеспечении технологического процесса изготовления и обработки, также правильной установки в посадочное место. Прочность связи резины с металлом должна быть не менее 4 МПа.

Владельцем и разработчиком нормативной документации под руководством и с участием автора является Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский конструкторско-технологический институт эластомерных материалов и изделий» (ГП УНИКТИ ДИНТЭМ, г. Днепро, ул. Б. Кротова 24а).

С применением РАОЧ, изготовленных ГП УНИКТИ ДИНТЭМ, построены и реконструированы многие автодорожные и железнодорожные мостовые сооружения в различных городах и других регионах Украины, а также национальный стадион «Олимпийский» в Киеве.

Следует обратить внимание на то, что применение РАОЧ позволяет обеспечивать сейсмостойчивость крупных зданий и сооружений путем создания на основе РАОЧ различных амортизационных и виброизоляционных систем.

На основе изделий из резины возможно создавать шумопоглощающие и виброамортизационные системы с одновременным выполнением функций по передаче крутящего момента для транспортных средств. С использованием конверсионных технологий разработаны и внедрены в производство резинометаллические вставки для трамваев Т-3 и КТМ-5, а также крупногабаритные высоконагруженные сайлент-блоки для железнодорожных тележек вагонов, которые показали высокую работоспособность как в Украине, так и за рубежом.

ВЫВОДЫ

В работе показано, как некоторые уникальные разработки изделий на основе эластомерных материалов для объектов ракетно-космической техники и их составных частей послужили источником создания новых конструкций объектов и технологий их производства в интересах других отраслей экономики, решая важнейшие социально-экономические и научно-технические задачи в интересах всего общества.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Большой справочник резинщика. Ч. 1. Каучуки и ингредиенты* / Под ред. С. В. Резниченко, Ю. Л. Морозова. — М.: ООО «Изд. центр «Техинформ» МАИ», 2012. — 744 с.; ил.

2. *Лепетов В. А., Юрцев Л. Н.* Расчеты и конструирование резиновых изделий и технологической оснастки: Учеб. пособ. -4-е изд., перераб. и доп. / Под редакцией Л. Н. Юрцева. — М.: Изд-во «ИСТЕК», 2009. — 420 с.
3. *Овчаров В. И., Бурмистр М. В., Смирнов А. Г. и др.* Свойства резиновых смесей и резин: оценка, регулирование, стабилизация. Науч. Изд. / Под общ. ред. В. И. Овчарова. — М.: ИД «САНТ-ТМ», 2001. — 400 с.
4. *Уткин. Звезды Генерального конструктора* / Под ред. А. В. Дегтярева. — Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2013. — 672 с.
5. *Хорольский М. С.* ДП «УНДКТИ «ДИНТЕМ» — 40 років. Науково-технічні розробки для багатьох галузей економіки // Еластомери: Матеріали, технологія, оброблення, изделия: Матер. 6-й Укр. междунар. научно-техн. конф. — Днепропетровск, 25—29 сентября 2006 г. — С. 19—26.

Стаття надійшла до редакції 21.09.17

REFERENCES

1. *Bol'shoy spravochnik rezinshchika. Ch. 1 Kauchuki i ingredienty* / Pod red. S. V. Reznichenko, Yu. L. Morozova, 744 p. (ООО "Izdatel'skiy tsentr "Tekhinform" MAI", M., 2012). A great reference book of the rubberizer. Part 1: Rubbers and Ingredients / Eds S. V. Reznichenko, Yu. L. Morozova — M.: ООО Publishing Center "Tekhinform "MAI", 744 p. (2012) [in Russian].
2. *Lepetov V. A., Yurtsev L. N.* (2009) Raschety i konstruirovaniye rezinovykh izdeliy i tekhnologicheskoy osnastki: [Calculations and design of rubber products and technological equipment]: Proc. manual for high schools.— 4 th ed. / Ed. by L. N. Yurtseva. Pererab. and additional, 420 p. (ISTEK Publishing House, M., 2009) [in Russian].
3. *Ovcharov V. I., Burmistr M. V. Smirnov A. G., Tyutin V. A., Verbas V. V., Naumenko A. P.* Svoystva rezinovykh smesey i rezin: otsenka, regulirovaniye, stabilizatsiya [Properties of rubber compounds and rubbers: evaluation, regulation, stabilization] / Pod obshch. red. V. I. Ovcharova, 400 s. (Izd. Dom «SANT-TM», M., 2001) [in Russian].
4. *Utkin. Zvezdy General'nogo konstruktora* / Pod obshchey redaktsiyey A.V. Degtyareva. — [Utkin. Stars of the General Designer]. Under the general editorship of A. V. Degtyareva, 672 p. (ART-PRESS, Dnipropetrovsk: 2013) [in Russian].
5. *Khorolskiy M. S.* DP "UNDKTI "DINTEM" — 40 rokov. Naukovo-tekhnichni rozrobky dlya bahat'okh haluzey ekonomiky. SE "URDTI" DINTEM" — 40 years. Scientific and technical developments for many branches of economy. Elastomery: Materialy, tekhnologiya, obroblovaniye, izdeliya» Materialy 6-y Ukrainskoy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii-Dnepropetrovsk, 25—29 sentyabrya 2006g. Elastomers: Materials, techno-

logy, equipment, products »Materials of the 6th Ukrainian International Scientific and Technical Conference (pp 19-26)-Dnipropetrovsk, September 25—29, 2006[In Ukrainian].

Received 21.09.17

М. С. Хорольський

Дніпровський національний університет
імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

ПРО ВПЛИВ РОЗРОБОК У ГАЛУЗІ ЕЛАСТОМЕРІВ
ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ
НА СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗВИТОК
ЕКОНОМІКИ І СУСПІЛЬСТВА

Наведено дані щодо використання технологій виробництва деяких виробів із різних матеріалів на основі еластомерів, переважно гумотехнічних виробів, для об'єктів ракетно-космічної техніки і їхніх складових частин, що стали джерелом створення нових конструкцій об'єктів і технологій їхнього виробництва в інших галузях економіки, наприклад у метро-, мосто- та машинобудуванні.

Ключові слова: еластомери, еластомерні матеріали, гума, гумотехнічні вироби, ущільнювач, ракетно-космічна техніка, еластичний опорний шарнір, гумоармована опорна частина.

М. S. Khorolskyi

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

IMPACT OF MANUFACTURING OF ELASTOMERS
FOR OBJECTS OF ROCKET AND SPACE
TECHNOLOGY ON THE DEVELOPMENT OF
ECONOMICS AND SOCIETY

The article deals with the technologies for manufacturing the products from elastomeric materials, mostly rubber technical products, for rocket and space vehicles and their components. We describe that they form the basis for new designs and technologies in other industries, for instance, metro and bridge engineering and machine building.

Keywords: elastomers, elastomeric materials, rubber, rubber products, sealant, rocket and space technology, elastic joint hinge, reinforced rubber bearing parts.