

## Producing Import-Substitute Sealing Components from Composite Elastomers and Polymers

### Производство импортозамещающих уплотнительных изделий из композиционных эластомеров и полимеров

Ivan Pyatov, Svetlana Tikhonova, Larissa Vorobyova, Alexei Salimon, Vadim Lunyov, Larissa Fomichyova; REAM-RTI  
Иван Пятов, Светлана Тихонова, Лариса Воробьева, Алексей Салимон, Вадим Лунев, Лариса Фомичева, ООО «РЕАМ-РТИ»

The intensified production of hydrocarbons at depths exceeding 1,500 m, temperatures above 150 °C, high gas and water content, active sand production and in the presence of aggressive chemical agents creates special requirements both for equipment design and for material selection.

Units and components containing polymers are a weak point in oil and gas equipment. More than anything this concerns cable lines and elastomer seals on units of the submersible electric pump motor (ESP) and its seal section. This problem is an issue for all oil and gas equipment manufacturers including large, well known, American companies.

Another problem that causes trouble for oil producers is sedimentation on the movable operating elements of centrifugal pump stages. Pump stages can be made of composite polymer materials,

Интенсифицированная добыча углеводородного сырья с глубин, превышающих 1 500 м, при температурах свыше 150 °С, высоком газовом факторе, обводненности, активном пескопроявлении и наличии агрессивных химических воздействий предъявляет особые требования не только к конструкции оборудования, но и к применяемым в нем материалам.

Слабым местом нефтегазового оборудования (НГО) являются узлы и компоненты, содержащие полимеры. Прежде всего, это относится к кабельным линиям компонентов и эластомерным уплотнениям узлов погружного электрического двигателя и его гидрозащиты. Данная проблема актуальна для всех, включая ряд ведущих Американских производителей нефтепромышленного оборудования.

Еще одна проблема, доставляющая неприятности нефтедобывающим компаниям, – это отложения на рабочих органах центробежных насосов. Ставка здесь делается на композиционные полимерные материалы, однако температурные ограничения традиционных для России полимеров на основе полиамидов препятствуют более широкому использованию новейших материалов.

Вместе с тем, ведущие мировые производители НГО имеют в своем арсенале рабочие органы из композиционных полимеров на основе PPS (полифениленсульфида) и PEEK (полиэфирэфиркетона). Их используют в проблемных скважинах, где добыча осложняется активными отложениями солей и парафинов на рабочих органах. Допускаемая длительная температура при эксплуатации рабочих органов из композиционных полимеров может достигать 290 °С.



● Fig. 1. Internal cracks in the O-ring.

● Рис. 1. Внутренние повреждения в резиновом уплотнительном кольце круглого сечения.

PHOTO: REAM-RTI • ФОТО: РЕАМ-РТИ

though temperature restrictions pertaining to the polyamide-based polymers typically used in Russia hinder wider use of the newest materials.

Leading world oil and gas equipment manufacturers also use pump stages made of composite polymers based on PPS (Polyphenylene Sulfide) and PEEK (Polyether Ether Ketone). These components are used in problem wells where production is complicated by the intensive sedimentation of salts and paraffins on pump stages. Composite polymer elements can endure operating temperatures of up to 290 °C for long periods of time.

### Elastomers for Oil and Gas Equipment

To date, polymer chemistry proposes a wide spectrum of materials which are actively used by Western producers of components for oil and gas equipment manufactures. These materials include both inexpensive rubbers based on nitrile rubbers (internationally known as NBR), which are used for making seals on equipment designed for easy operational conditions,

### Эластомеры для НГО

На сегодняшний день химия полимеров предлагает широкий спектр материалов, которые активно используются западными производителями комплектующих для НГО. К ним относятся и недорогие резины на основе нитрильных каучуков (международное обозначение NBR) для производства уплотнений, используемых на оборудовании, предназначенном для легких условий эксплуатации, и композиционные материалы типа фторэластомера Karlez фирмы Du Pont, обеспечивающие изделиям повышенную химическую и температурную стойкость.

