

И.М. Вертячих, И.И. Сутормы, В.И. Жукалов, В.М. Станкевич
(Гомельский филиал Университета гражданской защиты МЧС Беларуси;
e-mail: vim47@tut.by)

АКТИВНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БАЛЛОНОВ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ СО СЖАТЫМ ВОЗДУХОМ

Анализируется способ получения композиционного материала для изготовления баллонов дыхательных аппаратов со сжатым воздухом, используемых спасателями-пожарными.

Ключевые слова: дыхательный аппарат со сжатым воздухом.

I.M. Vertyachikh, I.I. Sutorma, V.I. Zhukalov, V.M. Stankevich **ACTIVE COMPOSITE MATERIAL TO CREATE CYLINDERS OF BREATHING APPARATUS WITH COMPRESSED AIR**

It analyses the method of producing a composite material to create cylinders of breathing apparatus with compressed air used by rescuers-firemen.

Key words: breathing apparatus with compressed air.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 27 февраля 2017 г.

Обеспечение защиты органов дыхания спасателей-пожарных невозможно без применения надёжных и эргономичных средств индивидуальной защиты органов дыхания, в том числе дыхательных аппаратов со сжатым воздухом.

Под влиянием психологических и физиологических факторов работа спасателя-пожарного в непригодной для дыхания среде сопряжена с более интенсивной деятельностью органов дыхания и организма в целом. Вполне естественно, что в этом случае расход воздуха из баллонов дыхательного аппарата значительно возрастает, что приводит к уменьшению времени его защитного действия [1]. Необходимость увеличения времени пребывания спасателей-пожарных в непригодной для дыхания среде предполагает увеличение запаса воздуха в баллонах за счет оснащения дыхательных аппаратов баллонами большей емкости и меньшего веса.

По конструкции принято выделять 4 типа баллонов для изолирующих противогазов (рис. 1):

1. Цельнометаллические баллоны.
2. Металлические баллоны с кольцевой обмоткой стекловолокном, в которых металлическая часть и обмотка разделяют нагрузку между собой.
3. Баллоны с силовой оболочкой из полимерного композита и тонкого металлического лайнера, изготовленного из низколегированной (или нержавеющей) стали. Основную нагрузку несёт композитная оболочка, представляющая собой полимерный композит на основе термореактивного связующего

и арамидных, углеродных или стеклянных нитей. В качестве полимерной матрицы используют отверждённые эпоксидные, полиэфирные и некоторые другие термореактивные смолы [2, 3].

4. Полнокомпозитный баллон, лейнер которого выполнен из полимерного термопластичного материала. Наружный упрочняющий слой также представляет собой полимерный композит на основе термореактивного связующего и арамидных, углеродных или стеклянных нитей. Основную нагрузку также несёт композитная оболочка.

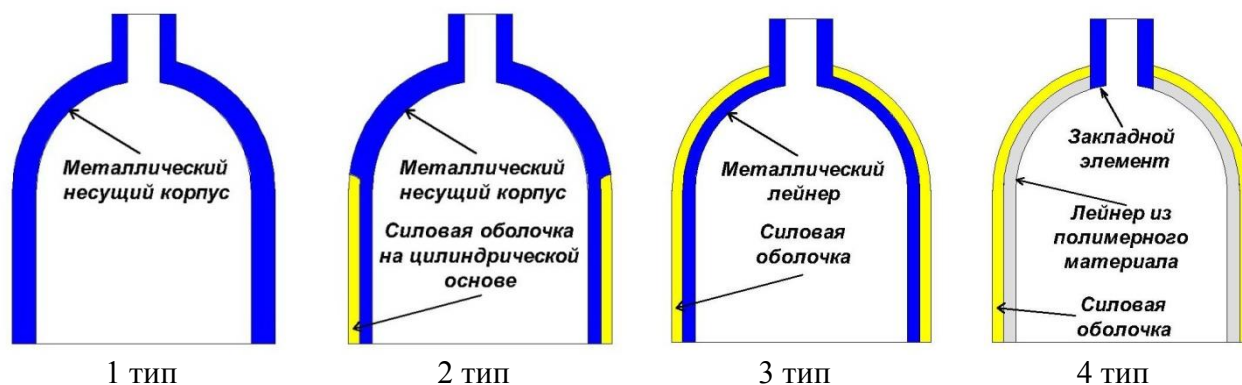


Рис. 1. Типы баллонов для изолирующих противогазов

В настоящее время разработаны и поступают на вооружение дыхательные аппараты, укомплектованные баллонами 4 типа – полнокомпозитными. Основными элементами баллонов данного типа являются: бесшовный полимерный лейнер, силовая оболочка из композиционного полимерного материала, армированного нитями из стеклянных, синтетических или углеродных волокон с высокой прочностью и средним уровнем модуля упругости, металлический закладной элемент для крепления вентиля.

