

## РЕГЕНЕРАТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЛЯ ДЫМОЗАЩИТНОГО КАПОШОНА

В. А. Еськов<sup>1,2</sup>, Р. В. Дорохов<sup>2</sup>, А. Н. Пахомов<sup>1✉</sup>

*Кафедра «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность»,  
ФГБОУ ВО «ТГТУ», rnp@yandex.ru (1); АО «Росхимзащита» (2),  
Тамбов, Россия*

**Ключевые слова:** средства защиты, органы дыхания, дым, пластина, регенеративный материал, источник кислорода, надпероксид калия, пероксид кальция.

**Аннотация:** Представлены результаты разработки пористых пластинчатых регенеративных материалов на основе надпероксида калия и пероксида кальция. Пероксидные соединения синтезируются в вакууме из жидкофазной смеси дипероксигидратов пероксида калия и пероксида кальция с подводом тепла в виде инфракрасного излучения и закрепляются в порах и на волокнах стекловолоконной матрицы. Введение в состав регенеративного материала пероксида кальция улучшает хемосорбционные свойства получаемого материала за счет образования тугоплавких и менее гидрофильных, чем соединения калия, соединений кальция. Это позволяет сохранить пространственную структуру и пористость пластин в процессе эксплуатации. Пластины регенеративного материала предлагаются к применению в дымозащитных капюшонах.

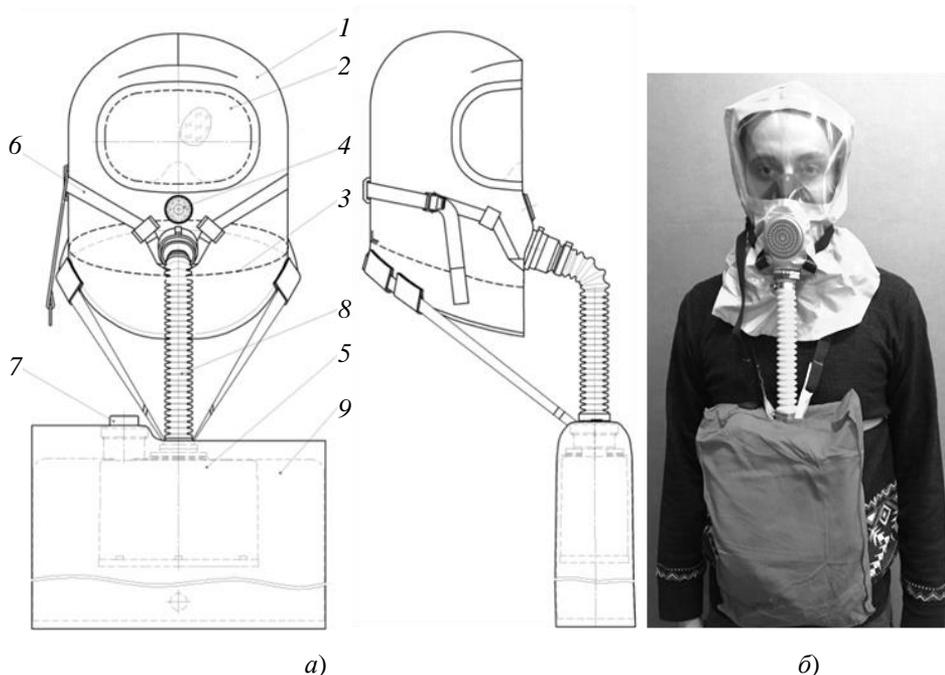
---

### Введение

Дымозащитный капюшон (ДЗК) – изделие изолирующего типа, предназначенное для индивидуальной защиты головы и органов дыхания экипажа от огня и дыма при аварийном задымлении кабины и/или салона самолета гражданской авиации. Необходимый для дыхания кислород образуется путем взаимодействия выдыхаемых человеком паров воды и диоксида углерода с регенеративным материалом на основе надпероксида калия. В аппарате использована маятниковая схема циркуляции газовой дыхательной смеси (ГДС). Такая схема характеризуется двукратным прохождением ГДС через регенеративный материал на фазах вдоха и выдоха и обеспечивает высокую степень очистки ГДС от диоксида углерода. Кроме того, она проста в эксплуатации за счет отсутствия дополнительных газодходов и перепускных элементов в конструкции ДЗК.