Что касается России, с сожалением можно признать, что существующие технические нормы – стандарты, ОСТы и т.д., по изделиям из эластомеров устарели, и их соблюдение ведет к производству «законного брака». Однако, действующий закон о техническом регулировании не стимулирует разработку новых технических норм.

and Karlez fluoroelastomer composite materials by DuPont, which ensure higher chemical and temperature resistance.

In Russia, the existing technical regulations (standards, branch standards, etc.) for elastomer products have become obsolete. Observation of these standards leads to the manufacture of “legalized defective products”. Nor do prevailing regulations stimulate the development of new technical norms.

Given the situation, REAM-RTI engineers have collected information on special requirements for elastomer and composite polymeric products. While taking into account complicated operating conditions, they have tried to meet these requirements.

Long-term cooperation with Centrilift has enabled REAM-RTI specialists to conduct extended tests of products in compliance with the standards accepted in the United States, and has helped them acquire experience in areas such as the manufacture and export of protector bladders and other items for submersible centrifugal pumps. On the basis of this experience, REAM-RTI specialists conclude that it is necessary to take into account the specific conditions under which elastomeric components of oil and gas equipment are used.

Thus, to externally similar elastomer items functioning as seals on oil and gas equipment, various requirements will be added as to heat and cold resistance, resistance to various media, explosive decompression, abrasion and wear resistance, and on physical and mechanical properties (for example, to relative elongation at break).

One important requirement for elastomers used in manufacturing components for oil and gas equipment is resistance under conditions involving a rapid drop in high pressure (explosive decompression). This is related to the fact that all elastomers – by their physical-chemical nature – are gas-permeable and can absorb gases on active ingredient surfaces and in some cases contain ingredients able to “boil” under explosive decompression.

In cases when (due to low gas-permeability) the gas diffusion velocity is not sufficient for free escape of gases expanding under a drop in pressure, bubbles (caverns) form inside elastomers unstable to explosive decompression. These caverns collapse after gas escape. Most susceptible to this “illness”, are elastomers with high relative elongations at break. Disintegration shows itself externally as porosity, fractures, material stratification and even complete disintegration of the sealing material.

В сложившейся ситуации инженеры «РЕАМ-РТИ» собирали информацию о специальных требованиях к эластомерным и композиционным полимерным изделиям, учитывающим осложненные условия эксплуатации, и стремились следовать этим требованиям.

Длительное сотрудничество с компанией Centrilift позволило специалистам «РЕАМ-РТИ» провести продолжительные испытания изделий в соответствии с принятыми в США стандартами и приобрести опыт в таких областях, как производство и экспорт диафрагм гидрозащиты, а также других изделий для погружных центробежных насосов. На основании полученного опыта были сделаны выводы о необходимости учета требований конкретных условий применения эластомерного изделия в узле НГО.

Таким образом, к внешне одинаковым эластомерным изделиям, выполняющим функции уплотнителей в нефтегазовом оборудовании, предъявляются различные требования по теплостойкости, морозостойкости, стойкости в различных средах, «кессонной стойкости», абразивной и износостойкости, а также физико-механическим свойствам (например, к относительному удлинению при разрыве).

Одним из важных требований, предъявляемых к эластомерам, используемым в производстве комплектующих для НГО, является обеспечение их стойкости в условиях быстрого сброса высокого давления (взрывной декомпрессии), то есть так называемая «кессонная» стойкость.

Это связано с тем, что все эластомеры по своей физико-химической природе газопроницаемы, обладают способностью адсорбировать газы на активных поверхностях ингредиентов и, в некоторых случаях, содержат ингредиенты, способные «вскипать» при взрывной декомпрессии.