Имея значительно меньший, даже в сравнении с металлокомпозитными баллонами, вес, полнокомпозитные баллоны обеспечивают чрезвычайно высокую стойкость к внешним воздействиям. Такие баллоны не подвержены коррозии, выдерживают падение с двухметровой высоты на бетонное покрытие и в значительно меньшей степени подвержены прогреву при воздействии лучистого тепла [3].

Создание лёгких и надёжных баллонов для дыхательных аппаратов пожарных-спасателей во многом зависит от вида и типа композитного усиления, основой которого являются намоточные материалы (волокна, ровинги, жгуты). Армирующими материалами наружной силовой оболочки металлокомпозитных и полнокомпозитных баллонов чаще являются высокопрочные стеклянные, углеродные, органические, борные волокна в виде моноволокон, нитей, проволок, жгутов, сеток, тканей и др. В качестве матрицы используются отверждённые эпоксидные, полиэфирные и некоторые другие термореактивные смолы [2, 3].

Эксплуатационная практика металлокомпозитных и полнокompозитных баллонов показала, что для изготовления силовой оболочки баллонов наиболее целесообразно использовать органо- или углепластики. Органопластики имеют наименьшую плотность (300 кг/м^3), что важно для снижения массы, у них высокие удельные физико-механические характеристики. Органопластики на основе высокопрочных арамидных волокон обладают высокими удельными прочностными характеристиками, ударной вязкостью, электрическим сопротивлением, химической стойкостью, высокими теплоизоляционными свойствами.

Одним из основных направлений повышения эргономических показателей дыхательных аппаратов является снижение веса баллонов. При этом стоит задача обеспечить возможность прохождения сертификации дыхательного аппарата с двумя баллонами. Вес снаряженного аппарата (по нормативам Российской Федерации – НПБ 165-2001 "Техника пожарная. Дыхательные аппараты со сжатым воздухом для пожарных. Общие технические требования. Методы испытаний") не должен превышать 16 кг, в Беларуси в соответствии с СТБ 11.14.03-2008 "Система стандартов пожарной безопасности. Средства индивидуальной защиты пожарных. Аппараты дыхательные со сжатым воздухом. Общие технические требования и методы испытаний" – не более 18 кг. Для двухбаллонного дыхательного аппарата при ёмкости баллонов более 6 л, заполненных воздухом, это условие трудновыполнимо.

Повысить эффект (снижение веса в сочетании с высокими прочностными характеристиками) от применения полимерных материалов в различных технических средствах и материалах можно путём их активирования – формирования в них заряда электрета. Электреты – это диэлектрики, длительное время находящиеся в наэлектризованном состоянии после снятия внешнего воздействия, вызвавшего электризацию [5]. Активные полимерные материалы – электреты создают в окружающем пространстве электрические поля или генерируют в определённых условиях электрический ток, вследствие чего происходит модифицирование надмолекулярной структуры полимеров. В результате такого модифицирования повышаются физико-механические характеристики материала, в том числе адгезия между полимерной матрицей и наполнителем [6].

Методы электрической поляризации позволяют сформировать в полимере заряд электрета различными способами. Авторами был использован метод термообработки полимерной прослойки между короткозамкнутыми электродами из разнородных металлов [7, 8]. В принципе данный способ можно реализовать на любой стадии изготовления изделий.

Применяя этот способ, в Гомельском филиале Университета гражданской защиты МЧС Беларуси разработан активный полимерный композиционный материал. В основу разработки положены физико-химические процессы, протекающие при нагревании полимера между электрически замкнутыми обкладками из разнородных металлов – М1 – М2, в частности, способности полимерных материалов приобретать устойчивый объёмный электрический заряд

(станови'тся электретом), приводящий к увеличению прочности полимерных композитов. Используя эту способность, одну часть наполнителя (высокопрочные углеродные, стекло- или органо-волоконные), путём напыления в вакууме покрывают металлом М1, другую часть – металлом М2, имеющими разные стандартные электродные потенциалы (E^0). В процессе формирования композиционного материала, при совмещении наполнителя со связующим, материал приобретает заряд электрета. Обусловленная данным процессом поляризация полимерного связующего приводит к повышению адгезионной прочности на границе полимерного связующего и наполнителя и к повышению прочности полимерного композита в целом [6].

