УДК 66.02
DOI: 10.17277/vestnik.2026.03.pp.516-524

БЛОК ХИМИЧЕСКОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ ВОЗДУХА

© Р. В. Дорохов[1] ✉, Ю. А. Ферапонтов[1], М. Ю. Плотников[1]

[1] *АО «Росхимзащита», ohinht@krhz.ru; Тамбов, Российская Федерация*

Ключевые слова: время защитного действия; надпероксид калия; регенеративный патрон; регенеративный продукт; системы жизнеобеспечения.

Аннотация: Разработаны опытные образцы блока химической регенерации воздуха для систем коллективной защиты от поражающих факторов химической природы и проведены их испытания. Использование нового регенеративного продукта и пленки из фторопласта Ф-4МБ в качестве конструкционного материала позволило снизить в 2-3 раза массогабаритные характеристики изделия по сравнению с существующими аппаратами.

Введение

В современных условиях при техногенных авариях с выбросом химических веществ, неблагоприятно воздействующих на организм человека, одной из основных причин смерти является отравление диоксидом углерода или газами, выделяющимися при горении различных материалов [1]. В условиях, когда невозможно или нецелесообразно использование средств индивидуальной защиты, применяются системы коллективной защиты, рассчитанные на обеспечение безопасности значительного количества людей. Данные системы предназначены для восстановления состава воздуха по кислороду и диоксиду углерода в закрытых помещениях за счет химической регенерации воздуха. Эти средства могут быть разделены на две группы, принципиально отличающиеся друг от друга: системы с применением сжатого кислорода и системы с использованием кислорода, получаемого при протекании химических реакций [2 – 17].

В системах жизнеобеспечения (**СЖО**) на сжатом кислороде процесс обогащения воздуха осуществляется с использованием баллонов, а удаление диоксида углерода – с помощью поглотителей, в качестве которых могут быть использованы твердые сорбенты (молекулярные сита и активированный уголь), гидроксиды щелочных и щелочноземельных металлов, жидкие амины и др.

Системы второй группы могут быть разделены по методу получения кислорода: с использованием твердых источников кислорода на основе хлоратов и перхлоратов щелочных металлов [5 – 7] и с использованием регенеративных продуктов (**РП**) на основе перекисных соединений щелочных металлов и щелочноземельных металлов. По таким важным для регенеративных продуктов свойствам, как стехиометрическая емкость по диоксиду углерода и кислороду, стабильность при температурах, близких к температуре окружающей среды, в ряду перекисных соединений предпочтительное положение занимают надпероксиды натрия и калия. Использование данных химических соединений позволяет минимизировать массогабаритные параметры изделий [8, 9].

Основной задачей при разработке системы химической регенерации воздуха для коллективных средств защиты является поддержание в закрытом помещении

требуемых концентраций кислорода и диоксида углерода. Это решается путем создания оптимальных условий работы регенеративного продукта, обеспечивающих его эффективное использование. При этом, как и для индивидуальных средств защиты органов дыхания человека, в коллективных средствах защиты более полная отработка регенеративного продукта достигается за счет улучшения условий взаимодействия регенерируемого воздуха с РП.

Выпускаемые на сегодняшний день коллективные средства защиты на основе регенеративных продуктов как отечественного, так и зарубежного производства обладают рядом недостатков, среди которых – спекание гранул регенеративного продукта (что ухудшает регенерацию воздуха), повышенные массогабаритные характеристики. Кроме этого, необходимо реализовать различные режимы работы устройств в условиях наличия и отсутствия электроэнергии (при отключении электроэнергии необходима установка ручного пневмонасоса, отключение и демонтаж вентилятора, что усложняет работу изделия).

Для преодоления указанных недостатков предпринята попытка создания блока регенерации воздуха на основе регенеративного продукта РПК-П [8, 10 – 12, 14, 15] с использованием полимерных материалов, который отличался бы автономностью работы с одновременным упрощением эксплуатации устройства за счет замены рабочих и аварийного режимов работы одним универсальным. Одновременно решалась задача повышения комфортности дыхания за счет снижения возможности «закислороживания» регенерируемой атмосферы в закрытом помещении и удобства применения путем уменьшения массогабаритных характеристик устройства. Последнее особенно актуально для коллективных систем жизнеобеспечения в условиях ограниченного объема (например, кабины космических кораблей, аппаратов для глубоководных погружений и др.).