В тех случаях, когда из-за низкой газопроницаемости скорость диффузии газа недостаточна для свободного выхода расширяющихся при сбросе давления газов, внутри нестойкого к взрывной декомпрессии эластомера, образуются пузырьки (каверны), которые схлопываются после выхода газа. Наиболее подвержены этой «болезни» эластомеры с высокими относительными удлинениями при разрыве. Внешне нарушение целостности проявляется пористостью, трещинами, расслоением материала и даже полным разрушением материала уплотнения.

На рис. 1 представлено изображение внутренних повреждений в резиновом уплотнительном кольце круглого сечения, подвергнутого кессонному воздействию. Кольцо выполнено из эластомера, не обладающего кессонной стойкостью. Повреждения от кессонного воздействия имеют вид внутренних расслоений, поверхностных пузырьков-бlistеров. Хорошая газовая проницаемость (по CO<sub>2</sub>) и



PHOTO: REAM-RTI • ФОТО: РЕАМ-РТИ

- Fig. 2a. Blisters caused by ED in the sample of Therban-based rubber compound.
- Рис. 2а. Пузыри, вызванные ВД, в резиновой смеси на основе Therban®.

**Table 1. Recommended Use of Rubber Compounds According to Heat Resistance Groups**  
**Табл. 1. Использование резиновых смесей в соответствии с группой теплостойкости**

Group # № группы	Maximum temperature conditions for operation Максимальные температурные условия эксплуатации	Recommended rubber compounds Рекомендуемые резиновые смеси
I.	Up to +140 C До +140°C	Oil-resistant, based on special nitrile-butadiene rubbers NBR Маслостойкие, на основе специальных бутадиен-нитрильных каучуков
II.	Up to +180 C До +180°C	Heat-resistant, based on hydrogenated nitrile-butadiene rubbers HSN Теплостойкие, на основе гидрированных бутадиен-нитрильных каучуков
III.	Up to +215 C До +215°C	Special heat-resistant, based on fluoroelastomers TFEP Специальные теплостойкие, на основе фторэластомеров

SOURCE: REAM-RTI • ИСТОЧНИК: РЕАМ-РТИ

Oil & Gas EURASIA  
Нефть и Газ Евразия

Fig. 1 shows internal damage in a rubber O-ring which has undergone explosive decompression effect. The ring is made of an elastomer which is not resistant to explosive decompression. Damage caused by explosive decompression looks like internal stratification and surface bubbles (blisters). Fig. 2a shows blisters on the seal bag surface. Good gas permeability (to CO<sub>2</sub>) and high modulus (hardness) are key properties which make elastomers resistant to explosive decompression.

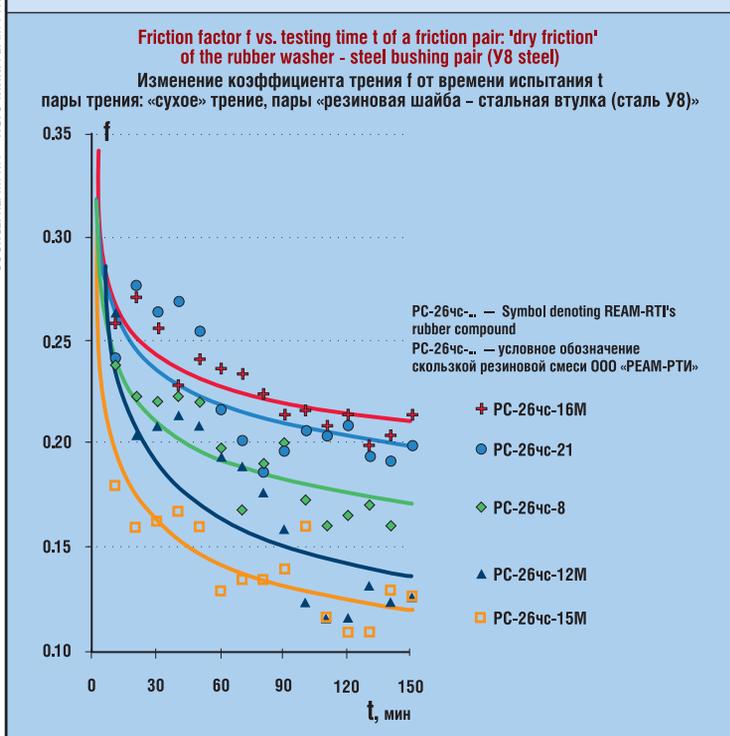
It should be noted that resistance to explosive decompression on one and the same base elastomer may be different. Figs. 2a and 2b show the results of explosive decompression testing on two formulas based on the hydrogenated nitrile-butadiene rubber Therban®. Apparently, disintegration takes place in one case and in the other case the sample retains its functional properties and dimensions.