Эксперименты проводили на образцах из листовых материалов, полученных методом прессования, в которых применяли в качестве компаундов термопластичное связующее полиамид (ПА) марки П-66 (ОСТ 6-06-369-74), терморезистивные связующие – лак бакелитовый (ЛБ) ЛБС-20 (ГОСТ 901-78) и эпоксидную смолу (ЭС) марки ЭД-20 (ГОСТ 10587-84). В качестве наполнителей использовали ткани на основе нитей из волокон "Арселон" (АН), стеклянных нитей (СН) и лавсановых нитей (ЛН). Пары из разнородных металлов М1 – М2 состояли: Cu – Al ($\Delta E^0 = 2 \text{ В}$); Pb – Al ($\Delta E^0 = 1,53 \text{ В}$); Cu – Pb ($\Delta E^0 = 0,4 \text{ В}$).

Контрольные образцы были получены аналогичным способом, за исключением применения металлов Cu – Al в виде фольги толщиной 75 мкм.

Из полученных листов вырезали образцы для определения соответственно разрушающих напряжений при растяжении (σ_p), изгибе ($\sigma_{из}$) и ударной вязкости (a). Испытания проводили с применением разрывной машины Instron 5567 при скорости нагружения 50 кгс/с и маятникового копра.

Приведём примеры получения композиционных материалов указанным выше способом.

Пример 1. Методом прессования получали листы из композиционного материала на основе ПА и наполнителя тканей из СН, АН и ЛН. На наполнитель методом напыления в вакууме наносили покрытия из разнородных металлов: с одной стороны покрытие из металла М1, с другой стороны – из металла М2. Подготовленный таким образом наполнитель помещали в пресс-форму вертикальной литьевой машины, затем под давлением 100 МПа подавали в пресс-форму расплав термопластичного компаунда – ПА. Пресс-форму выдерживали в закрытом состоянии в течение 40-60 с до затвердения материала. В течение этого времени в цепи "покрытие М1 – расплав – покрытие М2 – стенки пресс-формы" протекает ток поляризации, обусловленный разностью стандартных электродных потенциалов ΔE^0 и ионной проводимостью расплава. Полученные пределы прочности при растяжении образцов композиционного материала на основе полиамида марки П-66 указаны на рис. 2.