В состав ДЗК входят капюшон 1 с обзорным окном 2, шейная мембрана (обтюратор), исключающая проникновение дыма под капюшон 3, устройство для коммуникации 4, позволяющее вести переговоры, патрон с регенеративным материалом 5, система крепления и индивидуальной подгонки 6, пусковое устройство 7, предназначенное для обеспечения кислородом в первые минуты использования ДЗК, соединительные шланги 8, дыхательный мешок с клапаном избыточного давления 9 (рис. 1) [1, 2].

При включении человека в ДЗК органы дыхания и зрения изолируются от окружающей среды. Газовая дыхательная смесь от пользователя по соединительным шлангам попадает в патрон с регенеративным материалом, где происходят процессы поглощения диоксида углерода и влаги, сопровождающиеся выделением кислорода.



**Рис. 1. Схема (а) и внешний вид (б) дымозащитного капюшона**

Из патрона ГДС поступает в дыхательный мешок. При вдохе обогащенная кислородом и очищенная от диоксида углерода ГДС из дыхательного мешка по соединительным шлангам возвращается в органы дыхания. Избыток ГДС из дыхательного мешка при выдохе стравливается через клапан избыточного давления [3]. Процесс поглощения диоксида углерода и влаги в патроне сопровождается выделением тепла. Поэтому при работе происходит нагрев проходящей через патрон дыхательной смеси. Признаком окончания работы регенеративного материала является прекращение выделения кислорода, при котором происходит уменьшение наполнения дыхательного мешка.

Дымозащитный капюшон работоспособен в интервале окружающих температур от  $-15$  до  $+55$  °С, обеспечивает подачу кислорода для каждого члена экипажа продолжительностью 15 мин при полете на барометрической высоте 2438 м, при сопротивлении вдоху или выдоху 750 Па при легочной вентиляции  $30 \text{ дм}^3/\text{мин}$ . В любой момент времени может быть достигнут объемный расход кислорода для дыхания, равный  $80 \text{ дм}^3/\text{мин}$ , в течение 30-секундного периода. Объемная доля диоксида углерода во вдыхаемой ГДС не более 4 % (допускается увеличение объемной доли диоксида углерода до 5 % на период, не превышающий 2 мин). Время приведения в рабочее состояние не более 10 с. Лицевая часть обеспечивает общее поле зрения не менее 70 % от поля зрения человека без лицевой части. В дымозащитном капюшоне имеется возможность коммуникации через терминалы связи бортпроводников и переносной мегафон, а также возможность переговоров между людьми, надевшими ДЗК, на расстоянии не менее 4 м.

#### **Регенерация воздуха перекисными соединениями щелочных и щелочноземельных металлов**

Широкое применение перекисных соединений щелочных металлов в качестве регенеративного материала в изолирующих дыхательных аппаратах и установках регенерации воздуха коллективного типа основано на их способности по-

глотать диоксид углерода и пары воды, а также выделять кислород, тем самым обеспечивая жизнедеятельность человека при его изоляции от окружающей атмосферы.

Наибольшее распространение получили надпероксиды калия и натрия, при этом первый из них, за счет более простой технологии получения, нашел применение в массовых средствах и системах регенерации, а надпероксид натрия, за счет более высокого содержания кислорода, – в специализированных средствах и системах жизнеобеспечения.

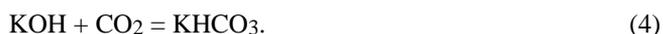
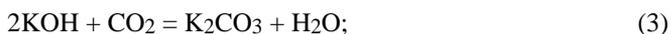
Взаимодействие надпероксида калия с диоксидом углерода в присутствии водяного пара описывается уравнением [4]



При этом первичным актом в процессе регенерации является взаимодействие  $KO_2$  с водяным паром по уравнению [5]



Затем идет образование карбоната или бикарбоната калия соответственно по уравнениям реакций:



Пары воды связываются гидроксидом и карбонатом калия, образуя гидратные соединения типа:  $KOH \cdot 0,75H_2O$ ;  $KOH \cdot H_2O$ ;  $KOH \cdot 2H_2O$ ;  $K_2CO_3 \cdot 0,5H_2O$ ;  $K_2CO_3 \cdot 1,5H_2O$ , которые также могут обратно разлагаться под воздействием высоких температур.