When operating under high heat load and hydrogen sulphide presence, use of a rubber seal bag made of rubber based on sulfur cure leads to hardening and loss of the rubber's functional properties. Use of rubbers based on peroxide vulcanization does not resolve this problem in full, though it significantly increases the overhaul period. Taking into account explosive decompression and hydrogen sulphide resistance requirements, REAM-RTI specialists have developed and are using RS-peroxide vulcanized 26ch grade nitrile-butadiene rubber (group I heat-resistance requirements), Tr-10 grade hydrogenated nitrile-butadiene rubber (group II requirements), and Af-15 based on Aflas® fluoroelastomer (group III requirements) (see Table 1).

Stimulation of oil production results in increased heat loads in the submersible electric motor and necessitates the use of synthetic oils. By-products of thermal oil destruction – being active radicals – cause the washout or extraction of some ingredients, such as plasticizing agents, from some inexpensive elastomers. If, however, elastomeric compression plays an essential role in the unit and the elastomer material can considerably improve the product's functional properties, then elastomer cost ceases to be the criterion of determining significance.

Aflas® fluoroelastomer, being a copolymer of tetrafluoroethylene and propylene, is one such material. This elastomer, developed by Asahi Glass Co, Ltd. (Japan) – as well as the new generation of

● Fig. 3. The friction factor of free friction rubbers versus time.  
● Рис. 3. График коэффициента трения скользких резин во времени.



● Fig. 2b. A Therban-based rubber compound resistant to ED. After testing this sample retained its functional properties and dimensions.  
● Рис. 2б. Резиновая смесь на основе Therban® стойкая к ВД. После испытаний данный образец сохранил функциональные свойства и размеры.

высокий модуль (твердость) являются ключевыми свойствами эластомеров, обеспечивающих их кессонную стойкость.

При этом, необходимо отметить, что стойкость к взрывной декомпрессии на одном и том же базовом эластомере может быть различной. На рис. 2а и 2б приводятся результаты испытаний взрывной декомпрессией двух рецептов, созданных на гидрированном бутадиен-нитрильном каучуке Therban® – в одном случае имеет место разрушение испытуемого образца, во втором случае образец сохраняет функциональные свойства и размеры.

Использование резиновой диафрагмы, изготовленной из резины на основе серной вулканизации, при работе с повышенной тепловой нагрузкой и наличии сероводорода приводит к отверждению резины и потере ее функциональных свойств. Применение резин на основе перекисной вулканизации не решает данную проблему в полной мере, но все же значительно повышает МРП. Учитывая требования по кессонной стойкости и стойкости к сероводороду, специалисты «РЕАМ-РТИ» разработали и используют для применения в НГО бутадиен-нитрильную резину перекисной вулканизации марки РС-26ч, которая, в основном, отвечает требованиям I группы теплостойкости, гидрированную бутадиен-нитрильную резину TP-10 под II группу теплостойкости, и АФ-15, на основе фторэластомера Aflas®, под III группу теплостойкости (см. табл. 1).