Экспериментальная часть

Для устранения указанных выше недостатков разработан блок химической регенерации воздуха (**БХРВ**), предназначенный для создания и поддержания пригодной для дыхания атмосферы в герметичных объектах коллективной защиты, отвечающий ряду требований:

– время приведения БХРВ в действие должно быть не более 5 мин;

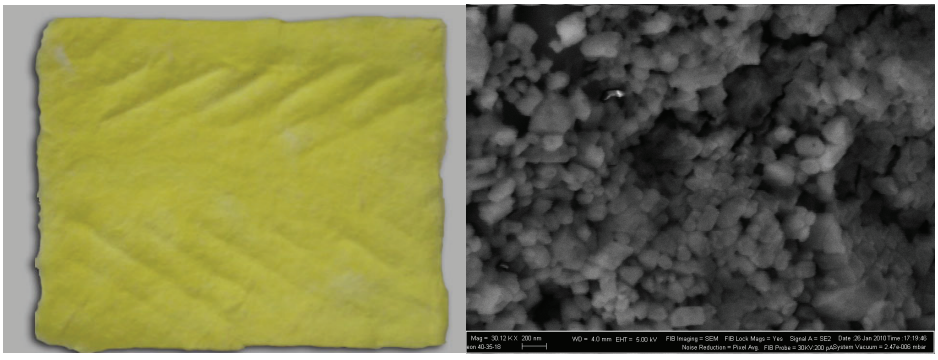
– в процессе работы не должно быть выделения токсичных веществ;

– масса блока должна быть не более 4,5 кг.

В качестве регенеративного продукта в БХРВ использовался регенеративный продукт РПК-П, получаемый по технологии, представленной в работах [8, 10 – 12, 14, 15]. РПК-П представляет собой пластину, в которой наноразмерные кристаллы надпероксида калия «закреплены» на поверхности и в порах пористой матрицы из стекловолокна таким образом, что продукт имеет максимально развернутую поверхность, доступную (практически к каждому кристаллу надпероксида калия) к взаимодействию с парами воды и диоксидом углерода (рис. 1).

Использование данного РП позволяет полностью устранить эффект слипания гранул и обеспечить кинетику взаимодействия с водяным паром и диоксидом углерода, позволяющую проводить регенерацию воздуха в частично конвективном режиме. При использовании продукта РПК-П в БХРВ степень его отработки по CO_2 и кислороду достигает почти 95 % от стехиометрии.

Также были предприняты попытки кардинального изменения конструкции изделия и использования материалов, стойких к повышенным температурам и химически инертных к регенеративному продукту. В качестве таких материалов применены фторопластовая пленка Ф-4 МБ толщиной 50 мкм и полипропилен, что позволило отказаться от применения в изделии металла как конструкционного материала и привело к снижению массогабаритных характеристик.



а) *б*)

в)

Рис. 1. Регенеративный продукт РПК:
а – внешний вид пластины регенеративного продукта; *б* – общий вид платины регенеративного продукта под электронным сканирующим микроскопом (ЭСМ); *в* – нанокристаллы надпероксида калия на стекловолокне (съемка ЭСМ)

Блок химической регенерации воздуха предназначен для создания и поддержания объемной доли кислорода от 19 до 23 %, объемной доли диоксида углерода не более 1 % в герметичных объектах коллективной защиты. Время защитного действия составляет 5 ч при условиях в герметичном объекте:

– температура воздуха (20 ± 5) ^{o}C;
– относительная влажность воздуха (85 ± 10) %;
– потребление кислорода 28 дм^3/ч в расчете на одного человека;
– выделение диоксида углерода в количестве 25 дм^3/ч на одного человека;
– свободный объем не менее 6 м^3 на одного человека;
– количество людей, защищаемых одним БХРВ – 4 человека.