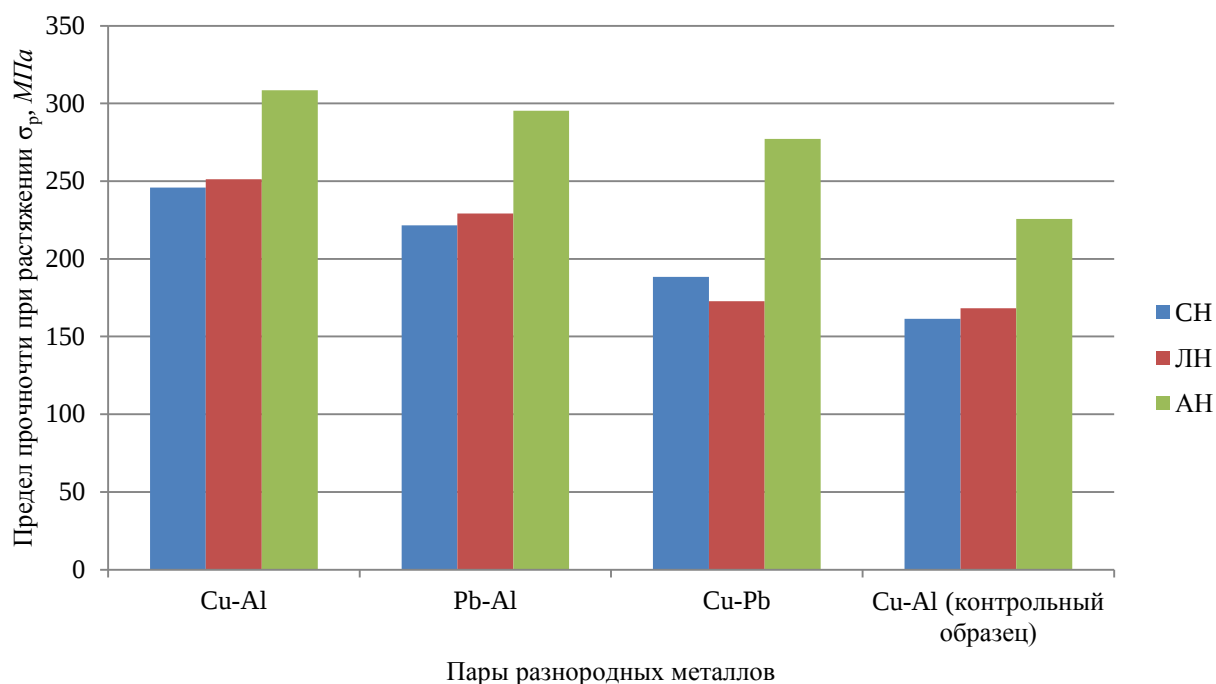


Рис. 2. Пределы прочности при растяжении образцов композиционного материала на основе полиамида (ПА)

Пример 2. Методом прессования получали листы композиционного материала на основе ЛБ и наполнителя тканей из СН, АН и ЛН. На наполнитель методом напыления в вакууме наносили покрытия из разнородных металлов: с одной стороны покрытие из металла М1, с другой стороны – из металла М2. Подготовленный таким образом наполнитель пропитывали ЛБ и получали препрег путем сушки в термостате при температуре 60 °С в течение 2 часов. Листы получали методом прямого прессования давлением 30-40 МПа, при температуре 150 °С, предварительно прогрев материал до температуры 120 °С в течение 5 мин. В течение этого времени в цепи "покрытие М1 – расплав – покрытие М2 – стенки пресс-формы" протекает ток поляризации, обусловленный разностью стандартных электродных потенциалов ΔE^0 и ионной проводимостью препрега. Пределы прочности при растяжении образцов композиционного материала на основе лака бакелитового марки ЛБС-20 указаны на рис. 3.

Пример 3. Методом прессования получали листы композиционного материала на основе ЭС и наполнителя тканей из СН, АН и ЛН. На наполнитель методом напыления в вакууме наносили покрытия из разнородных металлов: с одной стороны покрытие из металла М1, с другой стороны – из металла М2. Подготовленный таким образом наполнитель пропитывали полимерным компаундом на основе ЭС. Полученный препрег отверждали в течение 1 часа в прессе при температуре 160 °С при давлении 1,5 МПа. В течение этого времени в цепи "покрытие М1 – расплав – покрытие М2 – стенки пресс-формы" протекает ток поляризации, обусловленный разностью стандартных электродных потенциалов ΔE^0 и ионной проводимостью препрега. На рис. 4 указаны пределы прочности при растяжении образцов композиционного материала на основе эпоксидной смолы марки ЭД-20.