Интенсификация добычи нефти приводит к повышенным тепловым нагрузкам в ПЭД и необходимости применять синтетические масла. Продукты термической деструкции масла, будучи активными радикалами, вызывают вымывание или экстракцию из относительно недорогих эластомеров некоторых ингредиентов, например, пластифицирующих добавок. Однако, если эластомерное уплотнение играет существенную роль в узле, а материал эластомера способен значительно улучшить функциональные свойства изделия, то в этом случае стоимость эластомера перестает быть критерием, имеющим определяющее значение.

К таким материалам относится фторэластомер Aflas® – сополимер тетрафторэтилена и пропилена. Данный эластомер, разработанный компанией Asahi Glass Co, Ltd. (Япония), а также новое поколение фторэластомеров Viton Extrim компании DuPont, отвечают современным требованиям для применения в сложных условиях эксплуатации нефтегазового, химического и другого оборудования и являются экономичным решением в классе фторэластомеров.

Проводя работы по освоению производства деталей из данных материалов, специалисты «РЕАМ-РТИ» столкну-

PHOTO: REAM-RTI • ФОТО: РЕАМ-РТИ

Viton Extrim fluoroelastomers by DuPont – meet current requirements for use in the harsh conditions under which oil and gas and chemical equipment is operated and are an economical solution for fluoroelastomers.

Carrying out production development work on components made of these materials, REAM-RTI experts faced serious problems related to the materials' low manufacturability and design complexity. For this reason, European seal manufacturers refused to make components from Aflas® fluoroelastomer. REAM-RTI engineers' creative approach to solving this problem, however, means the gradual elimination of technical complexities connected to the use of this material. Since 2004, a significant number of Aflas® fluoroelastomer components have been produced, in particular O-rings, face seal bellows and seals for cable headers. Some types of seal bags are also produced in short runs.

At the initiative of NOVOMET-PERM, REAM-RTI experts carried out research which lead to the development of materials new to the CIS – composite abrasion-resistant elastomers (with dry friction factors less than 0.3) – which can survive in dry-friction conditions. Elastomer composites with low dry-friction factors have perspective applications as journal bearings, sealing components for movable joints, screw pump stator facings (holders), packer condensation, mud pump seals, etc.

Tests (carried out at NOVOMET-PERM) on ESP-unit impeller support washers made of wear-resistant free friction rubbers, showed the superiority of these elastomer composites over traditional materials such as textolite, novolon and carbonit. The tests revealed reduced deterioration not only of the support washer, but also of the guide collar against which the washer rubs. Fig. 3 and Fig. 4 show, respectively, the friction factor of free friction rubbers across time and the change in deterioration of friction pairs in which textolite, novolon and free friction rubber produced by REAM-RTI were used as materials for the support washer (data are presented with the permission of NOVOMET-PERM).

Use of support washers made from free friction rubbers may play a significant role in increasing the durability of equipment used with formation fluid of increased abrasive content and may reduce power usage by ESPs in oil production. Free friction rubbers resolve both the problem of dry friction and the issue of starting moment reduction, which is very applicable for screw pairs on screw pumps and downhole motors.

Given strict requirements for units and aggregates in which elastomeric products are used – such as a detailed description of the application media, temperatures, gas-oil factor, and installation specifications (design, assembly, operating regulations) – it is technically possible to develop the required materials. Issues of elastomeric product design and placement, however, need to be considered at the same time as required materials are developed, i.e. at the initial stages of the design effort. 🔴

(To be continued in #09/2005)

лись с серьезными проблемами, связанными с их низкой технологичностью и сложностью формования деталей. Как оказалось, по этой причине европейские изготовители уплотнений отказались от производства деталей из фторэластомера Aflas®. Однако, творческий подход технологов компании к решению данной проблемы позволяет говорить о постепенном устранении технологических сложностей, связанных с использованием этого материала, и уже с 2004 года уже налажено производство значительного количества деталей из фторэластомера Aflas®, в частности, уплотнительных колец, сильфонов торцевых уплотнений, уплотнений для кабельных разъемов. Небольшими партиями изготавливаются некоторые виды диафрагм гидрозащиты.

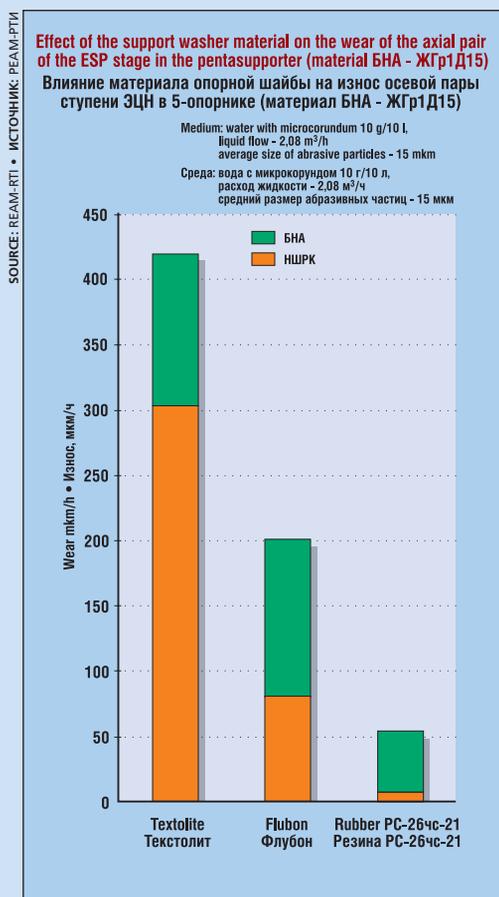
По инициативе компании «НОВОМЕТ-ПЕРМЬ» специалистами «РЕАМ-РТИ» проводились исследования, завершившиеся разработкой новых для СНГ материалов – композиционных абразивостойких эластомеров (с коэффициентом сухого трения менее 0,3), сохраняющих работоспособность в условиях сухого трения. Эластомерные композиты, обладающие низким коэффициентом сухого трения, перспективны для применения в качестве подшипников скольжения, уплотнительных деталей подвижных соединений, обкладок статоров (обойм) винтовых насосов, пакерных уплотнений, уплотнений буровых насосов и другого оборудования.

Проведенные в ОАО «НОВОМЕТ-ПЕРМЬ» испытания опорных шайб рабочих колес УЭЦН из износостойких «скользящих» резин показали превосходство данных эластомерных композитов над традиционными материалами, такими как текстолит, новолон и карбонит. В результате испытаний опорных шайб из «скользящих» резин выявлено снижение износа не только опорной шайбы, но и ответной части пары трения – бурта направляющего аппарата. На рис. 3 и 4 представлены, соответственно, график коэффициента трения «скользящих» резин во времени и изменение износа пары трения, в которой в качестве материала опорной шайбы применялся текстолит, новолон и «скользящая» резина производства «РЕАМ-РТИ» (данные приводятся с разрешения ОАО «НОВОМЕТ-ПЕРМЬ»).

Применение опорных шайб из «скользящих» резин может сыграть существенную роль в решении проблемы надежности оборудования в условиях повышенного содержания абразива в пластовой жидкости, а также в снижении энергозатрат насосами УЭЦН на добычу нефти. С помощью «скользящих» резин решаются не только проблемы сухого трения, но и вопрос снижения пускового момента, что весьма актуально для винтовых пар винтовых насосов и забойных двигателей.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что при наличии обоснованно жестких требований к узлам и агрегатам, в которых применяются эластомерные изделия, а именно – достаточно подробном описании сред применения, температур, газового фактора, особенностей установки изделия (конструкция, монтажные, технологические регламенты), создание нужного материала технически возможно. Однако, при этом необходимо рассматривать вопросы конструкции эластомерных изделий и мест их установки одновременно с разработкой необходимого материала, то есть на начальных этапах конструкторских работ. 🔵

(Продолжение в № 09/2005)



● Fig. 4. Change of wear of the friction pair.

● Рис. 4. Изменение износа пары трения.