Схематичное изображение БХРВ приведено на рис. 2. Блок химической регенерации воздуха содержит оболочку *1*, силовые ленты *2*, пластины регенеративные *3*, элементы крепления *4* и узел стыковочный *5*. Оболочка представляет собой патрон, выполненный из фторопластовой пленки Ф-4 МБ и разделенный посредством сварного шва П-образной формы на два рукава. Внутри каждого рукава с помощью элементов крепления, соединенных с оболочкой, установлены силовые ленты, которые выполнены из фторопластовой пленки Ф-4 МБ и поперечными сварными швами разделены на ячейки, где установлены пластины регенеративные. Силовые ленты попарно в верхней части закреплены на полипропиленовых пластинах, имеющих отверстия для закрепления на гибких элементах между фиксаторами. Элемент крепления содержит боковые пластины с гнездами для крепления блока регенерации на стойке. Боковые пластины соединены между собой гибкими элементами, содержащими фиксаторы рабочего положения для дистанционирования регенеративных пластин. В нижней части патрона установлен узел стыковочный для соединения блока регенерации с побудителем расхода воздуха.

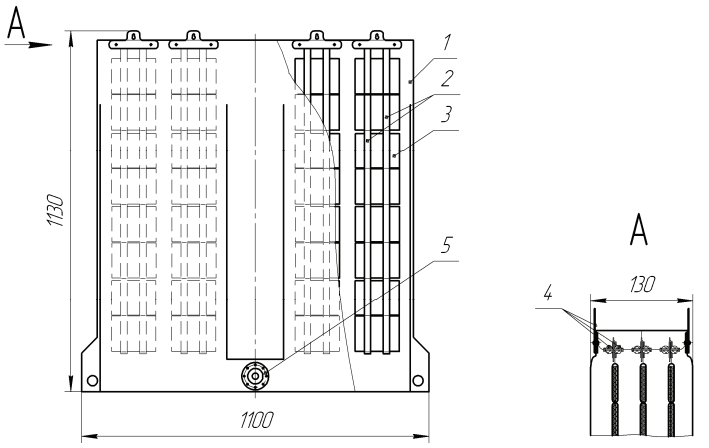


Рис. 2. Схема блока химической регенерации воздуха

а) *б*)

Рис. 3. Блок химической регенерации воздуха:
а – размещение на стойке; *б* – упаковка

Блок химической регенерации воздуха отвечает принципу модульности, то есть на стойке с вентилятором размещается блок регенерации, который после отработки заменяется новым (рис. 3). В качестве побудителя расхода регенерируемого воздуха через БХРВ выступает вентилятор, который может быть как электрическим, так и механическим, подключаемый к БХРВ через узел стыковки, позволяющий использовать различные типы вентиляторов при условии создания требуемого расхода. Блок регенерации обладает рядом преимуществ в отношении применяемых в настоящее время средств регенерации воздуха:

– меньшие массогабаритные характеристики;

– мобильность блока: возможно развертывание в рабочее положение в любом свободном месте при наличии электрической сети;

– малое время приведения в рабочее положение;

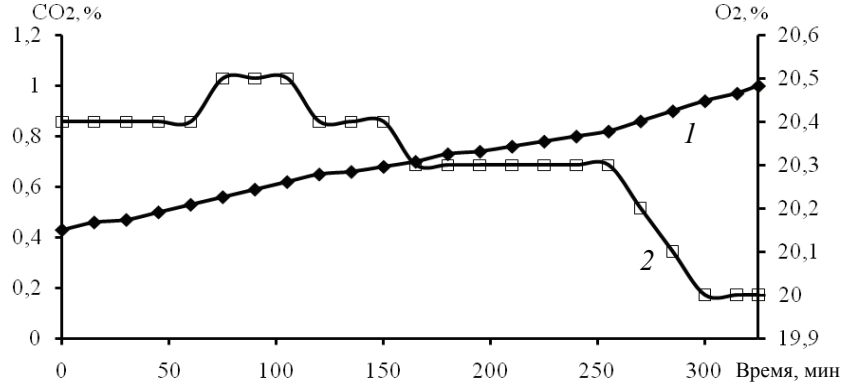
– простота обслуживания: не требуются дополнительные навыки персонала или укрываемых людей;

– использование электрических сетей общего назначения.

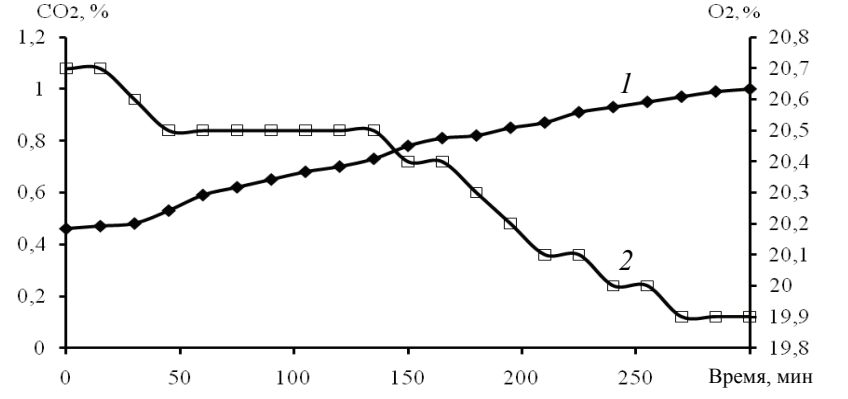
Таблица 1

Условия испытаний блока химической регенерации воздуха

Параметр	Номер опыта	
	1	2
Начальная концентрация CO_2, %	0,4	
Объемный расход, $дм^3/ч$:		
кислорода O_2	112	
диоксида углерода CO_2	100	
Принудительная вентиляция, $м^3/ч$	20	
Температура, °С	20 ± 1	6 ± 1
Влажность, %	85 ± 10	
Объем камеры, $дм^3$	24000	
Масса регенеративного продукта, кг	3650,56	3628,28
Время защитного действия, ч	5	
Количество укрываемых людей, чел.	4	



а)



б)

Рис. 4. Зависимости концентрации диоксида углерода (*1*) и кислорода (*2*) от времени:
а – опыт № 1, *б* – опыт № 2

Объектами, где возможно применение блока химической регенерации воздуха, являются:

– герметичные убежища гражданской обороны;

– пункты управления;

– убежища, находящиеся в частном владении;

– герметичные отсеки транспортных средств.

Испытания блока химической регенерации проводили при различных температурно-влажностных режимах. Условия испытаний приведены в табл. 1. Результаты испытаний приведены на рис. 4.

Заключение

На основании экспериментальных данных сделан вывод, что блок химической регенерации воздуха на основе регенеративного продукта РПК-П с использованием полимерных материалов обладает следующими преимуществами:

– использование в качестве конструкционного материала пленки из фторопласта Ф-4МБ в 2-3 раза позволило снизить массогабаритные характеристики изделия по сравнению с существующими аппаратами, повысив при этом удобство при хранении БХРВ;

– равномерная отработка регенеративного продукта препятствует увеличению концентрации кислорода в помещении выше допустимых значений, что обеспечивает комфортность дыхания, одновременно повышая безопасность применения изделия;

– постоянная готовность к использованию;

– не требует эксплуатационных затрат на проверку в процессе хранения.

Список литературы

1. О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2024 году : Государственный доклад / Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. – Москва, 2025. – 272 с. – URL : https://mchs.gov.ru/dokumenty/7807 (дата обращения: 07.09.2026).

2. Ракетно-космическая корпорация Энергия имени С. П. Королева в первом десятилетии XXI века 2001–2011 гг. Том 3 : 2001–2011// В. А. Лопота (гл.ред.). – Москва : РКК «Энергия», 2011. – 832 с.

3. Аврущенко, Н. Н. Системы электрохимической регенерации воздуха атомных подводных лодок / Н. Н. Аврущенко, А. Ф. Новиков, В. И. Френкель. – Москва : Русская история, 2002. – 430 с.

4. Petrocelli, A. Some Notes on the Use of Superoxides in Regenerative Air System / A. Petrocelli, A. Capolesto // Aerospace Medicine. – 1964. – Vol. 31. – P. 440–446.

5. Патент № 2012150478 Российская Федерация, МПК A62B 11/00. Система регенерации воздуха : № 2012150478/12 ; заявл. 26.11.2012 ; опубл. 10.06.2014 / Копытов Ю. Ф., Гудков С. В., Путин С. Б. ; заявитель и патентообладатель ОАО Корпорация «Росхимзащита», бюл. № 16. – 1 с.

6. Патент № 2006116139 Российская Федерация, МПК C01B 13/02. Генератор кислорода : № 2006116139/15 ; заявл. 10.05.2006 ; опубл. 10.12.2007 / Симаненков С. И., Копытов Ю. Ф., Булаев Н. А., Попов В. А., Скворцов А. Ф. ; заявитель и патентообладатель ОАО Корпорация «Росхимзащита». – 1 с.

7. Патент № 2837705 Российская Федерация, МПК A62D 9/00. Состав пускового брикета для изолирующего дыхательного аппарата : № 2024110206 ; заявл. 12.04.2024 ; опубл. 03.04.2025 / Ферапонтова Л. Л., Булаев Н. А., Ферапон-

тов Ю. А., Милосердов А. В. ; патентообладатель АО «Росхимзащита», бюл. № 10. – 9 с.

8. Регенеративные продукты нового поколения: технология и аппаратурное оформление / Н. Ф. Гладышев, Т. В. Гладышева, С. И. Дворецкий [и др.]. – Москва : Машиностроение-1, 2007. – 156 с.

9. Изолирующие дыхательные аппараты и основы их проектирования : учебное пособие / С. В. Гудков, С. И. Дворецкий, С. Б. Путин, В. П. Таров. – Москва : Машиностроение, 2008. – 188 с.

10. Кинетика взаимодействия надпероксида калия с диоксидом углерода / Р. В. Дорохов, Н. Ф. Гладышев, С. Б. Путин [и др.] // Химическая физика. – 2007. – Т. 26, № 10. –С. 81–84.

11. Интенсификация процесса получения регенеративного продукта на матрице в вакууме. / Р. В. Дорохов, Н. Ф. Гладышев, С. Б. Путин [и др.] // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2006. – Т. 12, № 4-1. – С. 1057–1064.

12. Ферапонтов, Ю. А. Аппаратурно-технологическое оформление процесса дегидратации тройной системы КОН – H_2O_2 – H_2O для получения регенеративного продукта / Ю. А. Ферапонтов, Р. В. Дорохов, Р. В. Нефедов // Химическая промышленность сегодня. – 2016. – № 12. – С. 13–20.

13. Продукты для химической регенерации воздуха в системах жизнеобеспечения человека на основе керамических высокопористых блочно-ячеистых материалов / Ю. А. Ферапонтов, Р. В. Дорохов, И. В. Захаров [и др.]. // Огнеупоры и техническая керамика. – 2021. – № 3-4. – С. 14–20.

14. Патент № 2599664 Российская Федерация, МПК A62D 9/00. Способ получения структурированного регенеративного продукта : № 2015120319/05 ; заявл. 28.05.2015 ; опубл. 10.10.2016 / Дорохов Р. В., Ферапонтов Ю. А., Плотников М. Ю. ; патентообладатель ОАО Корпорация «Росхимзащита», бюл. № 28. – 11 с.

15. Патент № 2703878 Российская Федерация, МПК A62D 9/00. Способ получения продукта для регенерации воздуха : № 2019108515 ; заявл. 25.03.2019 ; опубл. 22.10.2019 / Дорохов Р. В., Ферапонтов Ю. А., Плотников М. Ю., Тарова А. А. ; патентообладатель АО Корпорация «Росхимзащита», бюл. № 30. – 10 с.

16. Патент № 2712695 Российская Федерация, МПК B01J 20/32; B01J 20/06; B29C 53/24. Способ изготовления блочного регенеративного продукта : № 2019100830 ; завял. 10.01.2019 ; опубл. 30.01.2020 / Дорохов Р. В., Ферапонтов Ю. А., Плотников М. Ю., Еськов В. А., Рязанов И. В. ; патентообладатель АО Корпорация «Росхимзащита», бюл. № 4. – 15 с.

17. Патент № 2765943 Российская Федерация, МПК C04B 38/00; A62D 9/00. Способ получения керамических высокопористых блочно-ячеистых регенеративных материалов : № 2021133371 ; заявл. 17.11.2021 ; опубл. 07.02.2022 / Грунский В. Н., Гаспарян М. Д., Захаров И. В., Ферапонтов Ю. А., Дорохов Р. В, Комарова А. Д. ; патентообладатель РХТУ им. Д. И. Менделеева, бюл. № 4. – 9 с

Chemical Air Regeneration Unit

© R. V. Dorokhov[1] ✉, Yu. A. Ferapontov[1], M. Yu. Plotnikov[1]

[1] *JSC Roskhimzashchita, ohinht@krhz.ru; Tambov, Russian Federation*

Keywords: protection time; potassium superoxide; regenerative cartridge; regenerative product; life support systems.

Abstract: Prototype chemical air regeneration units for collective protection systems against chemical hazards have been developed and tested. The use of a new regenerative product and F-4MB fluoroplastic film as a structural material made it possible to reduce the unit's mass and dimensions by a factor of 2-3 compared to existing devices.

References

1.Available at: https://mchs.gov.ru/dokumenty/7807 (accessed 07 September 2026).

2. Lopota V.A. (Ed.) *Raketno-kosmicheskaya korporatsiya Energiya imeni S.P. Koroleva v pervom desyatiletii XXI veka 2001–2011 gg. Vol. 3: 2001–2011* [S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia in the First Decade of the 21st Century (2001-2011). Vol. 3: 2001–2011], Moscow: Energiya, 2011, 832 p. (In Russ.)

3. Avrushchenko N.N., Novikov A.F., Frenkel'V.I. *Sistemy elektrokhimicheskoy regeneratsii vozdukha atomnykh podvodnykh lodok* [Electrochemical Air Regeneration Systems for Nuclear Submarines], Moscow: Russkaya istoriya, 2002, 430 p. (In Russ.)

4. Petrocelli A., Capolesto A. Some Notes on the Use of Superoxides in Regenerative Air System, *Aerospace Medicine*, 1964, vol. 31, pp. 440-446.

5. Kopytov Yu.F., Gudkov S.V., Putin S.B. *Sistema regeneratsii vozdukha* [Air Regeneration System], Russian Federation, 2014, Pat. 2012150478 (In Russ.)

6. Simanenkov S.I., Kopytov Yu.F., Bulayev N.A., Popov V.A., Skvortsov A.F. *Generator kisloroda* [Oxygen generator], Russian Federation, 2007, Pat. 2006116139 (In Russ.)

7. Ferapontova L.L., Bulayev N.A., Ferapontov Yu.A., Miloserdov A.V. *Sostav puskovogo briketa dlya izoliruyushchego dykhatel'nogo apparata* [Composition of a starter briquette for an isolating breathing apparatus], Russian Federation, 2025, Pat. 2837705 (In Russ.)

8. Gladyshev N.F., Gladysheva T.V., Dvoretskiy S.I. [et al.], *Regenerativnyye produkty novogo pokoleniya: tekhnologiya i apparaturnoye oformleniye* [New-generation regenerative products: technology and equipment design], Moscow: Mashinostroyeniye-1, 2007, 156 p. (In Russ.)

9. Gudkov S.V., Dvoretskiy S.I., Putin S.B., Tarov V.P. *Izoliruyushchiye dykhatel'nyye apparaty i osnovy ikh proyektirovaniya: uchebnoye posobiye* [Self-contained breathing apparatus and principles of their design: a textbook], Moscow: Mashinostroyeniye, 2008, 188 p. (In Russ.)