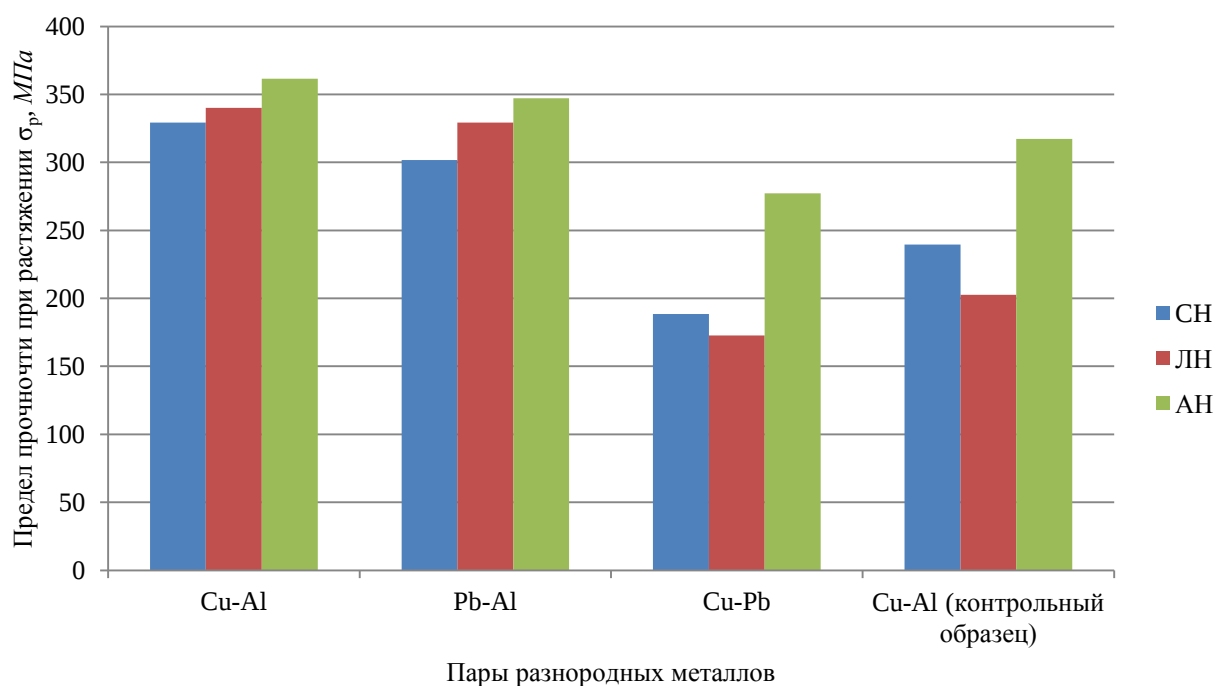


Рис. 3. Пределы прочности при растяжении образцов композиционного материала на основе лака бакелитового (ЛБ)

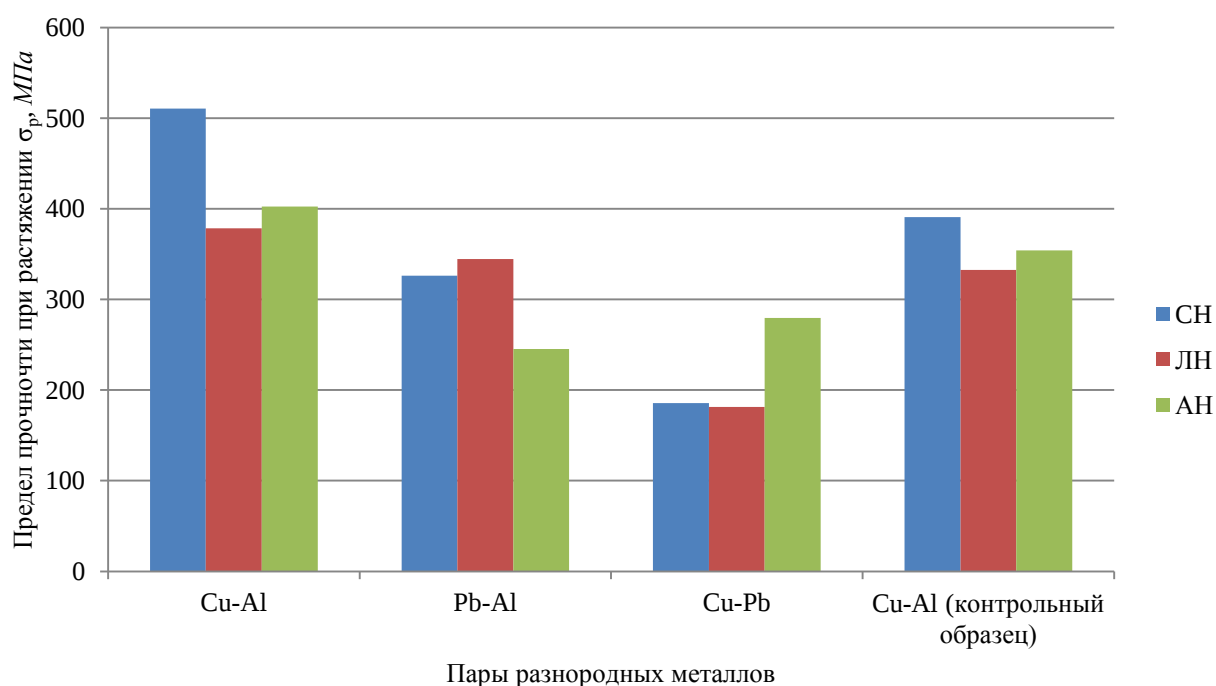


Рис. 4. Пределы прочности при растяжении образцов композиционного материала на основе эпоксидной смолы (ЭС)

Наибольшую разность стандартных электродных потенциалов $\Delta E^0 = 2 \text{ В}$ имеет пара Cu – Al. Выбор данной пары разнородных металлов основывается на том, что использование других пар разнородных металлов с более высокой ΔE^0 связано с применением таких благородных металлов, как серебро, золото, платина и др.

Как видно из приведённых на рис. 2-4 диаграмм, образцы полимерных композиционных материалов, положенных в основу разработки, обладают более высокими прочностными характеристиками, чем контрольные образцы. Основным недостатком получения контрольных образцов являлась сложная схема компоновки материала и практически невозможность применять данный способ при получении композитов с волокнистыми или тканевыми наполнителями, так как металлические листы становятся лишними в составе полимерных композитов.