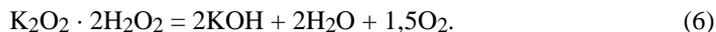
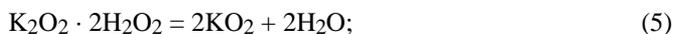
В чистом виде надпероксиды калия и натрия не применяются вследствие возможности их плавления, а также плавления продуктов реакции, образующихся под воздействием высоких температур, достигающих 300 °С, образования пористых оболочек с закрытой структурой, состоящих из смеси гидратов продуктов реакций, препятствующих диффузии реагентов к исходному надпероксиду.

Решение данных проблем, а также технологических проблем, связанных с изготовлением регенеративного материала, достигают введением функционализирующих и структурообразующих добавок, влияющих на его химические и физические свойства [6]. Например, применяют соединения меди, железа и другие в качестве катализатора выделения кислорода, средне- и длиноволокнистый хризотилловый асбест – в качестве армирующего компонента пластин, соединения кальция – в качестве структурообразующих добавок, уменьшающих оплывание регенеративного продукта.

Традиционная технология производства регенеративного материала включает стадии производства надпероксида щелочного металла в виде порошка, смешения с функционализирующими и структурообразующими добавками, прессования блоков, таблеток, готового исполнения или дробления и отсева при производстве гранул неправильной формы, измельчения отходов и возврата их на стадию смешения.

В АО «Росхимзащита» разработана технология производства регенеративного продукта в виде пористых пластин на основе надпероксида калия РПК-П ТУ 2123-265-05807954-2011. Технология основана на взаимодействии гидроксида калия и пероксида водорода с образованием жидкой фазы, содержащей в основном дипероксогидрат пероксида калия, и последующим диспропорционированием в вакууме с подводом тепла в виде ИК-излучения. Реакция диспропорционирования  $K_2O_2 \cdot 2H_2O_2$  экзотермична. В зависимости от окружающих условий может

протекать по двум направлениям: по реакции (5), основным продуктом которой является  $\text{KO}_2$ , либо по реакции (6), где основным продуктом –  $\text{KOH}$ , при этом активный кислород выделяется в атмосферу:

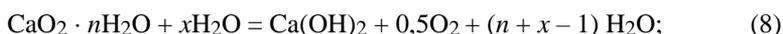


В состав регенеративного продукта РПК-П входит гидроксид калия (около 20 масс. %), образующийся по уравнению реакции (6). Применение гидроксида калия обеспечивает при недостатке паров воды (при низких окружающих температурах) реакционную воду, необходимую для разложения надпероксида калия, однако при этом, как правило, возникает ее избыток. При избытке реакционной воды образуются гидраты, что приводит к разрушению пористой структуры хемосорбента и соответственно торможению процесса поглощения диоксида углерода и паров воды.

### **Регенеративный материал с улучшенными эксплуатационными характеристиками**

Для уменьшения негативного фактора гидрализации продуктов реакции разработан технологический процесс производства регенеративного материала, состоящего из надпероксида калия и пероксида кальция РМКК-П, ТУ 20.12.1-325-05807954-2017.

Пероксид кальция, входящий в состав регенеративного материала, под воздействием тепла и воды реагирует по уравнениям реакций:

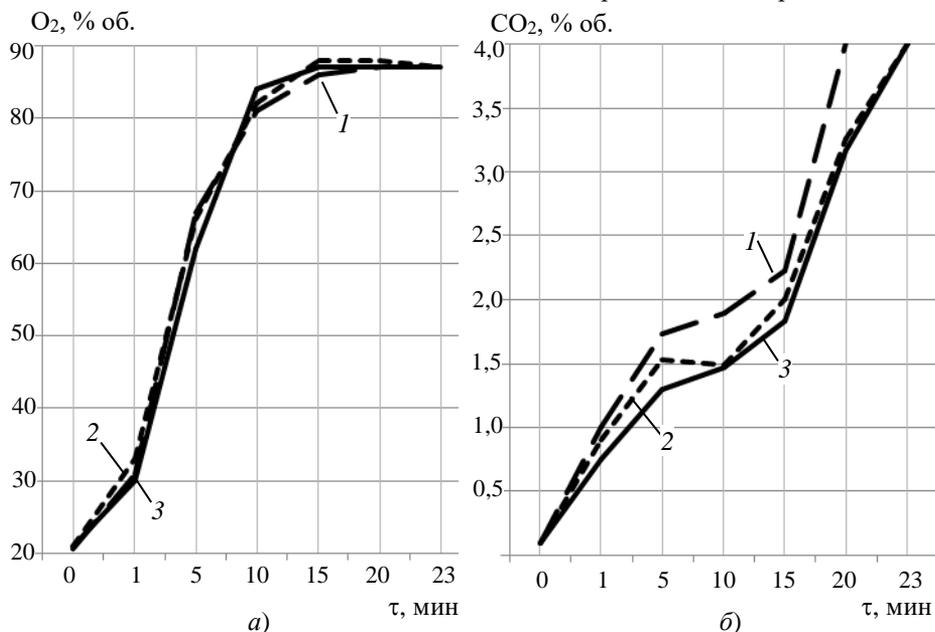


Пероксид кальция, разлагаясь и поглощая избыточную воду, образует гидроксид кальция, который, реагируя с диоксидом углерода, образует карбонат. Карбонат кальция, в отличие от карбоната калия, практически не гидрализуется. В результате, сохраняется пористая структура хемосорбента и не происходит торможение процесса поглощения диоксида углерода и паров воды, возникающее из-за разрушения пор сорбента при гидрализации.

В результате добавления пероксида кальция сохраняется пористая структура хемосорбента, что позволяет получать регенеративный материал в виде пластин меньших размеров, чем пластины, получаемые без применения добавки пероксида кальция. При этом сорбционная емкость материала РМКК-П по диоксиду углерода составляет  $174,1 \text{ дм}^3/\text{кг}$ , аналогичный показатель для РПК-П составляет  $139,4 \text{ дм}^3/\text{кг}$ . Соответственно, за счет более высокой степени отработки регенеративного материала с добавкой пероксида кальция имеется возможность получить регенеративный материал в виде пластин с меньшими массогабаритными характеристиками, чем серийные регенеративные продукты, получаемые методом прессования-дробления [7]. Была разработана технология получения регенеративных пластин РМКК-П с размерами до  $450 \times 430 \text{ мм}$ , толщиной от 5 до 8 мм и удельным весом от 250 до  $350 \text{ кг/м}^3$ . Для сравнения пластины РПК-П имеют размеры  $140 \times 220 \text{ мм}$ .

### **Результаты испытаний и обсуждение**

Результаты испытаний ДЗК с пластинами разработанного регенеративного материала РМКК-П на установке «Искусственные легкие» (ИЛ) при температурах  $-15$ ,  $+24$  и  $+55$  °С и легочной вентиляции  $30 \text{ дм}^3/\text{мин}$  представлены на рис. 2.



**Рис. 2. Зависимость объемной доли кислорода (а) и углекислого газа (б) на входе от времени при температурах, °С:**  
 1 –  $+55$ ; 2 –  $+24$ ; 3 – минус 15

Как видно из графиков рис. 2, а, выделение кислорода при работе ДЗК регенеративным материалом РМКК-П практически не зависит от температуры окружающей среды. Поглощение углекислого газа (рис. 2, б) незначительно зависит от температуры окружающей среды. С повышением окружающей температуры до  $+55$  °С скорость поглощения  $\text{CO}_2$  несколько снижается, что отражается в более

Таблица 1

**Характеристики ДЗК и аналогов**

Наименование (фирма и страна производитель)	Источник кислорода	Время защитного действия, мин	Масса, кг	Время приведения в рабочее состояние, с	Срок службы, лет
PBE 15-40F-11, L'Air Liquide (Франция)	Тороидальный баллон со сжатым кислородом	15	1,5	8	10
Protective breathing equipment (PBE), Essex industries, Inc. (США)	Баллон со сжатым кислородом		1,44	15	
Oxycrew, В/Е Aerospace, Inc. (США)	Регенеративный продукт на основе надпероксида калия		2,5		
ДЗК (Россия)	Регенеративный		1,3	10	

	продукт на основе надпероксида калия с добавкой пероксида кальция				
--	---	--	--	--	--

быстром росте величины объемной доли  $\text{CO}_2$ . Последнее вызвано более активным плавлением регенеративного материала. При температуре испытания  $-15\text{ }^\circ\text{C}$  и  $+24\text{ }^\circ\text{C}$  процесс поглощения  $\text{CO}_2$  имеет схожий характер.

Для сравнения в таблице 1 представлены характеристики основных средств индивидуальной защиты органов дыхания, применяемых в гражданской авиации. Разработанный ДЗК, использующий регенеративный материал РМКК-П, удовлетворяет показателям, предъявляемым к подобного рода средствам индивидуальной защиты органов дыхания, и является конкурентно способным изделием для применения в гражданской авиации.