10. Dorokhov R.V., Gladyshev N.F., Putin S.B. [et al.], [Kinetics of the interaction between potassium superoxide and carbon dioxide], *Khimicheskaya fizika* [Chemical Physics], 2007, vol. 26, no. 10, pp. 81-84. (In Russ., abstract in Eng.)

11. Dorokhov R.V., Gladyshev N.F., Putin S.B. [et al.], [Intensification of the process for producing a regenerative product on a matrix under vacuum], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2006, vol. 12, no. 4-1, pp. 1057-1064. (In Russ., abstract in Eng.)

12. Ferapontov Yu.A., Dorokhov R.V., Nefedov R.V. [Equipment and process design for the dehydration of the KOH – H_2O_2 – H_2O ternary system to produce a regenerative product], *Khimicheskaya promyshlennost' segodnya* [Chemical Industry Today], 2016, no. 12, pp. 13-20. (In Russ., abstract in Eng.)

13. Ferapontov Yu.A., Dorokhov R.V., Zakharov I.V. [et al.], [Products for chemical air regeneration in human life-support systems based on highly porous ceramic block-cellular materials], *Ogneupory i tekhnicheskaya keramika* [Refractories and Technical Ceramics], 2021, no. 3-4, pp. 14-20. (In Russ., abstract in Eng.)

14. Dorokhov R.V., Ferapontov Yu.A., Plotnikov M.Yu. *Sposob polucheniya strukturirovannogo regenerativnogo produkta* [Method for producing a structured regenerative product], Russian Federation, 2016, Pat. 2599664 (In Russ.)

15. Dorokhov R.V., Ferapontov Yu.A., Plotnikov M.Yu., Tarova A.A. *Sposob polucheniya produkta dlya regeneratsii vozdukha* [Method for producing a product for air regeneration], Russian Federation, 2019, Pat. 2703878 (In Russ.)

16. Dorokhov R.V., Ferapontov Yu.A., Plotnikov M.Yu., Yes'kov V.A., Ryazanov I.V. *Sposob izgotovleniya blochnogo regenerativnogo produkta* [Method for manufacturing a block-type regenerative product], Russian Federation, 2020, Pat. 2712695 (In Russ.)

17. Grunskiy V.N., Gasparyan M.D., Zakharov I.V., Ferapontov Yu.A., Dorokhov R.V, Komarova A.D. *Sposob polucheniya keramicheskikh vysokoporistykh blochno-yacheistykh regenerativnykh materialov* [Method for producing highly porous ceramic block-cellular regenerative materials], Russian Federation, 2022, Pat. 2765943 (In Russ.)

Chemische Luftregenerierungsanlage

Zusammenfassung: Es sind Prototypen einer chemischen Luftregenerationseinheit für kollektive Schutzsysteme gegen chemische Gefahren entwickelt und getestet. Die Verwendung des neuen regenerativen Produkts und der Folie aus Fluorkunststoff F 4MB als Konstruktionsmaterial hat es ermöglicht, die Abmessungen des Produkts im Vergleich zu bestehenden Geräten um das 2-3-fache zu reduzieren.

Bloc de régeneration chimique de l'air

Résumé: Sont développés et testés des prototypes du bloc de la régénération chimique de l'air pour les systèmes de la protection collective contre les facteurs nocifs de la nature chimique. L'utilisation d'un nouveau produit régénérateur et d'un film en fluoroplaste F-4MB comme matériau de construction a permis de réduire de 2 à 3 fois les caractéristiques de masse et de dimensions du produit par rapport aux appareils existants.

Авторы: ***Дорохов Роман Викторович*** – кандидат технических наук, начальник лаборатории № 2; ***Ферапонтов Юрий Анатольевич*** – кандидат технических наук, начальник отдела химии и новых химических технологий; ***Плотников Михаил Юрьевич*** – заместитель начальника отдела внедрения химических технологий, АО «Росхимзащита», Тамбов, Российская Федерация.