Следуя анализу расчётов [4], что именно свойства силовой оболочки, в первую очередь, влияют на прочность баллона в целом, можно сделать вывод, что применяя более прочные материалы для создания силовой оболочки композитного баллона можно снизить его вес за счёт уменьшения количества намоточного материала при сохранении требуемых прочностных свойств.

Таким образом, разработанный в Гомельском филиале Университета гражданской защиты МЧС Беларуси метод получения полимерного композиционного материала после незначительной доработки технологии позволит применять его для изготовления металлокомпозитных и полнокомпозитных баллонов, используемых в средствах защиты органов дыхания спасателей-пожарных. Предложенная разработка найдет применение для получения конструкционных полимерных материалов с целью повышения их физико-механических характеристик.

Литература

1. О поисково-спасательных работах звена газодымозащитной службы / Коршунов И. В., Смагин А. В., Панков Ю. И., Андреев Д. В. // Технологии техносферной безопасности. Вып. 4 (68). 2016. С. 82-88. <http://academygps.ru/ttb>.
2. Осадчий Я. Г., Трошин В. П. Новые направления совершенствования металлокомпозитных баллонов высокого давления // Пожарная безопасность в строительстве. 2009. № 5. С. 62-65.
3. Теленков А. М. Защита дыхания: комфорт или время // Противопожарные и аварийно-спасательные средства. 2006. № 4.
4. Трошин В. П. Расчёт на прочность баллонов давления с использованием трёхмерных соотношений теории упругости // Пожарная безопасность в строительстве. 2009. № 4. С. 62-65.
5. Луцкейкин Г. А. Полимерные электреты. М.: Химия, 1984. 184 с.
6. Вертячих И. М. Разработка полимерных композиционных машиностроительных материалов с электретными компонентами: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Гомель, 1990.
7. Прочность полимерных композитов, сформированных в контакте с металлами / Белый В. А., Вертячих И. М., Пинчук Л. С. и др.. ДАН СССР, 1984. Т. 275. № 3. С. 639-641.
8. Гольдаде В. А., Пинчук Л. С. Электретные пластмассы: физика и материаловедение. Мн.: Наука и техника, 1987. 231 с.

References

1. O poiskovo-spasatel'nyh rabotah zvena gazodymozashhitnoj sluzhby (About search and rescue works carried out by gas and smoke protection service unit) / Korshunov I. V., Smagin A. V., Pankov Ju. I., Andreev D. V. // *Tehnologii tehnosfernoj bezopasnosti*. Vyp. 4 (68). 2016. Pp. 82-88. <http://academygps.ru/ttb>.
2. Osadchij Ja. G., Troshin V. P. Novye napravlenija sovershenstvovaniya metal-lokompozitnyh ballonov vysokogo davlenija (New directions of perfection of the metal-composite high-pressure cylinders) // *Pozharnaja bezopasnost' v stroitel'stve*. 2009. № 5. Pp. 62-65.
3. Telenkov A. M. Zashhita dyhanija: komfort ili vremja (Respiratory protection: comfort or time) // *Protivopozharnye i avarijno-spasatel'nye sredstva*. 2006. № 4.
4. Troshin V. P. Raschjot na prochnost' ballonov davlenija s ispol'zovaniem trjohmernih sootnoshenij teorii uprugosti (Strength calculation of pressure cylinders using three-dimensional equations of the theory of elasticity) // *Pozharnaja bezopasnost' v stroitel'stve*. 2009. № 4. Pp. 62-65.
5. Lushhejkin G. A. Polimernye jelektrety (Polymer electrets). M.: Himija, 1984. 184 p.
6. Vertjachih I. M. Razrabotka polimernyh kompozicionnyh mashinostroitel'nyh materialov s jelektretnymi komponentami (The strength of polymer composites formed in contact with metals): avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk. Gomel', 1990.
7. Prochnost' polimernyh kompozitov, sformirovannyh v kontakte s metallami (The strength of polymer composites formed in contact with metals) / Belyj V. A., Vertjachih I. M., Pinchuk L. S. i dr.. DAN SSSR, 1984. T. 275. № 3. Pp. 639-641.
8. Gol'dade V. A., Pinchuk L. S. Jelektretnye plastmassy: fizika i materialovedenie (Electret plastics: physics and materials science). Mn.: Nauka i tehnika, 1987. 231 p.