### Заключение

Добавление пероксида кальция в регенеративный материал позволяет сохранить пористую структуру хемосорбента и исключить торможение процесса поглощения диоксида углерода и паров воды, возникающее из-за разрушения пор сорбента при гидрализации, то есть получить регенеративный материал РМКК-П в виде пластин меньших размеров, в сравнении с пластинами, получаемыми без применения добавки пероксида кальция РПК-П. При этом на 25 % увеличивается сорбционная емкость материала РМКК-П по диоксиду углерода по сравнению с материалом РПК-П. В результате, за счет более высокой степени отработки регенеративного материала с добавкой пероксида кальция, в производственных условиях получен регенеративный материал в виде пластин с меньшими массогабаритными характеристиками, чем серийные регенеративные продукты, получаемые методом прессования-дробления. Испытания материала РМКК-П в составе изделия ДЗК-15 на установке «Искусственные легкие» в различных режимах подтвердило эффективность его применения в средствах индивидуальной защиты органов дыхания, в частности, в дымозащитных капюшонах при чрезвычайных ситуациях на самолетах гражданской авиации.

### Список литературы

1. Вольнов, И. И. Перекисные соединения щелочных металлов / И. И. Вольнов. – М. : Наука, 1980. – 159 с.
2. Пат. RU 185705 U1 Российская Федерация, МПК А62В 7/08 (2006.01). Изолирующий дыхательный аппарат / Дорохов Р. В., Ферапонтов Ю. А., Плотников М. Ю., Еськов В. А., Рязанов И. В. ; Открытое акционерное общество «Корпорация «Росхимзащита». – № 2018131780 ; заявл. 03.09.18 ; опубл. 14.12.18, Бюл. № 35. – 15 с.
3. Мельников, А. Х. Исследование взаимодействия надперекиси калия с водяным паром и углекислым газом / А. Х. Мельников, Т. П. Фирсова, А. Н. Молодина // Журнал неорганической химии. –1962. – Т. 7, № 6. – С. 1228 – 1236.
4. Кинетика взаимодействия диоксида углерода с надпероксидом калия / Н. Ф. Гладышев, Т. В. Гладышева, С. И. Дворецкий [и др.] // Химическая физика. – 2007. – Т. 26, № 10. – С. 67 – 70.
5. Дворецкий, Д. С. Кинетика взаимодействия диоксида углерода с регенеративным продуктом на матрице РПК-П / Д. С. Дворецкий, М. Ю. Плотников //

Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2010. – Т. 16, № 3. – С. 597 – 602.

6. Дорохов, Р. В. Аппаратурно-технологическое оформление процесса синтеза регенеративного продукта на матрице с улучшенными хемосорбционными характеристиками : дис. ... канд. техн. наук : 05.17.08 / Дорохов Роман Викторович. – Тамбов, 2007. – 187 с.

7. Еськов, В. А. Влияние процесса сушки на качество регенеративного продукта на основе надпероксида калия / В. А. Еськов, А. Н. Пахомов, Н. Ц. Гагапова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2023. – Т. 16, № 4. – С. 597 – 602. doi: 10.17277/vestnik.2023.04.pp.597-602

---

## Regenerative Material with Improved Characteristics for the Smoke Protective Hood

V. A. Eskov <sup>1,2</sup>, R. V. Dorokhov <sup>2</sup>, A. N. Pakhomov <sup>1</sup>✉

*Department of Technological Processes, Devices and Technosphere Safety, TSTU,  
panpost@yandex.ru (1); JSC Rokhimzashchita (2),  
Tambov, Russia*

**Keywords:** protective equipment; respiratory organs; smoke; plate; regenerative material; oxygen source; potassium superoxide; calcium peroxide.

**Abstract:** The results of the development of porous plate-like regenerative materials based on potassium superoxide and calcium peroxide are presented. Peroxide compounds are synthesized in vacuum from a liquid-phase mixture of potassium peroxide and calcium peroxide diperoxyhydrates with heat supplied in the form of infrared radiation and are fixed in the pores and on the fibers of the fiberglass matrix. The introduction of calcium peroxide into the composition of the regenerative material improves the chemisorption properties of the resulting material due to the formation of refractory and less hydrophilic calcium compounds than potassium compounds. This enables to maintain the spatial structure and porosity of the plates during operation. Plates of regenerative material are proposed for use in smoke protection hoods.

### References

1. Vol'nov I.I. *Perekisnyye soyedineniya shchelochnykh metallov* [Peroxide compounds of alkali metals], Moscow: Nauka, 1980, 159 p. (In Russ.)
2. Dorokhov R.V., Ferapontov Yu.A., Plotnikov M.Yu., Yes'kov V.A., Ryazanov I.V. *Izoliruyushchiy dykhatel'nyy apparat* [Self-contained breathing apparatus], Russian Federation, 2088, Pat. 185705 (In Russ.)
3. Mel'nikov A.Kh., Firsova T.P., Molodina A.N. [Study of the interaction of potassium superoxide with water vapor and carbon dioxide], *Zhurnal neorganicheskoy khimii* [Journal of Inorganic Chemistry], 1962, vol. 7, no. 6, pp. 1228-1236. (In Russ., abstract in Eng.)
4. Gladyshev N.F., Gladysheva T.V., Dvoretzkiy S.I. [et al.]. [Kinetics of interaction of carbon dioxide with potassium superoxide], *Khimicheskaya fizika* [Chemical Physics], 2007, vol. 26, no. 10, pp. 67-70. (In Russ., abstract in Eng.)

5. Dvoretzkiy D.S., Plotnikov M.Yu. [Kinetics of interaction of carbon dioxide with a regenerative product on a pk-p matrix], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2010, vol. 16, no. 3, pp. 597-602. (In Russ., abstract in Eng.)
6. Dorokhov R.V. *PhD Dissertation (Engineering)*, Tambov, 2007. 187 p. (In Russ.)
7. Yes'kov V.A., Pakhomov A.N., Gatapova N.Ts. [The influence of the drying process on the quality of a regenerative product based on potassium superoxide], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2023, vol. 16, no. 4, pp. 597-602. doi: 10.17277/vestnik.2023.04.pp.597-602 (In Russ., abstract in Eng.)

### **Regeneratives Material mit verbesserten Eigenschaften für die Rauchschtzhaube**

**Zusammenfassung:** Es sind die Ergebnisse der Entwicklung poröser plattenförmiger regenerativer Materialien auf Basis von Kaliumsuperoxid und Calciumperoxid vorgestellt. Peroxidverbindungen werden im Vakuum aus einem Flüssigphasengemisch aus Kaliumperoxid und Calciumperoxiddiperoxohydraten unter Wärmezufuhr in Form von Infrarotstrahlung synthetisiert und in den Poren und auf den Fasern der Glasfasermatrix fixiert. Die Einführung von Calciumperoxid in die Zusammensetzung des regenerativen Materials verbessert die Chemosorptionseigenschaften des resultierenden Materials aufgrund der Bildung feuerfester und weniger hydrophiler Calciumverbindungen als Kaliumverbindungen. Dadurch bleibt die räumliche Struktur und Porosität der Platten während der Operation erhalten. Platten aus regenerierbarem Material werden für den Einsatz in Rauchschtzhauben angeboten.

---

### **Matériau régénératif à performances améliorées pour le capuchon de protection contre la fumée**

**Résumé:** Sont présentés les résultats de l'élaboration des matériaux régénératifs poreux en forme de plaques à base de superoxyde de potassium et de peroxyde de calcium. Les composés peroxydés sont synthétisés sous vide à partir d'un mélange en phase liquide de peroxyde de potassium et de peroxyde de calcium diperoxyhydratés avec de la chaleur apportée sous forme de rayonnement infrarouge et sont fixés dans les pores et sur les fibres de la matrice en fibre de verre. L'introduction de peroxyde de calcium dans la composition du matériau régénérateur améliore les propriétés de chimisorption du matériau obtenu du fait de la formation des composés calciques réfractaires et moins hydrophiles que les composés potassiques. Cela permet de préserver la structure spatiale et la porosité des plaques lors de l'exploitation. Des plaques en matériaux régénératifs sont proposées pour l'utilisation dans les capuchons de protection contre la fumée.

---

**Авторы:** *Еськов Владимир Александрович* – аспирант кафедры «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность», ФГБОУ ВО «ТГТУ», старший научный сотрудник АО «Росхимзащита», Тамбов, Россия; *Дорохов Роман Викторович* – кандидат технических наук, начальник лаборатории АО «Росхимзащита», Тамбов, Россия; *Пахомов Андрей Николаевич* – доктор технических наук, доцент кафедры «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность», ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия.