

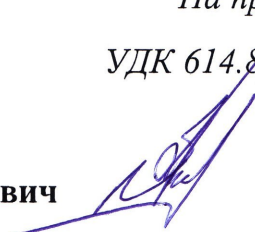
Министерство по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий
Донецкой Народной Республики

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГОРНОСПАСАТЕЛЬНОГО ДЕЛА, ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И
ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ «РЕСПИРАТОР»

На правах рукописи

УДК 614.894.3/7:622.867

Кирьян Андрей Петрович



**ПОВЫШЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ СПАСАТЕЛЯ В
ИЗОЛИРУЮЩЕМ РЕСПИРАТОРЕ С ХИМИЧЕСКИ СВЯЗАННЫМ
КИСЛОРОДОМ**

Специальность 05.26.01 – Охрана труда
(по отраслям) (технические науки)

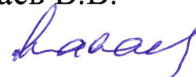
Диссертация

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:

д-р техн. наук, с. н. с.

Мамаев В.В.

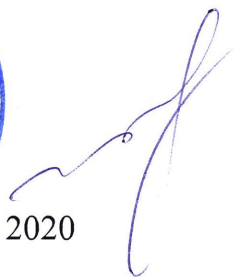


И.А. Бершадский

Идентичность всех экземпляров
диссертации ПОДТВЕРЖДАЮ
Ученый секретарь диссертационного
совета Д.01.008.01
доктор технических наук, профессор



Донецк – 2020



ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

В настоящей работе применяются следующие сокращения и обозначения.

ВЗД – время защитного действия

ГДС – газодыхательная смесь

ТГР – теплогазораспределитель

ДАХ - наименование респиратора - дыхательный аппарат с химически связанным кислородом

РХ-1, РХ-2, РТ-66, РХС, РХ-4, РХ-4П – типы (марки) респираторов с химически связанным кислородом

KO_2 – надпероксид калия, основной компонент кислородсодержащего регенеративного продукта и пускового брикета

NaO_2 – надпероксид натрия, входит в состав пускового брикета

ОКЧ – наименование кислородсодержащего регенеративного продукта (оксид калиевый чирчикский)

K_2CO_3 – карбонат калия, соль угольной кислоты

КОН – гидроксид калия

СаО – оксид кальция

Q_x^k – количество теплоты, Дж

q_x^w, q_x^r – поток тепловой, Вт

f_w, f^r – доля площади, мм²

W_w – скорость потока, м/с

C^r – удельная теплоемкость газа, Дж/(кг·К)

ρ^r – плотность газа, кг/м³

T^r – температура газа, К

$W(x, a, z, \tau)$ – объемная мощность, Вт/м³

V_w – объем, м³

R – сопротивление дыханию, Па (мм.рт.ст.)

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	4
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ	10
РАЗДЕЛ 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ	11
1.1 Анализ ведения аварийно-спасательных работ с применением изолирующих респираторов.....	11
1.2 Обзор и анализ существующих моделей респираторов для защиты органов дыхания спасателей.....	14
1.3 Особенности технических конструкций современных респираторов с химически связанным кислородом и тенденции их развития.....	20
1.4 Анализ результатов ранее выполненных исследований по разработке респираторов с химически связанным кислородом.....	26
Цель и задачи исследований.....	31
РАЗДЕЛ 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА РЕГЕНЕРАЦИИ ВОЗДУХА В ИЗОЛИРУЮЩЕМ РЕСПИРАТОРЕ С ХИМИЧЕСКИ СВЯЗАННЫМ КИСЛОРОДОМ	32
2.1 Общая методика и основные методы исследований.....	32
2.2 Расчетная схема регенеративного патрона респиратора и основные к нему требования.....	34
2.3 Физико-химические процессы, протекающие в регенеративном патроне.....	36
2.4 Математическая модель распределения температуры в регенеративном патроне.....	43
2.5 Математическая модель поля концентрации в сплошной среде с ограниченными размерами.....	49

2.6 Редукция модели с распределенными параметрами к одномерной задаче с сосредоточенными параметрами.....	52
2.7 Редукция нелинейного уравнения теплопроводности пространства респиратора к системе алгебраических зависимостей.....	58
Выводы к разделу 2.....	64
РАЗДЕЛ 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ПРИ РЕГЕНЕРАЦИИ ВОЗДУХА В ИЗОЛИРУЮЩЕМ РЕСПИРАТОРЕ.....	66
3.1 Методика проведения исследований на стенде имитации дыхания.....	66
3.2 Исследование тепло- и газообменных процессов в регенеративном патроне респиратора	72
3.3 Исследование параметров сопротивления дыханию в респираторе.....	81
3.4 Исследование газового состава среды под маской в пространстве лицевой части респиратора.....	86
Выводы к разделу 3.....	93
РАЗДЕЛ 4 РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ РЕГЕНЕРАТИВНОГО ПАТРОНА РЕСПИРАТОРА.....	95
4.1 Конструктивные параметры и эксплуатационные характеристики усовершенствованного регенеративного патрона.....	95
4.2 Повышение тактических возможностей горноспасателей при использовании респиратора с усовершенствованным регенеративным патроном при ведении аварийно-спасательных работ.....	103
4.3 Разработка предложений по повышению ресурса работы регенеративного патрона респиратора.....	104
4.4 Экономический эффект от внедрения результатов работы.....	107
Выводы к разделу 4.....	114

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	115
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	117
ПРИЛОЖЕНИЯ А	132

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Работы по предупреждению возникновения и минимизации последствий чрезвычайных ситуаций горноспасатели выполняют в непригодной для дыхания среде с использованием средств индивидуальной защиты органов дыхания.

Применяемые в настоящее время изолирующие респираторы со сжатым кислородом и известковым поглотителем диоксида углерода (типа Р-30) имеют температурно-влажностные параметры вдыхаемого воздуха, которые способствуют накоплению тепла в организме человека.

Использование респиратора с химически связанным кислородом (типа РХС) обеспечивает более комфортные параметры вдыхаемого воздуха даже при высоких температурах окружающей среды.

Степень комфортности дыхания в респираторе характеризуется эквивалентной температурой вдыхаемого воздуха, то есть температурой, приведенной к 100 % относительной влажности при фактических температурах и влажности на вдохе. В таких аппаратах, за счет низкой энтальпии (теплосодержания) вдыхаемого воздуха эквивалентная температура составляет $(24...26)^{\circ}\text{C}$ в диапазоне температур окружающей среды, соответственно, $(25...40)^{\circ}\text{C}$. В респираторах со сжатым кислородом эквивалентная температура воздуха составляет $(38...42)^{\circ}\text{C}$.

Использование изолирующих дыхательных аппаратов с химически связанным кислородом основано на выделении кислорода при взаимодействии регенеративного продукта, помещенного в патрон дыхательных аппаратов, с влагой и диоксидом углерода выдыхаемого человеком воздуха. При этом возникающие в процессе теплота реакций и условия (образование новых химических соединений, частичное плавление исходных компонентов и продуктов реакции вследствие экзотермического характера протекающих процессов и др.) часто способствуют изменению геометрической формы гранул регенеративного продукта и направления движения потока

регенерируемого воздуха. Что приводит к спеканию и неоднородному характеру отработки регенеративных продуктов в различных зонах патрона.

В результате снижается полнота реакции поглощения диоксида углерода при регенерации продуктов дыхания спасателя более, чем на 50 %. При этом увеличивается сопротивление воздушному потоку при вдыхании, повышается его температура и содержание в нем диоксида углерода. Это ограничивает время работы и нарушаются комфортность и безопасные условия труда спасателей при выполнении аварийно-спасательных работ.

В связи с вышеизложенным повышение времени защитного действия изолирующего респиратора с химически связанным кислородом, обеспечение безопасных условий труда спасателей, выполняющих длительные и тяжелые аварийно-спасательные работы, особенно в зонах высоких температур окружающей среды является актуальной научно-технической задачей.

Связь работы с научными программами, планами, темами.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с Планом работы Государственного научно-исследовательского института горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР на 2018-2019 годы, утвержденного Министерством по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Донецкой Народной Республики по теме №11814003 «Повышение ресурса регенеративного патрона респиратора на химически связанном кислороде» при непосредственном участии автора в качестве ответственного исполнителя.

Цель работы – *установление* закономерностей процесса регенерации в патроне изолирующего респиратора с химически связанным кислородом от газокинетических факторов, которые определяют тепловой эффект реакции, теплообмена, концентрации диоксида углерода при дыхании спасателя, для повышения времени его защитного действия.

Для достижения поставленной цели возникла необходимость решения следующих основных задач:

- *разработать* расчетные схемы регенеративного патрона респиратора с радиальным центростремительным направлением движения выдыхаемого воздуха;
- *создать* математическую модель основных тепломассообменных процессов в регенеративном патроне с радиальным центростремительным направлением движения воздушной смеси;
- *исследовать* физико-химические процессы в регенеративном патроне с выделением кислорода и образованием влаги;
- *выполнить* экспериментальные исследования влияния направления движения газовой смеси, конструктивных параметров теплогазораспределителя на регенеративные процессы в усовершенствованном патроне респиратора и определить его работоспособность при различных режимах нагрузок;
- *разработать* предложения по повышению ресурса работы регенеративного патрона респиратора и тактических возможностей горноспасателей при ведении аварийно-спасательных работ.

Объект исследования – газодинамические и тепломассообменные процессы в регенеративном патроне изолирующего респиратора с химически связанным кислородом.

Предмет исследований – уточнение параметров тепломассообменных процессов в регенеративном патроне при прохождении и сорбции выдыхаемого воздуха через кислородсодержащий продукт и эксплуатационных характеристик изолирующего респиратора.

Методы исследования. При выполнении диссертационной работы использовался комплексный подход, содержащий анализ и обобщение научных результатов, ранее полученных другими авторами; методы математической физики; математическое моделирование и численное решение задачи тепломассообменных процессов в регенеративном патроне при прохождении и сорбции выдыхаемого воздуха через кислородсодержащий продукт; экспериментальные исследования влияния конструктивных и эксплуатационных параметров регенеративного патрона на степень равномерной регенерации продукта с последующей математической обработкой результатов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Математическая модель тепломассообменных процессов в регенеративном патроне, которая учитывает радиальное центробежное и центростремительное направления движения воздушного потока, сорбцию CO_2 через кислородсодержащий продукт и ее взаимодействие с теплораспределителем для рационального распределения температуры в сечении регенеративного патрона, теплоту реакции и конструктивные параметры теплораспределителя. Это позволяет определить параметры, которые обеспечивают комфортные условия дыхания и повышение времени защитного действия спасателя в респираторе с химически связанным кислородом.
2. Зависимость времени защитного действия регенеративного патрона респиратора с химически связанным кислородом от содержания диоксида углерода, полноты и скорости реакции поглощения его кислородсодержащим продуктом при легочной вентиляции в режиме работы со средней ($30 \text{ дм}^3/\text{мин}$) и тяжелой ($60 \text{ дм}^3/\text{мин}$) нагрузками, что обеспечивает возможность его увеличения, по сравнению со средней нормативной нагрузкой, в 1,5 раза.

Научная новизна полученных результатов состоит в том, что автором впервые:

1. Установлено, что содержание диоксида углерода CO_2 во вдыхаемом воздухе нелинейно зависит от времени защитного действия, при этом его максимальное значение в 1,2 раза меньше, чем в серийно выпускаемых регенеративных патронах, незначительно отличается при центробежном и центростремительном направлениях воздушного потока, достигая предельных значений для тяжелой в два раза быстрее, чем для средней нагрузки;
2. Время защитного действия респиратора с химически связанным кислородом нелинейно зависит от содержания диоксида углерода при легочной вентиляции $30 \text{ дм}^3/\text{мин}$ и $60 \text{ дм}^3/\text{мин}$, полноты и скорости реакции поглощения CO_2 смесью KO_2 и KOH , температуры плавления KO_2 , KOH , K_2CO_3 , которая влияет на газопроницаемость активной зоны регенеративного продукта в патроне. При этом, в процессе движения воздуха от большего диаметра к меньшему

(центростремительное направление) время работы регенеративного патрона увеличивается.

Научная и практическая значимость работы:

1. Получены теоретические и экспериментальные зависимости снижения содержания диоксида углерода во вдыхаемом спасателем воздухе от полноты и скорости реакции CO_2 со смесью KO_2 и KOH при их взаимодействии в регенеративном патроне;
2. Создана математическая модель тепломассообменных процессов в регенеративном патроне, решение которой и результаты экспериментальных исследований позволили увеличить время жизнедеятельности спасателей при выполнении тяжелых аварийно-спасательных работ;
3. Разработаны техническая документация и научно-технические предложения по усовершенствованию регенеративных патронов, повышению времени защитного действия изолирующего респиратора с комфортными условиями дыхания.

Основные результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс для студентов Академии гражданской защиты МЧС ДНР.

Обоснованность и достоверность положений, выводов рекомендаций подтверждается: корректным использованием основных положений теории тепломассообменных процессов, методов математического анализа; удовлетворительной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, максимальная погрешность которых не превышает 12%; использованием при экспериментальных исследованиях современной аттестованной контрольно-измерительной аппаратуры, обеспечивающей погрешность измерения не выше, чем допускается для задач, рассматриваемых в работе.

Личный вклад соискателя состоит в проведении анализа информационных материалов по конструкции и ресурсу работы регенеративных патронов; формировании цели и основных задач исследований, научных положений и выводов; разработке математической модели тепломассообменных процессов регенерации при центростремительном движении воздушного потока;

проведении экспериментальных исследований в лабораторных условиях и выборе рациональных параметров регенеративного патрона по повышению его времени защитного действия; обобщении и систематизации результатов исследований.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты диссертационной работы были представлены в виде докладов и получили одобрение на: V Всеукраинской научно-практической конференции спасателей (Киев, Украина, 2003); VI Всеукраинской научно-практической конференции спасателей (Харьков, Украина, 2003); VII Всеукраинской научно-практической конференции спасателей (Киев, Украина, 2005); XII Международной научно-практической конференции «Пожарная и аварийная безопасность» (Иваново, Россия, декабрь 2017); Республиканской научной конференции «Безопасность в чрезвычайных ситуациях» (Донецк, ДНР, декабрь 2018); Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны (Москва, Россия, март 2019); Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны (Москва, Россия, февраль 2020).

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в виде 12 статей в научных изданиях России, Донецкой Народной Республики, Украины. Из них 7 статей в специализированных научных изданиях, 5 тезисов докладов в материалах научно-практических конференций различного уровня.

РАЗДЕЛ 1

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Анализ ведения аварийно-спасательных работ с применением изолирующих респираторов

Дальнейшее развитие шахт связано с прохождением очистных и подготовительных выработок на более глубоких горизонтах обуславливает повышение газового содержания угольных пластов и температуры воздуха.

Анализ аварийности на угольных предприятиях свидетельствует, что наибольший удельный вес составляют подземные пожары, взрывы метано-воздушной смеси и внезапные выбросы угля и газа. Эти аварии приводят к созданию в шахте непригодной для дыхания атмосферы, выделению оксида и диоксида углерода. Проведение профилактических мероприятий во многом способствует предотвращению подземных аварий, однако полностью не исключают их возникновения. Все больше времени горноспасателям приходится работать в средствах индивидуальной защиты органов дыхания. На диаграммах приведены аварии происшедшие на территории нашей республики (Рисунки 1.1 1.3).

В период с ноября 2014 года оказана медицинская помощь 3057 пострадавшим, в подземных условиях 142 горнорабочим, эвакуировано из зоны поражения 14868 работников.

С начала 2020 года, ликвидировано 2 аварии, 6 аварийных ситуаций. Оказана медицинская помощь 183 горнорабочим, в том числе 11-ти при ликвидации аварий. Выполнено 16 работ не аварийного характера с использованием респираторов. Эвакуировано из зоны поражения 11 работников.

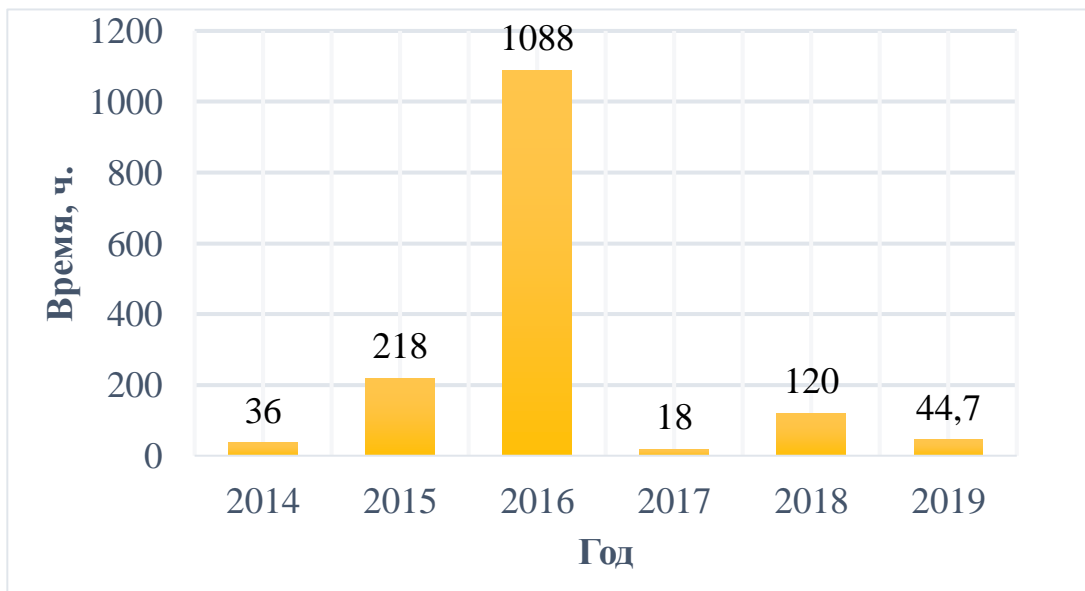


Рисунок 1.1 – Отработано часов в респираторах подразделениями ГВГСС МЧС ДНР для ликвидации аварий

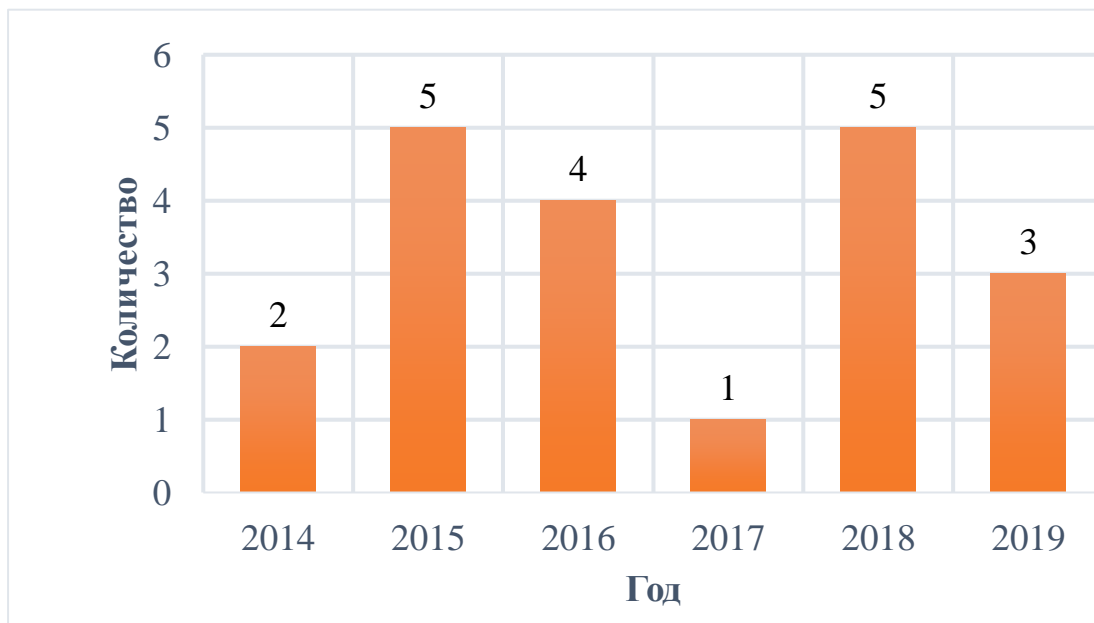


Рисунок 1.2 – Количество аварий с применением респираторов подразделениями ГВГСС МЧС ДНР

Выполнение горноспасательных работ в изолирующих дыхательных аппаратах - респираторах в угольных шахтах связано с усложняющимися горно-геологическими условиями. При этом длительность ведения, трудоемкость, сложность спасательно-восстановительных работ и наносимый ими ущерб здоровью горноспасателя постоянно растут. Особенно тяжело переносятся организмом человека высокие

температура и влажность окружающего воздуха в замкнутом пространстве [97,98,119,122].

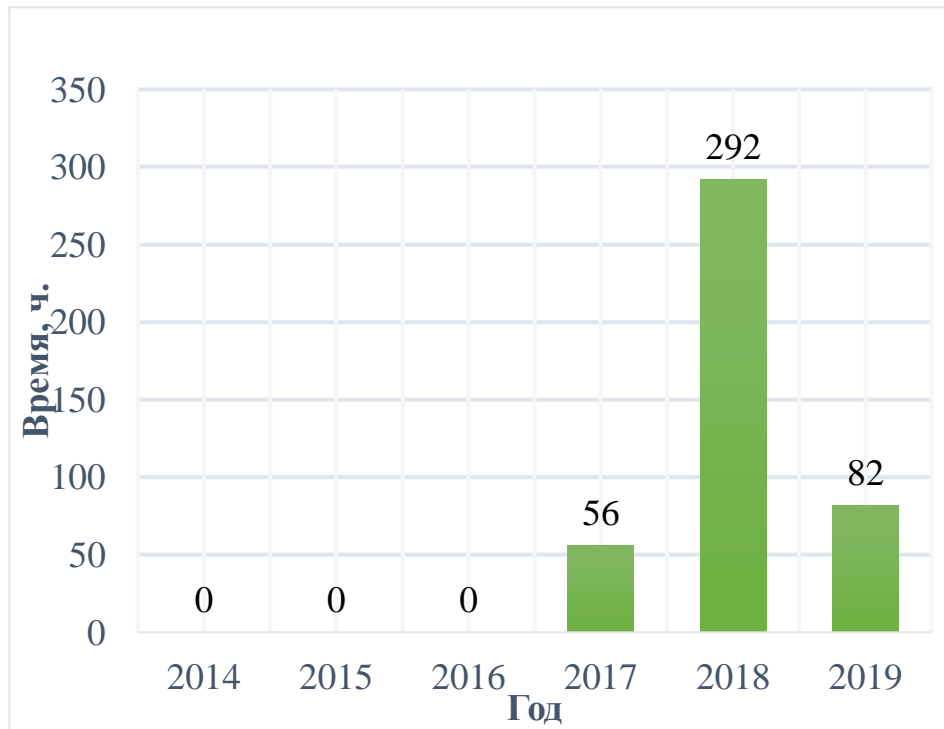


Рисунок 1.3 – Технические работы, проводимые подразделениями ГВГСС МЧС ДНР

Из представленных диаграмм (рисунки 1.1-1.3) видно, на сколько такие аппараты необходимы аварийно-спасательным формированиям для выполнения длительных тяжелых работ, особенно в зоне высоких температур окружающей среды.

1.2. Обзор и анализ существующих моделей респираторов для защиты органов дыхания спасателей

Значительный опыт по созданию изолирующих дыхательных аппаратов с химически связанным кислородом накоплен в НИИГД «РЕСПИРАТОР». Более пятидесяти лет серийно выпускаются и успешно эксплуатируются различные модели изолирующих аппаратов - самоспасателей, предназначенных для выхода горнорабочих из аварийных выработок с загазованной атмосферой с временем защитного действия (далее – ВЗД) от 15 мин до 60 мин. Многочисленными

исследованиями и практикой была подтверждена техническая возможность создания дыхательных аппаратов на такой основе с большим ВЗД (респираторов) и показана перспективность этого направления для ведения аварийно-спасательных работ в горных выработках [3,4,40,42,45,47].

В качестве источника кислорода и поглотителя диоксида углерода в дыхательных аппаратах применяются регенеративные продукты на основе надпероксида калия, сформированного в виде гранул, таблеток или многоканальных блоков. (По заказу НИИГД «РЕСПИРАТОР» НИИ основной химии, г. Харьков, разработан регенеративный продукт в виде гранул диаметром от 2 до 7 мм с названием «ОКЧ») [100].

Несмотря на то, что величина удельной энтальпии воздуха в респираторе с химически связанным кислородом ниже, чем воздуха на выходе из патрона с известковым или щелочным поглотителем диоксида углерода (что создает более комфортные условия дыхания), следствием экзотермического характера протекающих регенеративных процессов являются повышение температуры на вдохе, снижение относительной влажности дыхательной смеси (до 10 %), неоднородный характер отработки продукта, резкое повышение сопротивления дыханию. Это приводит к преждевременному исчерпанию ресурса работы регенеративного патрона при наличии неотработанных гранул продукта.

Первые модели респираторов с химически связанным кислородом (РХ-1 и РТ-66) [25,51,67,102,105], были разработаны институтом в 1965-1968 гг., далее каждая последующая модель респиратора (РХ-2, ШРС-2, РХС, РХ-4) была совершеннее предыдущей по целому ряду параметров: массе, ВЗД, простоте конструкции и удобству обслуживания, условиям дыхания. При этом применялись различные способы влияния на процесс регенерации, которые проверялись экспериментально и были на уровне изобретений [74,75,76,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,93,94]. Техническая характеристика первых моделей респираторов с химически связанным кислородом представлена в таблице 1.1.

Техническая характеристика первых моделей респираторов
с химически связанным кислородом

Показатели назначения	Тип респиратора				
	РХ-1; РТ-66 (1965, 1968 г.)	РХ-2 (1970 г.)	ШРС-2 (1981 г.)	РХС (1985 г.)	РХ-4 (1990 □ 1992 гг.)
1. Гарантированное время защитного действия при работе, ч: - средней тяжести и температуре 22 - 30 °С - средней тяжести и температуре 26 - 60 °С - при тяжелой работе и температуре 22 - 30 °С - в состоянии относительного покоя	6 - 2 12 - 15	2 1,5 1,0 -	2 1,5 - -	2 1,5 - 6	2 или 4 3 2 4 или 12
2. Вместимость дыхательного мешка, дм ³	5,5	7,0	5,5	5,5 - 6,0	6,7
3. Габаритные размеры, мм	450×370×175	460×360 × ×175	286×216× ×130	460×360× ×135	460×360× ×175
4. Масса, кг, не более	11,0	8,5	5,5	8,8	9,2 или 10,5
5. Масса регенеративного продукта в патроне, кг	3,2 - 3,5	1,8 - 2,0	1,9	1,8 - 2,0	2,3 или 3,7
6. Диапазон температур применения, °С	-	-	От минус 10 до плюс 40	От 10 до 60	-
7. Конструктивные особенности	Два регенеративных патрона, газовый счетчик как индикатор отработки продукта, измеряет количество воздуха, проходящего через патроны	-	Двойной дыхательный мешок с избыточным клапаном; лицевая часть – загубник и носовой зажим; круговая схема дыхания	Реализована схема радиального движения воздуха, диаметр патрона равен двум высотам патрона	В патроне радиальное движение воздуха диаметр регенеративного патрона равен 270 мм, электронный индикатор, два дыхательных мешка

Значительные трудности при конструировании регенеративного респиратора с химически связанным кислородом представляли снижение температуры циркулирующего воздуха и его влажность, поскольку степень нагрева и осушения воздуха при его регенерации в патроне очень высока [114]. Эта задача решалась путем применения воздушных холодильников с большой развернутой поверхностью, являющихся одновременно корпусом респиратора и использования принципа теплообмена между вдыхаемым и выдыхаемым воздухом. Рационализацию процесса регенерации достигали также снижением степени спекания регенеративного продукта и уменьшением скорости выделения кислорода [23].

На первых моделях респираторов с химически связанным кислородом отработывали круговую схему циркуляции воздуха, исследовали и апробировали все необходимые конструктивные узлы респиратора. Регенеративный патрон, воздухопроводная система со шлангами, воздухораспределительной коробкой и теплообменником, в которых увлажнялся и дополнительно охлаждался вдыхаемый воздух. Пусковое устройство, дыхательный мешок и индикатор отработки ВЗД респиратора, в качестве которого был использован малогабаритный газовый счетчик анемометрического типа для регистрации расхода воздуха, прошедшего через регенеративный патрон.

Эти модели респираторов с химически связанным кислородом обеспечивали на тот период достаточно благоприятные условия работы в них по сопротивлению дыханию и по микроклимату, имели более простую конструкцию, чем существующие респираторы со сжатым кислородом, выигрывали в массе и габаритах.

Для поддержания температуры вдыхаемого воздуха на благоприятном для дыхания уровне при реакции сорбции диоксида углерода в регенеративном патроне большая часть теплоты отводилась в окружающую среду, рационально увеличивая поверхность воздухопроводной системы, соприкасающейся с атмосферным воздухом, или поглощали в холодильном устройстве респиратора.

Фирмой Локхид (США) в 1978 г. разработан один из первых дыхательных аппаратов с кислородсодержащим продуктом, расположенным в регенеративном патроне слоями на перфорированных сетках, полости между слоями кислородсодержащего продукта на основе надпероксида калия последовательно соединялись каналами [7].

Фирмой Auergesellschaft GmbH (Германия – США), в 1984 - 1989 гг. разработан респиратор с химически связанным кислородом, представляющий собой вариант самоспасателя мундштучного типа с возвратно-поступательным или циркуляционным процессом дыхания, с регенеративным патроном, расположенным внутри дыхательного мешка и теплоизолированным со стороны пользователя.

Во Франции также были известны разработки компактных дыхательных аппаратов с замкнутым циклом с регенеративным продуктом на основе надпероксида калия. Их конструкция характеризовалась увеличенной площадью проходного сечения воздуховода, системой клапанов, обеспечивающих протекание химических реакций при циклическом дыхании.

С середины 1990 г. фирмой MSA Auer GmbH (Германия) разработан и представлен в эксплуатацию дыхательный аппарат с химически связанным кислородом Air Elite 2h (двухчасовой) в качестве рабочего и вспомогательного газозащитного аппарата для горноспасателей. В нем необходимый для дыхания кислород выделялся в дозированном количестве только при химической реакции кислородсодержащего регенеративного продукта с выдыхаемым воздухом с одновременным связыванием водяного пара и диоксида углерода. В связи с высокой стоимостью кислородсодержащего регенеративного продукта, применение этих изолирующих аппаратов ограничивалось лишь для самоспасения.

В Российской Федерации к подобным разработкам для угольной промышленности приступили ориентировочно с 2000 г. В настоящее время известны несколько типов изолирующих самоспасателей и портативных устройств, которые широко внедрены во многих отраслях: это ШС-20,

ШСС-Т, СПИ-20, СПИ-50, ПДУ и др. [65]. ВЗД их составляет от 20 до 60 мин и рассчитано для выхода человека из аварийной зоны.

Из аппаратов с бóльшим ВЗД известен респиратор РХ-90Т [26] с химически связанным кислородом, предназначенный для применения при подземных авариях в непригодной для жизнедеятельности средой. Это средство защиты многоразового действия. В нем используются два регенеративных патрона шахтных самоспасателей ШСС-Т. Использование регенеративных патронов из самоспасателей с ВЗД 50 мин отмечено и в Украине при разработке универсальных противогазов типа УИП [15,16,52,95,107,108].

Принципиальная схема устройства респиратора с химически связанным кислородом представлена на рисунке 1.4.

Респиратор с химически связанным кислородом в своем составе содержит: ранец 1 (защитный корпус), лицевую часть 7, клапаны вдоха 3 и выдоха 4, дыхательные шланги вдоха и выдоха 5 и 6, дыхательный мешок 2, регенеративный патрон 8 с кислородсодержащим регенеративным продуктом на основе надпероксида калия. Лицевая часть (панорамная маска на рисунке не показана) посредством дыхательных шлангов вдоха и выдоха 5, 6 соединена с клапанами вдоха и выдоха 3, 4, через которые сообщается с регенеративным патроном 8 и дыхательным мешком 2.

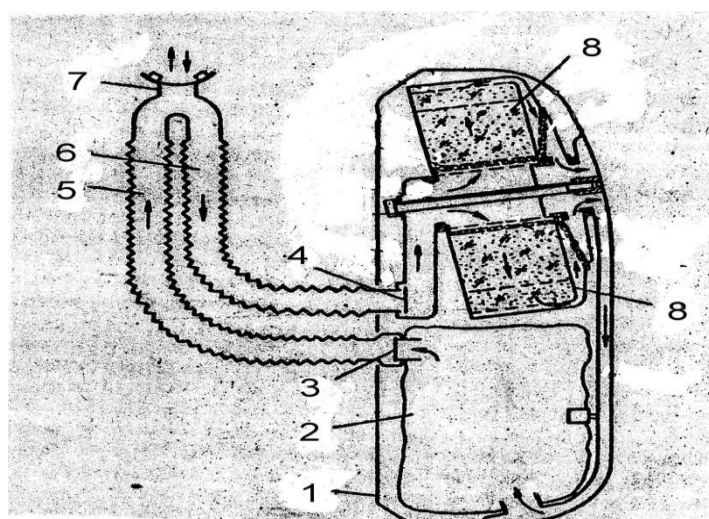


Рисунок 1.4 – Принципиальная схема устройства респиратора с химически связанным кислородом

1 – ранец (защитный корпус); 2 – дыхательный мешок; 3 – клапан вдоха;
4 – клапан выдоха; 5 – дыхательный шланг вдоха; 6 – дыхательный шланг выдоха;
7 – лицевая часть; 8 – регенеративный патрон

В респираторе с химически связанным кислородом выдыхаемый воздух через клапан 4 по дыхательному шлангу 6 поступает в центральную часть регенеративного патрона 8 и радиально расходится к его периферии, где происходит генерирование кислорода с поглощением диоксида углерода и влаги воздуха. Обогащенная кислородом воздушная смесь из регенеративного патрона 8 поступает в дыхательный мешок 2, а из него через клапан вдоха 3 по дыхательному шлангу 5 в лицевую часть 7 (при вдохе).

1.3. Особенности технических конструкций современных респираторов с химически связанным кислородом и тенденции их развития

Имеющийся опыт научных разработок и промышленной эксплуатации дыхательной аппаратуры с химически связанным кислородом послужил основой для создания современных моделей, появившихся в последние годы. Это респираторы с химически связанным кислородом: в НИИГД «РЕСПИРАТОР» □ РХ-4Е, РХ-4П, РХП, ДАХ; в России – РХ-90Т модернизированный и РТ-2 СБР; в Германии – США Air Elite 4h.

Техническая характеристика современных респираторов с химически связанным кислородом, разработанных НИИГД «РЕСПИРАТОР», представлена в таблице 1.2. Респираторы с химически связанным кислородом РХ-4Е и РХП прошли опытную эксплуатацию и были доведены до серийного изготовления, неоднократно применяли горноспасатели в сложных аварийных условиях и хорошо себя зарекомендовали. Респиратор с химически связанным кислородом ДАХ успешно, с положительными результатами, прошел предварительные и приемочные испытания. Техническая характеристика респираторов РХ-4Е, РХП и ДАХ соответствуют требованиям европейских стандартов [41,106,109].

Техническая характеристика современных респираторов с химически связанным кислородом, разработанных в НИИГД «РЕСПИРАТОР»

Показатель	Тип респиратора					
	РХ-4Е (РХ-4П)		РХП		ДАХ	
	регенеративный патрон с ВЗД		регенеративный патрон с ВЗД		регенеративный патрон с ВЗД	
	2 ч	4 ч	2 ч	4 ч	2 ч	4 ч
1 Гарантированное ВЗД, ч, не менее: □ при работе средней тяжести и температуре окружающей среды до 25 °С □ при работе средней тяжести и температуре окружающей среды от 26 до 60 °С - в покое	2	4	2	4	2	4
	2	3	-	3	-	-
	6	12	9	9	6	16
2 Габаритные размеры, мм, не более	460×360×175		460×366×175		460×400×175	
3 Масса, кг, не более	10,2	11,5	11,0	12,0	11,0	12,5
4 Полный срок службы, лет	10 (при замене резиновых комплектующих деталей)		10		10 (при замене комплектующих деталей)	
5 Назначение	Для выполнения длительных, энергоемких работ в зоне повышенных температур окружающей среды		Для выполнения энергоемких работ при высокой температуре окружающей среды		Для выполнения тяжелых горноспасательных и технологических работ при высокой температуре окружающей среды	
6 Конструктивные особенности	Снабжен индикатором отработки регенеративного патрона и дополнительным источником кислорода		Имеется выносное сменное пусковое устройство, длительность перерывов увеличена до 1,5 ч в первой половине ВЗД		Корпус из нержавеющей стали, теплообменник как часть корпуса респиратора, имеется индикатор отработки регенеративного продукта, вынесенное пусковое устройство	

Продолжение таблицы 1.2

7 Диапазон температур применения, °С	От минус 40 до плюс 50 (но включение при положительных температурах)	От минус 5 до плюс 60	От минус 5 до плюс 60
--------------------------------------	--	-----------------------	-----------------------

В респираторах с химически связанным кислородом проблематичным было снижение содержания кислорода во вдыхаемом воздухе в зависимости от физической нагрузки до физиологически оптимального значения (21...50) % и заполнение дыхательного мешка в случае потери дыхательного объема.

Автономный дыхательный аппарат – респиратор с химически связанным кислородом ДАХ имеет ВЗД от 4 до (12...16) ч. в зависимости от физической нагрузки. Принцип резервирования кислорода обеспечивает рациональное расходование его запаса и комфортные условия дыхания. Корпус выполнен из нержавеющей стали. Совмещение теплообменника с корпусом респиратора позволило повысить отведение тепла от вдыхаемого воздуха. Вынесенное сменное пусковое устройство увеличило количество и продолжительность перерывов в работе. Для безопасной эксплуатации респиратор ДАХ снабжен индикатором отработки регенеративного патрона, который звуковым и световым сигналом сообщает об отработке 75 % ресурса регенеративного патрона. Регенеративный патрон этого респиратора, как и респираторов РХС, выполнен с развернутым слоем продукта и некоторыми конструктивными изменениями, что позволило снизить температуру регенерированного воздуха, повысить стабильность сопротивления дыханию и безопасность применения [44,48,50,60,66,103,109].

В конструкции регенеративного патрона с диаметром (270...280) мм и высотой ориентировочно в 2 раза меньшей указанного диаметра предусмотрено радиальное движение воздуха из центрального канала. Такая конструкция регенеративного патрона обеспечивает рациональные условия для отдачи тепла из зоны реакции в окружающую среду за счет его общей большой поверхности (ориентировочно 390 см²), большой площади соприкосновения регенеративного

продукта с металлической поверхностью корпуса и сравнительно малой толщиной слоя регенеративного продукта. Кроме того, выполнение теплогазораспределителя с различным числом секций (от 4 до 16) способствует активации процесса регенерации.

ОАО «Корпорация «Росхимзащита» разработан модернизированный респиратор РХ-90ТМ с одним регенеративным патроном двухчасового действия, обеспечивающий европейский уровень требований по комфортности дыхания, масса его составляет 6,8 кг. (Первоначальная модель респиратора РХ-90Т состояла из двух регенеративных патронов, применяемых в самоспасателях с ВЗД по одному часу). Респиратор имеет закрытый корпус, что обеспечивает надежную защиту функциональных узлов от механического воздействия. Современная подвесная система уменьшает влияние фактора массы респиратора на работоспособность человека [17,19,20]. Респиратор РХ-90ТМ применяется для оснащения вспомогательных и профессиональных горноспасательных служб в Российской Федерации. В основном исполнении в качестве лицевой части используются загубник, носовой зажим и защитные очки. По требованию заказчика может комплектоваться современными панорамными масками.

Специалисты ОАО «Корпорация «Росхимзащита» совершенствуют свои изделия не только с помощью конструкторских идей, таких как: размещение регенеративного патрона внутри дыхательного мешка, установка улавливателей избыточной влаги перед регенеративным патроном, фильтрующих устройств, возможность замены регенеративных патронов без выключения из респиратора и др. и, в первую очередь, разрабатывая модификации состава известного регенеративного продукта ОКЧ, а также новые регенеративные кислородсодержащие сорбенты и поглотители.

Так создана уникальная технология регенерации воздуха в средствах защиты органов дыхания на химически связанном кислороде - технология сбалансированной регенерации, при которой выделение кислорода происходит адекватно потребности пользователя, следствием которой является новый вид респиратора РТ-2СБР [39], разработанного в 2009 г. Это изолирующий

дыхательный аппарат со сбалансированной регенерацией выдыхаемой газовой смеси длительного пользования многоразового действия, отличающийся экономным использованием регенеративного продукта, которого требуется в два раза меньше, чем в обычных респираторах с химически связанным кислородом. В связи с этим значительно уменьшено тепловыделение.

Респиратор РТ-2СБР имеет два патрона: регенеративный РП-СБР, снаряженный кислородсодержащим продуктом нового состава и нового поколения, где происходит регенерация выдыхаемого воздуха, и поглотительный ПП-СБР, где дополнительно газовая дыхательная смесь очищается от диоксида углерода. Система «регенеративный патрон – поглотительный патрон» поглощает выдыхаемый пользователем диоксид углерода и выделяет практически только необходимый для дыхания кислород, что позволило улучшить физиолого-гигиенические характеристики дыхательного аппарата: снизить температуру вдыхаемого воздуха и сопротивление дыханию, а также обеспечить поддержание оптимальной по медицинским нормам концентрации кислорода во вдыхаемом воздухе (от 20 до 50 %) и полное отсутствие сброса кислорода в окружающую среду.

В Германии – США в 2004 - 2005 гг. респиратор Air Elite 2h доработан до допущенной для горной промышленности версии Air Elite 4h (ВЗД - 4 ч): усовершенствован механизм охлаждения воздушного потока, введены теплообменник в дыхательный контур, электронная система пуска, диагностики и регистрации расхода кислородсодержащего регенеративного продукта на основе надпероксида калия; два патрона с таким продуктом, соединенные параллельно, два дыхательных мешка (вдоха и выдоха). Оснащение всех горноспасательных команд такими респираторами для продолжительных работ на аварийных участках не предусматривается в связи с высокой стоимостью кислородсодержащего регенеративного продукта.

Дыхательный аппарат Air Elite 4h пригоден для использования только в газообразной среде, его, как и другие аналогичные аппараты с химически связанным кислородом, нельзя использовать под водой. Это аппарат замкнутого

цикла с регенерацией дыхательной смеси, происходящей в сменных патронах, заполненных кислородсодержащим регенеративным продуктом на основе надпероксида калия. Выделившееся тепло экзотермической реакции регенерации поглощается специальным материалом, который также поглощает и бактерии. Противопылевой фильтр задерживает частицы и пыль регенеративного продукта. В результате, на вдох поступает очищенная, насыщенная кислородом, прохладная и сухая газоздушная смесь. Электронное контрольное устройство IC-Air автоматически определяет тип используемых регенеративных патронов (2 ч, 4 ч или учебный для тренировок), а также рассчитывает соответствующую их остаточную емкость в процентах. Данная емкость отображается на электронном мониторе и дополняется звуковыми предупреждающими сигналами, когда остаточная емкость кислородсодержащего регенеративного продукта достигает уровней 50, 20 и 5 %. Крышка корпуса респиратора – пластмассовая, ударопрочная, с антистатической обработкой и самогасящаяся. Конструкция регистратора обладает высоким комфортом при эксплуатации и с минимальным количеством операций по обслуживанию.

Известны модели регенеративных респираторов с химически связанным кислородом, которые по основному принципу действия продолжают одну конструктивную линию, но отличаются разным подходом к решению вопросов повышения ресурса работы и создания в них благоприятных микроклиматических условий дыхания [24,69,71,123]. Повышение эффективности работы таких изолирующих респираторов и улучшение их эксплуатационных характеристик осуществляются как изменением конструкции регенеративного патрона, введением новых конструктивных внутренних элементов патрона, которые меняют направление движения потока регенерируемого воздуха и, следовательно, характер отработки кислородсодержащего регенеративного продукта, так и изменением его химического состава, геометрической формы, а часто это выполняется совместно [70,115].

1.4. Анализ результатов выполненных ранее исследований по разработке респираторов с химически связанным кислородом

Специалисты НИИГД «Респиратор» работают над усовершенствованием средств защиты дыхания горноспасателей в основном путем изменения конструкции регенеративного патрона, типов теплогазораспределителей, холодильных и теплообменных устройств, поскольку доступ к современным регенеративным продуктам ограничен.

Конструкторские разработки направлены на устранение или смягчение воздействия высокой температуры, возникающей в зоне реакции регенерации, путем введения различных форм и конструкций распределительных элементов воздушного потока, с различным количеством пластин, граней, камер, которые равномерно распределяют газоздушный поток и способствуют улучшению работы регенеративного продукта и параметров всего изделия. Для этой цели отрабатываются форма регенеративного патрона в зависимости от поставленной задачи (круглая, овальная, цилиндрическая); способ расположения регенеративного продукта в регенеративном патроне – «насыпью», послойно, с выделением лобового слоя и промежуточных воздушных камер, с делением массы регенеративного продукта на отдельные зоны; габаритные размеры регенеративного патрона; соотношение диаметра регенеративного патрона к его высоте. Исследуются и механические смеси кислородсодержащего регенеративного продукта ОКЧ с различными поглотителями диоксида углерода (с гидроксидами лития или калия), но к значительному улучшению сорбционных показателей регенеративного продукта ОКЧ они не приводят, наоборот, уменьшается ВЗД регенеративных патронов, снаряженных подобными смесями [27,112,113].

Основным элементом по улучшению работы кислородсодержащего регенеративного продукта на основе надпероксида калия в дыхательном аппарате, является теплогазораспределитель – металлическая деталь с ребристыми и гофрированными пластинами, паукообразная, которая позволяет обеспечить

лучшее распределение выделяющегося тепла и регенерируемого воздуха по слоям регенеративного продукта и отвод избытка тепла на корпус регенеративного патрона и далее в окружающую среду [121]. Вследствие этого снижается вероятность возникновения зон локального перегрева в слое регенеративного продукта, приводящего к его спеканию. Это позволяет повысить степень отработки регенеративного продукта в регенеративном патроне и снизить гидравлическое сопротивление дыханию пользователя. Конструктивное выполнение регенеративного патрона за счет практически рационального тепломассопереноса в процессе регенерации благодаря движению газовых потоков по всему объему регенеративного продукта существенно снижает спекание и образование агломератов компонентов регенеративного продукта, ведущих к затруднению диффузии и неполной отработке слоев регенеративного продукта.

Тепломассоперенос по объему регенеративного продукта направлен на то, чтобы теплогазораспределитель обеспечивал такое движение газовых потоков, при котором осуществлялся бы контакт с регенерируемым воздухом каждой гранулы регенеративного продукта. И тогда бы не наблюдалось эвтектическое оплавление гранул регенеративного продукта, ведущее к затруднению диффузии водяных паров и диоксида углерода [120].

Теплогазораспределитель создает оптимальные условия для протекания хемосорбционных, диффузионных, тепловых и аэродинамических процессов, поскольку он обеспечивает доступ воздушного потока ко всему объему регенеративного продукта, а «проскок» воздушного потока исключается его барьерными перегородками.

Значительный вклад в исследовании по разработке респираторов с химически связанным кислородом внесли: Н.С.Диденко, С.Г.Ехелевский, В.В.Пак, Э.Г.Ильинский, Е.И.Конопелько, В.К.Овчаров, Л.А.Зборщик, Р.С.Плетенецкий, С.Б.Путин и др. [28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38].

Благодаря тому, что в регенеративном патроне поглощается влага, вдыхаемый воздух, несмотря на повышение температуры, сохраняет некоторую

охлаждающую способность за счет влаги, испаряющейся в легких или в верхних дыхательных путях.

Повышение эффективности охлаждения вдыхаемого воздуха путем его турбулизации и снижения влажности может быть достигнуто за счет введения воздушных холодильников между лицевой частью и дыхательным мешком, холодильником с охлаждающим элементом в виде брикета водяного льда, а также за счет увеличения охлаждающей поверхности дыхательного мешка, дыхательных шлангов и регенеративного патрона (например, гофрированием перегородок, обечаек, каналов).

Введение в конструкцию респиратора с химически связанным кислородом теплообменника также способствует улучшению его эксплуатационных свойств за счет чередующихся процессов конденсации и испарения влаги при выдохе-вдохе. Теплообменник может быть полый, но чаще он заполняется насадкой в виде металлических проволочек, стружек, сеток, силикагеля или другого влагоемкого материала.

Одним из важных направлений повышения ресурса регенеративного патрона являются разработка, синтез и использование новых регенеративных продуктов. К хемосорбентам диоксида углерода, т.е. регенеративным продуктам, предъявляются следующие основные технические требования: высокая сорбционная емкость по поглощению диоксида углерода; сопротивление потоку проходящего через них воздуха должно быть как можно ниже; увеличение удельной энтальпии очищаемого воздуха должно быть небольшим; регенеративный продукт должен быть прочным на истирание, пористым и при работе не выделять веществ в виде газа, пара или аэрозолей, раздражающих органы дыхания [64]. Кроме того, регенеративный продукт должен длительное время сохранять свои поглотительные свойства и изготавливаться из недефицитного и сравнительно дешевого материала. Об этих свойствах описано в работах С.Г. Ехелевского, В.В. Пак.

В регенеративном патроне в зоне реакции развивается значительная температура (от 200 до 400 °С), в результате которой выделяющееся большое количество теплоты приводит к сильному нагреванию проходящего воздуха,

самого регенеративного продукта и корпуса регенеративного патрона. В некоторых случаях чрезмерное разогревание регенеративного продукта может привести не только к его оплавлению, спеканию, но и к термическому разложению.

Способность основного компонента регенеративного продукта надпероксида калия легко плавиться в процессе отработки респиратора требует введения в рецептуру армирующих и структурирующих добавок. В рецептуре кислородсодержащего регенеративного продукта ОКЧ эту роль играют оксид кальция и хризотилловый асбест. Этот регенеративный продукт известен с 70-х годов прошлого столетия, широко апробирован, хорошо себя зарекомендовал, но вместе с тем обладает свойствами, которые требуют улучшения и усовершенствования (например, пористость, прочность, безопасность).

Известно, что с целью повышения эффективности использования регенеративного продукта типа ОКЧ его нынешними разработчиками вводились стабилизаторы на основе гидроксида магния и сульфата магния и структурообразующие добавки оксида кремния (форма наноразмерного волокна). Для уменьшения спекаемости регенеративного продукта вносились в определенном соотношении хлориды калия или натрия, оксид лития, но при этом вместе с улучшением эксплуатационных характеристик регенеративного продукта ухудшались его сорбционные показатели или наоборот. До серийного изготовления такой регенеративный продукт не дошел.

В настоящее время ОАО «Корпорация «Росхимзащита» (ранее ФГУП «ТамбовНИХИ»), проводит научно-исследовательские работы по синтезу и разработке качественно новых регенеративных продуктов на основе пероксосоединений (пероксидов и надпероксидов) щелочных и щелочноземельных металлов (натрия, калия, лития, кальция, магния), в первую очередь – на основе надпероксида калия, различного состава и формы (гранулы неправильной формы, таблетки и многоканальные блоки).

Начиная с 2002 года, проводится разработка технологии синтеза надпероксида калия на пористой подложке или эластичной матрице. Новый регенеративный продукт обладает повышенной сорбционной способностью, в (1,6...1,7) раза больше

серийно выпускаемого продукта ОКЧ-3. С разработкой новой технологии станет возможным получение регенеративного продукта различной геометрической формы оптимального химического состава, в том числе и многокомпонентного, с максимально развернутой поверхностью и регулируемым содержанием активного кислорода. Разрабатываемая технология позволяет получать композитные, а в перспективе и наноструктурированные регенеративные продукты и хемосорбенты с заданными свойствами [104].

Известен экспериментальный образец регенеративного продукта на основе надпероксида калия, который представляет собой кристаллы, закрепленные на стекловолокне, выполняющем роль матрицы; высокая эффективность работы регенеративного продукта обеспечивается за счет его развитой активной поверхности. Вместе с тем, такой регенеративный продукт, закрепленный на минеральной матрице, обладает высокой химической стойкостью: он не воспламеняется даже при смешивании с маслом.

Разработан новый регенеративный продукт с регулярной формой насадки, который обеспечивает стабильность регенерационных характеристик и снижение сопротивления дыханию в дыхательных изолирующих аппаратах по сравнению с зерненным регенеративным продуктом ОКЧ. Это происходит вследствие перевода режима потока газовой дыхательной смеси из турбулентного в ламинарный при прохождении через регенеративный патрон.

Разработан регенеративный продукт типа ОКЧ, в составе которого заменен хризотилловый асбест (2...4) % нетоксичным ингредиентом, например, волластонитом CaSiO_3 .

Перечисленные выше новые композиции регенеративных продуктов, разработанные ОАО «Корпорация «Росхимзащита» и известные только из публикаций, являются опытными образцами, серийно не изготавливаются, но в своих изделиях – макетах, изделиях так называемого «нового уровня» - авторы разработок их иногда используют. Это касается и применения для футляров дыхательной аппаратуры новых композитных материалов, таких как антистатичная пластмасса, дополнительно усиленная вспененным компаундом. В конструкции

регенеративного патрона самоспасателя ШСС-ТМ применен новый материал в виде пластин из пеноникеля, имеющего поры. Через них проходит газовая дыхательная смесь (ГДС), при этом пеноникель выполняет двойную функцию – фильтра грубой очистки аэрозоля, образующегося при реакции регенеративного продукта с ГДС, и дополнительного теплообменника.

Цель и задачи исследований

На основании результатов ранее проведенных исследований основными тенденциями развития респираторов с химически связанным кислородом целью работы является раскрытие закономерностей регенерации в патроне изолирующего респиратора от газокинетических факторов, определяющих тепловой эффект реакции, теплообмена, концентрации диоксида углерода при дыхании спасателя и времени, на основании которых обеспечить повышение времени его защитного действия и комфортные условия его дыхания.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать расчетную схему регенеративного патрона респиратора с радиальным центростремительным направлением движения выдыхаемого воздуха;
- разработать математическую модель основных тепломассообменных процессов в регенеративном патроне с радиальным центростремительным направлением движения воздушной смеси;
- исследовать физико-химические процессы в регенеративном патроне с выделением кислорода и образованием влаги;
- выполнить экспериментальные исследования влияния направления движения газовой смеси, конструктивных параметров теплогазораспределителя на регенеративные процессы в усовершенствованном патроне респиратора и определить его работоспособность при различных режимах нагрузок;
- разработать предложения по повышению ресурса работы регенеративного патрона респиратора и тактических возможностей горноспасателей при ведении аварийно-спасательных работ.

РАЗДЕЛ 2**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕГЕНЕРАЦИИ ВОЗДУХА В ИЗОЛИРУЮЩЕМ РЕСПИРАТОРЕ С ХИМИЧЕСКИ СВЯЗАННЫМ КИСЛОРОДОМ****2.1 Общая методика и основные методы исследований**

Разработана общая методика и основные методы исследований (Рисунок 2.1), откуда следует объект и предмет исследований.

Время защитного действия спасателя в изолирующем респираторе с химически связанном кислороде зависит от основных его параметров

$$\tau = F(T, R, B, C, \text{CO}_2), \quad (2.1)$$

где T – температура вдыхаемого воздуха, °С;

R – сопротивление дыханию, Па (мм. рт. ст.);

B – влажность, %;

C – концентрация газовой смеси, %;

CO_2 – диоксид углерода, %.

В соответствии с выбранной расчетной схемой и функциональной зависимости (рис. 2.1) сформулированы основные требования к респиратору на химически связанном кислороде.

Теоретические исследования посвящены: физико-химическим процессам в регенеративном патроне и определения содержания диоксида углерода в конце времени защитного действия с плавлением регенеративного продукта; разработке математических моделей распределения температуры в регенеративном патроне и поля концентрации в сплошной среде с ограниченными размерами с решением

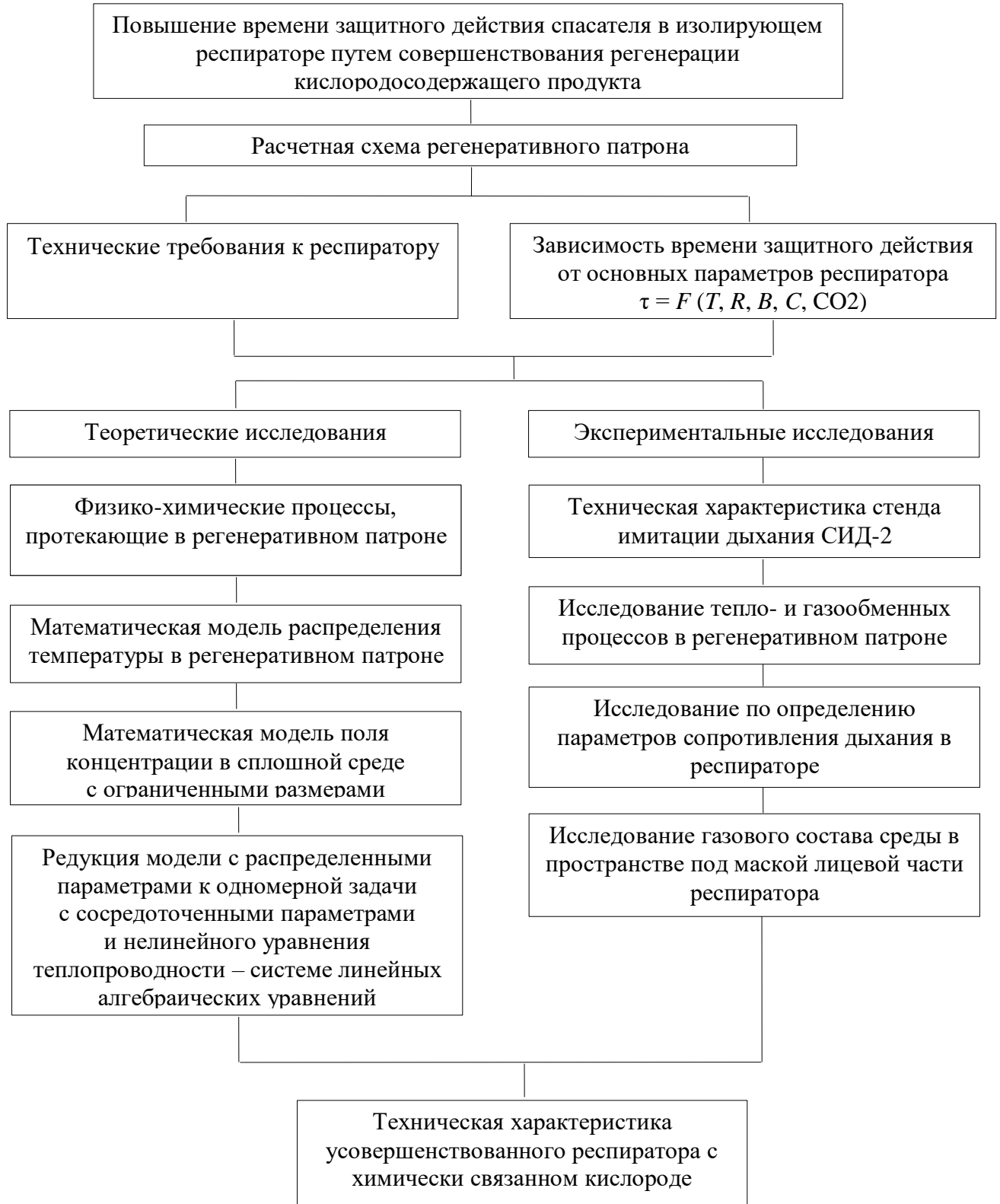


Рисунок 2.1 – Структурная блок-схема общей методики и основных методов исследований тепло - и газообменных процессов в респираторе с химически связанным кислородом

дифференциальных уравнений: теплопроводности и диффузии, которые в дальнейшем редуцированы с приведением моделей с распределенными параметрами к одномерной задаче с сосредоточенными параметрами и к системе алгебраических уравнений для определения основных параметров распределения температуры в респираторе.

Работа выполнена в следующей последовательности.

Экспериментальные исследования поглощения диоксида углерода при регенерации воздуха в респираторе проведены в лабораторных условиях с использованием стенда-имитатора дыхания СИД -2 НИИГД «Респиратор».

Проведены исследования тепло- и газообменных процессов в разработанном регенеративном патроне, а также газового состава среды в пространстве под маской лицевой части респиратора.

На основании полученных результатов теоретических и экспериментальных исследований определены конструктивные, технологические параметры и техническая характеристика усовершенствованного респиратора с химически связанным кислородом, разработаны предложения по повышению его ресурса, определен экономический эффект от внедрения результатов работы.

2.2 Расчетная схема регенеративного патрона респиратора и основные к нему требования

Разработана схема регенеративного патрона респиратора с центростремительным движением воздуха (Рисунок 2.2).

Сверху на регенеративном патроне была размещена внутренняя крышка в виде пластины круглой формы 5 с отверстием в центре для винта 4, высверливались отверстия 14 в центральной алюминиевой вставке, заглушались заводские отверстия на боковой поверхности алюминиевой вставки с помощью специальной пластины 15.

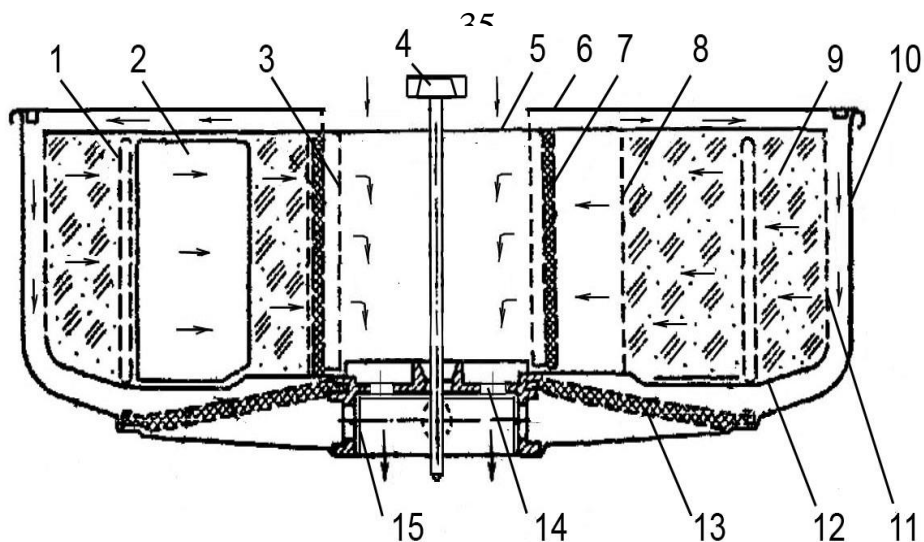


Рисунок 2. 2 – Схема регенеративного патрона, усовершенствованного с центростремительным движением воздушного потока

1 – дополнительная перфорированная распределительная камера; 2 – пластина теплогазораспределителя, 3 – центральная перфорированная трубка, 4 – винт; 5 – внутренняя крышка; 6 – наружная крышка; 7 – центральная обечайка; 8 – гофрированная центральная обечайка; 9 – кислородсодержащий регенеративный продукт, 10 – корпус регенеративного патрона, 11 – перфорированная обечайка, 12 – дно, 13 – противопылевой фильтр, 14 – дополнительные отверстия; 15 – пластина-заглушка заводских отверстий

Работа регенеративного патрона заключается в следующем. При выдохе воздух из воздухопроводной системы респиратора поступает в пространство между наружной 6 и внутренней 5 крышками, дальше движется к периферии регенеративного патрона, проходит через перфорированную обечайку 11 в толщину кислородсодержащего регенеративного продукта 9. В результате экзотермической реакции регенерации нем выдыхаемый воздух освобождается от диоксида углерода, насыщаясь кислородом. Проходя между гранулами продукта к центральной перфорированной трубке 3, воздух выходит через нее и противопылевой фильтр, находящийся на центральной обечайке 7, в теплообменник и дыхательный мешок вдоха (на рисунке не показаны).

В патроне осуществлена радиальная схема движения регенеративного воздуха.

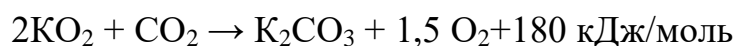
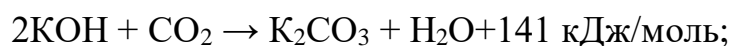
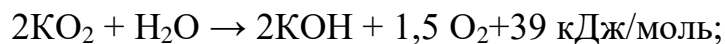
Согласно основным требованиям ДСТУ 3856-99 «Респираторы изолирующие регенеративные для горноспасательных работ. Общие технические требования и методы испытаний» при средней дыхательной нагрузке (дыхательный режим № 5) и нормальной температуре (25 - 1) °С окружающей среды гарантированное ВЗД респиратора РХ (до проскока 1,5 % CO₂) должно быть не менее 120 мин для 2-х часового патрона. При других условиях, например, при повышенной температуре до 60 °С окружающей среды и легочной вентиляции 60 дм³/мин (тяжелая нагрузка - дыхательный режим № 10) ВЗД не нормируется, а устанавливается его фактическое значение.

2.3 Физико-химические процессы, протекающие в регенеративном патроне

Разработка новых моделей дыхательных аппаратов связана с поиском новых и усовершенствованием уже известных сорбентов диоксида углерода и регенеративных продуктов. Надпероксид калия, активно реагирующий с влагой и диоксидом углерода CO₂ с одновременным выделением кислорода и поглощением эквивалентного количества CO₂, используется в регенеративных дыхательных аппаратах горноспасательных и пожарных команд достаточно длительное время. Однако возможность повышения эффективности использования регенеративного продукта на основе надпероксида калия еще далеко не исчерпана. Поэтому исследование процессов регенерации, перехода веществ из одного агрегатного состояния в другое, факторов, влияющих на протекание реакций массо- и теплообмена является актуальной задачей, решение которой позволит снизить массо-габаритные характеристики дыхательного аппарата и улучшить комфортность дыхания.

При протекании регенеративного процесса в изолирующих аппаратах с надпероксидом калия происходят химические реакции, связанные с поглощением

из выдыхаемого человеком воздуха водяных паров и диоксида углерода CO_2 и образованием кислорода. Регенеративный процесс описывается следующими уравнениями основных химических реакций.



Кроме указанных химических процессов происходят и физические процессы, связанные с массо- и теплообменом, плавлением и спеканием продуктов реакции, которые в настоящее время являются предметом всестороннего изучения.

Известно, что на регенеративный процесс оказывают влияние температура, соотношение диоксида углерода к влаге ($\text{CO}_2 : \text{H}_2\text{O}$) в газовой смеси, скорость газового потока и др.

Возможно протекание еще ряда второстепенных реакций, связанных с образованием второстепенных продуктов: кристаллогидратов, гидроксида калия KOH и карбоната калия K_2CO_3 .

Надпероксид калия отличается высоким коэффициентом регенерации. Отношение выделяемого кислорода к поглощенному CO_2 равно 1,5 [111,118], что близко к оптимальному значению, определяемому дыхательным коэффициентом человека.

При взаимодействии KO_2 с водяными парами при температуре 19°C и выше выделяется весь активный кислород с образованием гидроксида калия KOH и его гидратов, реакция протекает с уменьшением объема. Гидроксид калия KOH взаимодействует с CO_2 и в зависимости от условий образуется карбонат калия K_2CO_3 или бикарбонат калия KHCO_3 . В реальных условиях использования KO_2 для регенерации воздуха, выдыхаемого человеком, реакция протекает в

присутствии значительного количества влаги, соответствующего насыщению при температуре среды. Первичный акт – образование гидроксида калия, вторичный – образование карбоната калия. В определенных условиях, т.е. при температуре (20...100) °С (преимущественно при 60 °С) протекает реакция с образованием бикарбоната калия KHCO_3 .

В связи с тем, что в зоне реакции температура достигает (200...400) °С, кристаллогидраты и бикарбонат калия, как термодинамически неустойчивые соединения, разлагаются и не являются конечными продуктами регенеративного процесса. Ими будут гидроксид калия и карбонат калия.

Наряду с этими процессами в зоне реакции может также происходить термическое разложение KO_2 с образованием пероксида или даже оксида калия и выделением кислорода. В литературе не приводятся данные о температуре начала и интенсивного разложения KO_2 в среде с большой массовой долей кислорода. Механизм разложения KO_2 сложен, особенно в условиях регенеративного процесса. Известно, что энергия активации реакции разложения KO_2 равна 239 кДж/моль.

В завершающей стадии регенеративного процесса, в результате плавления эвтектик $\text{KOH} - \text{K}_2\text{CO}_3 - \text{KO}_2$, образуется жидкая фаза веществ, интенсивно поглощающая водяные пары и диоксид углерода. В результате протекающих при этом теплообменных процессов создаются условия, при которых наступает спекание отработанных продуктов реакций с образованием плотной когерентной массы.

Регенеративный процесс в гранулированном сорбенте в регенеративном патроне дыхательного аппарата имеет свои особенности, что требует исследования и обоснования.

Рассмотрен механизм поглощения водяных паров надпероксидом калия KO_2 в гранулированном сорбенте в регенеративном патроне. При взаимодействии надпероксида калия с водяными парами выдыхаемого воздуха в начале процесса на поверхности гранулы происходит гидролиз KO_2 с образованием гидроксида калия KOH и кислорода. Гранула регенеративного продукта покрывается пленкой

насыщенного раствора КОН, который реагирует с CO_2 с образованием KHCO_3 на начальной стадии процесса или K_2CO_3 – на последующих стадиях. Так как относительная влажность выдыхаемого воздуха (98...100 %) выше гигроскопической точки карбоната калия (42 %), а молярное отношение $\text{H}_2\text{O} / \text{CO}_2 > 1$, то на поверхности карбоната калия в результате поглощения влаги образуется пленка насыщенного раствора карбоната калия – кристаллогидрат покрыт пленкой насыщенного раствора [14]. При таких условиях протекания хемосорбционных процессов скорость поглощения влаги выше скорости образования полутораводного кристаллогидрата.

При поглощении CO_2 раствором карбоната калия образуется бикарбонат, поверхностный слой перемещается вглубь гранулы. При протекании этих процессов движение влаги может происходить в виде пара или жидкости. В случае существования поверхностной пленки насыщенного раствора влага к последующим слоям KO_2 движется в виде жидкости. Поверхностный слой будет состоять из веществ $\text{KHCO}_3 / \text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 1,5 \text{H}_2\text{O} / \text{K}_2\text{CO}_3 / \text{KOH}$.

Указанный механизм сорбции H_2O и CO_2 имеет место при температуре в зоне реакции до 100°C , выше которой KHCO_3 разлагается на карбонат калия, воду и диоксид углерода. При температуре 138°C полутораводный кристаллогидрат и другие гидраты не существуют, KHCO_3 разлагается с достаточной скоростью в интервале температур $100...200^\circ\text{C}$. Реакция протекает с нарастающей скоростью, которая проходит через максимум и убывает до нуля. Энергия активации разложения KHCO_3 равна 45 кДж/моль .

После разложения кристаллогидратов и бикарбоната калия диоксид углерода CO_2 поглощается только КОН с образованием K_2CO_3 . Этот процесс в значительной степени зависит от диффузии H_2O и CO_2 в зону реакции, т.е. к гигроскопическому ядру KO_2 . При рассмотрении разреза отработанной гранулы регенеративного продукта установлено, что содержание $\text{K}_2\text{CO}_3 / \text{K}_2\text{CO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ уменьшается, а содержание КОН увеличивается. Поглощение воды значительно, и она не участвует в стехиометрическом превращении KO_2 -КОН. Поэтому часто

в уже «отработанном» регенеративном продукте содержится целое ядро, что объясняется приведенными выше причинами.

При протекании регенеративного процесса в результате химических реакций поглощения H_2O и CO_2 и образования кислорода в отработанном продукте накапливаются гидроксид калия и карбонат калия. Эти вещества образуют в присутствии неотработанного KO_2 эвтектические (плавящиеся при более низких температурах, чем исходные компоненты) смеси $\text{KOH} - \text{K}_2\text{CO}_3 - \text{KO}_2$. Температура плавления KOH , K_2CO_3 и KO_2 – соответственно 404, 891 и 535 °С. Эффективность поглощения CO_2 и интенсивность процесса спекания зависит от накопления в продукте наиболее легкоплавкого из перечисленных веществ – т.е. от KOH .

Образованию и накоплению KOH и, как следствие, быстрому образованию легкоплавких эвтектик, благоприятствует увеличение количества влаги, содержащейся в газовой смеси, поступающей в регенеративный патрон. Тогда как при уменьшении влагосодержания в выдыхаемой газовой смеси скорость образования эвтектик уменьшается, что способствует увеличению активного периода работы дыхательного аппарата.

Таким образом, регулирование и поддержание необходимой абсолютной влажности выдыхаемого воздуха (например, при помощи кондиционирования) способствует экономному расходованию кислорода и эффективному поглощению диоксида углерода CO_2 .

Следует отметить, что на разных этапах работы дыхательного аппарата, исходя из необходимости обеспечения большей степени поглощения CO_2 , требуется разное абсолютное влагосодержание воздуха, поступающего в регенеративный патрон. Так, в начале работы дыхательного аппарата кондиционирования выдыхаемого воздуха не требуется, так как скорость протекания хемосорбционных процессов на этой стадии регенеративного процесса тем больше, чем больше влаги поступает на регенеративный продукт. На последующих стадиях кондиционирование весьма желательно, и его возможно

осуществлять физическими или химическими способами с применением гигроскопических материалов или веществ-осушителей.

Наряду с химическими процессами, связанными с поглощением H_2O и CO_2 и образованием кислорода, в регенеративном патроне протекают физические процессы, связанные с массо- и теплообменом. Последние оказывают значительное влияние на регенеративный процесс, ускоряя или замедляя его. Накопление тепла в патроне, с одной стороны, интенсифицирует протекание химических реакций, а с другой, способствует повышению температуры в регенеративном патроне, вызывая плавление вышеуказанных образующихся эвтектик продуктов реакций и исходных веществ с последующим их спеканием (Рисунок 2.3). В зависимости от полноты и интенсивности этого спекания, а также конструктивных особенностей регенеративного патрона, особенно его теплогазораспределителя, образуется конгломерат частиц различной плотности: от пористого до весьма плотного. Спекание с образованием плотной массы продукта вызывает значительное повышение сопротивления дыханию, вплоть до значений физиологически непереносимых для пользователя и превышающих нормативное значение. Общее количество образовавшейся теплоты на один грамм CO_2 теоретически может достигать 1,55 кДж, что обуславливает повышение температуры в зоне реакции в регенеративном патроне самоспасателя до 400 °С. Поэтому для повышения комфортности дыхания в аппарате должны быть созданы такие условия протекания регенеративного процесса, при которых исключалось бы интенсивное спекание продуктов реакции. Среди многих способов добиться этого основной – изменение конструкции регенеративного патрона, как основного конструктивного и функционального элемента респиратора.

Превалирующее влияние из всех конструктивных элементов патрона на процессы теплопереноса оказывает теплогазораспределитель – конструктивный элемент, обеспечивающий разделение регенеративного продукта на отдельные секции, что препятствует образованию спекшихся агломератов и повышению сопротивления дыханию. Также теплогазораспределитель обеспечивает вынос

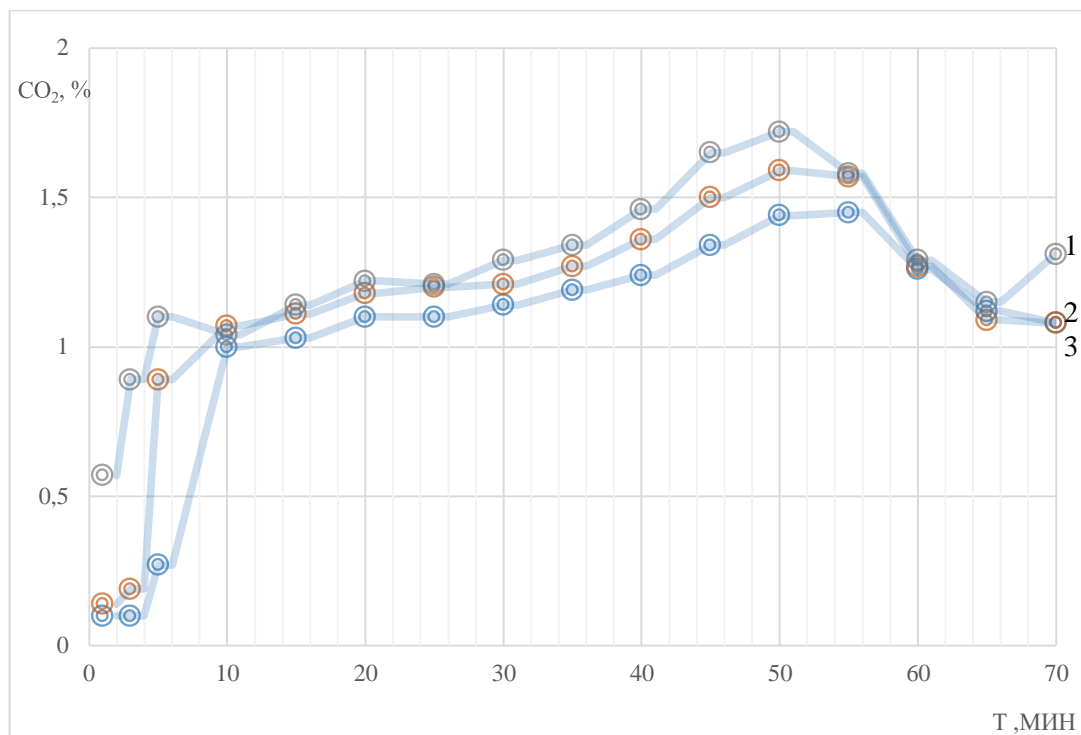


Рисунок 2.3 – Диаграмма содержания диоксида углерода в конце времени защитного действия с плавлением регенеративного продукта

теплоты из активной реакционной зоны и более равномерное ее распределение по массе регенеративного продукта. Из-за низкого коэффициента теплопроводности регенеративного продукта и воздушных каналов между его гранулами основной вклад в распределение теплоты в регенеративном патроне вносит именно теплогазораспределитель. Наиболее перспективно применение теплогазораспределителей (также, как и теплообменников [21]) из материалов с высоким коэффициентом теплопроводности (медь, алюминий), тогда как применяемые в настоящее время теплогазораспределители из стали не обеспечивают максимально возможного теплопереноса.

При исследовании математических моделей регенеративного процесса в патроне респиратора (созданных при помощи методов математической физики и численным методом матричной прогонки для краевых задач со смешанными краевыми условиями в безразмерном виде) выявлены различия в протекании данных процессов в патроне с развернутой шихтой, в зависимости от направления газо-воздушного потока. Исходя из этого установлено, что при осуществлении в регенеративном патроне с развернутой шихтой газовой воздушного потока от

периферии к центру возможно значительное уменьшение «спекания» регенеративного вещества и, как следствие, увеличение времени защитного действия регенеративного патрона аппарата с химически связанным кислородом.

Для эффективного использования ресурса регенеративного продукта теоретически обоснованы необходимость увеличения времени плавления продуктов реакции и начало спекания только после полного израсходования запаса кислорода. Обеспечение таких условий протекания регенеративного процесса возможно кондиционированием воздуха, интенсификацией процессов теплопереноса из регенеративного патрона в окружающую среду, центростремительным направлением воздушного потока в регенеративном патроне.

2.4 Математическая модель распределения температуры в регенеративном патроне

Рассматривается следующая задача. В области G (регенеративный патрон (Рисунок 2.4) требуется при стационарном процессе определить распределение температуры при заданном количестве узлов (отверстий) на теплогазораспределительной решетке.

Такие задачи относятся к классу краевых задач со смешанными краевыми условиями, а само уравнение является уравнением эллиптического типа.

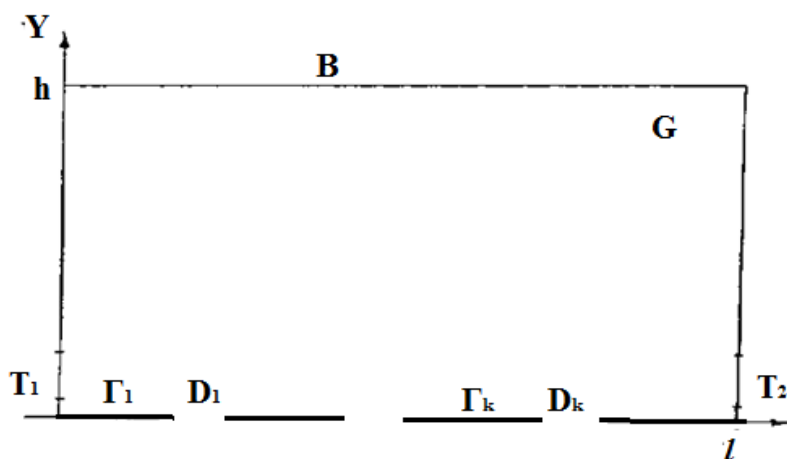


Рисунок 2.4 – Обобщённая схема ограниченной сплошной среды в разрезе

Дифференциальное уравнение распределения температуры $u(x,y)$ и краевые условия имеют следующий вид [12]

$$\omega \cdot c \cdot \rho \frac{\partial u}{\partial x} = k \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \alpha \cdot (u - T_S). \quad (2.2)$$

Краевые условия:

$$\begin{aligned} \text{при } 0 \leq x \leq l \quad \frac{\partial u(x,y)}{\partial y} \Big|_{y=h} &= 0; \\ \text{при } 0 \leq y \leq h \quad \frac{\partial u(x,y)}{\partial y} \Big|_{x=0} &= 0; \quad \frac{\partial u(x,y)}{\partial y} \Big|_{x=l} = 0; \\ \text{при } (x,y) \in \Gamma_K \quad \frac{\partial u(x,y)}{\partial y} &= 0; \\ \text{при } (x,y) \in D_K \quad u(x,y) &= U, \end{aligned}$$

где U – температура поступающего агента (воздух, газоздушная смесь), K (град);

c – удельная теплоемкость сплошной среды, Дж/ кг· К (кг град);

ρ – плотность среды, кг/м³;

ω – скорость поступающего газа, м/с;

k – коэффициент теплопроводности среды, Вт/(м·град);

α – коэффициент теплообмена, Вт/(м²·град);

T_S – температура внешнего слоя (окружающей среды), K (град).

Для решения полученной краевой задачи она сводится к безразмерному виду, когда $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$. Полученная в результате сеточной аппроксимации система линейных алгебраических уравнений решается методом матричной прогонки, предложенным М.В. Келдышем [1,2].

Алгоритм численного решения строится на основании следующих соображений.

Введем сетку: $x_i * y_j$

$$\begin{aligned} x_i &= i\Delta x, \quad i = 0, 1, \dots, M, \quad M\Delta x = l; \\ y_j &= j\Delta y, \quad j = 0, 1, \dots, N, \quad N\Delta y = h. \end{aligned}$$

Обозначим: $u_{ij} = u(x_i, y_j)$; $\omega \rho = \gamma$; $\alpha(u - T_s) = f(u)$.

Неявная схема аппроксимации

$$\gamma \frac{u_{i+1,j} - u_{i-1,j}}{2\Delta x} = k \frac{u_{i+1,j} - 2u_{i,j} + u_{i-1,j}}{\Delta x^2} + k \frac{u_{i,j+1} - 2u_{i,j} + u_{i,j-1}}{\Delta y^2} + f(u_{i,j}).$$

Пусть p, q, r, g соответственно приближенное решение системы:

$$\text{а) } \frac{p_{i+1,j} - p_{i,j}}{\Delta x} = \frac{kg_{i,j}}{\gamma} \left[\frac{(p_{i,j+1} + p_{i,j})p_{i+1,j+1}}{\Delta y^2} - \frac{(p_{i,j+1} + 2p_{i,j} + p_{i,j-1})p_{i+1,j}}{\Delta x \Delta y} + \frac{(p_{i,j} + p_{i,j-1})p_{i+1,j-1}}{\Delta x^2} \right]$$

$$\frac{3p_{i,N} - 4p_{i,N-1} + p_{i,N-2}}{2\Delta y} = 0, \quad i = 0, 1, \dots, M;$$

$$\text{б) } \frac{q_{i+1,j} - q_{i,j}}{\Delta x} = \frac{kg_{i,j}}{\gamma} \left[\frac{(q_{i,j+1} + q_{i,j})p_{i+1,j+1}}{\Delta y^2} - \frac{(q_{i,j+1} + 2q_{i,j} + q_{i,j-1})p_{i,j+1}}{\Delta x \Delta y} + \frac{(p_{i,j} + p_{i,j-1})p_{i+1,j-1}}{\Delta x^2} \right],$$

$$\frac{-q_{2,j} + 4q_{1,j} - 3q_{0,j}}{2\Delta y} = 0, \quad \frac{3q_{N-2,j} - 4q_{N-1,j} + q_{N,j}}{2\Delta y} = 0$$

$$\text{в) } \frac{r_{i+1,j} - r_{i,j}}{\Delta x} = \frac{kg_{i,j}}{\gamma} \left[\frac{(r_{i,j+1} + r_{i,j})p_{i+1,j+1}}{\Delta y^2} - \frac{(r_{i,j+1} + 2r_{i,j} + r_{i,j-1})p_{i+1,j}}{\Delta x \Delta y} + \frac{(r_{i,j} + r_{i,j-1})p_{i+1,j-1}}{\Delta x^2} \right]$$

$$\text{г) } \frac{g_{i+1,j} - g_{i,j}}{\Delta x} = -\frac{kp_{i,j}}{\gamma} \frac{g_{i+1,j+1} - g_{i+1,j}}{\Delta y} g_{i_k,0} = U.$$

Запишем систему для решения методом матричной прогонки

$$\begin{aligned}
& -\frac{2\Delta y^2 \gamma p_{i,j}}{kg_{i,j} \Delta x} = (p_{i,j+1} + p_{i,j})p_{i+1,j+1} - \\
& - \left(p_{i,j+1} + 2p_{i,j} + p_{i,j-1} - \frac{2\Delta y^2 \gamma}{kg_{i,j}} \right) p_{i+1,j} + (p_{i,j} + p_{i,j-1})p_{i+1,j-1} \\
& \quad i = 0, 1, \dots, M-1, \quad j = 1, 2, \dots, N-1; \\
q_{i+1,j} &= q_{i,j} + \frac{kg_{i,j}}{2\gamma\Delta y^2} * \left[(q_{i,j+1} + q_{i,j})p_{i+1,j+1} - (q_{i,j+1} + 2q_{i,j} + q_{i,j-1})p_{i+1,j} + \right. \\
& \quad \left. + (q_{i,j} + q_{i,j-1})p_{i+1,j-1} \right] \\
r_{i \in \Gamma_k} &= T_s, \quad r_{i \in D_k} = U; \\
\frac{-kp_{i,j}}{\gamma\Delta y} g_{i+1,j+1} + \left(\frac{kp_{i,j}}{\gamma\Delta y} - \frac{1}{\Delta x} \right) g_{i+1,j} &= -\frac{1}{\Delta x} g_{i,j}, \quad g_{i,0} = T_s, \quad g_{i_k,0} = U
\end{aligned}$$

Формулы прогонки

$$\begin{aligned}
A_j u_{i,j-1} - C_j u_{i,j} + B_i u_{i,j+1} &= -f_i, \\
i &= 1, 2, \dots, N-1 \\
\alpha_{i+1} &= \frac{B_i}{C_i - \alpha_i A_i}, \\
\beta_{i+1} &= \frac{A_i \beta_i + f_i}{C_i - \alpha_i A_i}, \\
u_0 &= \delta_1 u_1 + \mu_1; \quad u_N = \delta_2 u_{N-1} + \mu_2; \quad \alpha_1 = \delta_1; \quad \beta_1 = \mu_1, \\
A_i &\neq 0; \quad B_i \neq 0; \quad |C_i| \geq |A_i| + |B_i|, \\
i &= 1, 2, \dots, N-1 \\
|\delta_1| &\leq 1, \quad |\delta_2| \leq 1 \\
u_i &= \alpha_{i+1} u_{i+1} + \beta_{i+1}, \quad u_N = \frac{\delta_2 \beta_N + \mu_2}{1 - \delta_2 \alpha_N}.
\end{aligned}$$

В результате реализации алгоритма численного решения данной задачи на ПЭВМ разработана программа, позволяющая рассчитывать распределение температуры в сечении регенеративного патрона.

На рис. 2.5 отражена качественная картина процесса распределения температуры в плоскости осевого сечения Ox при двух фиксированных значениях координаты y : при $y = 0$ получается распределение температуры на днище

аппарата, локальные максимумы наблюдаются в точках, соответствующих источникам тепла, при удалении от дна (кривая, соответствующая безразмерному значению $y = 0,1$) температура материала становится ниже, что соответствует физике процесса (рассматривается слой материала, более удаленный от источника тепла).

Как следует из рисунка, характер кривой при изменении координаты y не изменяется, она имеет выраженные локальные максимумы в тех же точках, изменяется только фактический показатель температуры в сторону уменьшения, что свидетельствует об адекватности модели в качественном аспекте.

На рис. 2.6 представлен пример моделирования для заданного набора значений физических характеристик, при этом геометрические размеры оставлены 1×1 , т.к. в данном случае значение имеет в первую очередь качественная картина. $c = 0,2$ Дж/(кг град); $\rho = 500$ кг/м³; $\omega = 0,5$ м/с.; $k = 0,05$ Вт/(м град); $\alpha = 0,5$ Вт/(м² град); $T_s = 20^\circ\text{C}$; $l = 1$ м; $h = 0,5$ м; $U = 250^\circ\text{C}$.

Поскольку функция распределения температуры является двумерной $u(x,y)$, то графически результаты имеют вид поверхности с третьим измерением, если же рассматривать аппарат в объеме $u(x,y,z)$, то необходим инструмент четырехмерных изображений, что практически неудобно для восприятия, да это фактически и не требуется.

На рисунке 2.6 представлен фрагмент поверхности, которая отражает «моментальное» распределение температуры частиц внутри массы регенеративного патрона. Здесь четко выражены «всплески» и «впадины» температуры, показывающие попадание материала в точки, координаты которых соответствуют непроницаемым зонам.

Из полученных результатов следует, что предложенная математическая модель дает возможность исследовать влияние на распределение температуры таких параметров, как количество точек поступления тепла, температура поступающих газов, геометрические размеры регенеративного патрона и обосновывать их рациональные значения при проектировании.

Рассматриваемые методы анализируются и используются в научных

работах В.В. Пака, С.Г.Ехилевского, Э.Г. Ильинского, Е. И. Конопелько и др. [12,58,116].

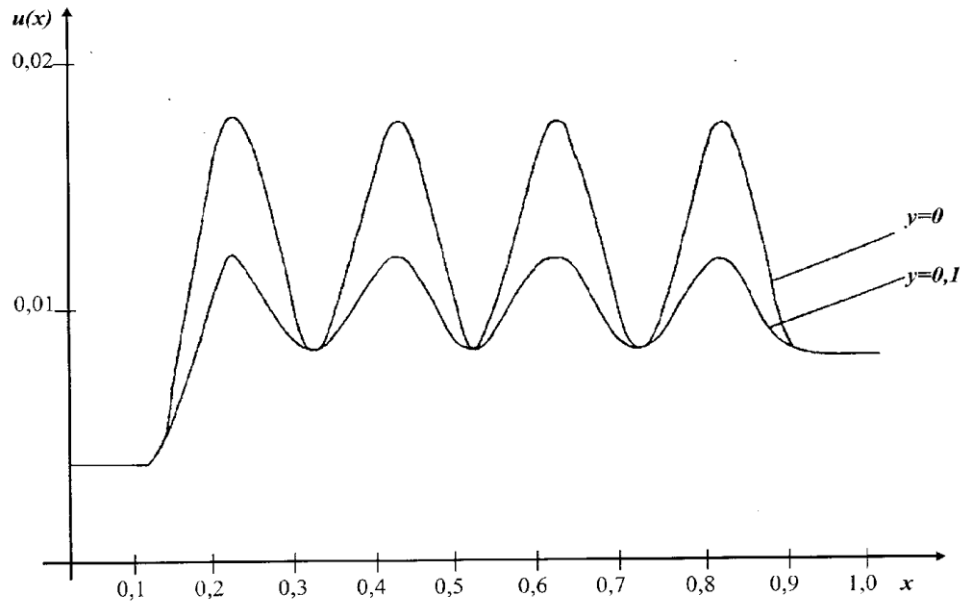


Рисунок 2.5 – Зависимость температуры $u(x)$ для $y=0$, $y=0,1$ в безразмерных величинах

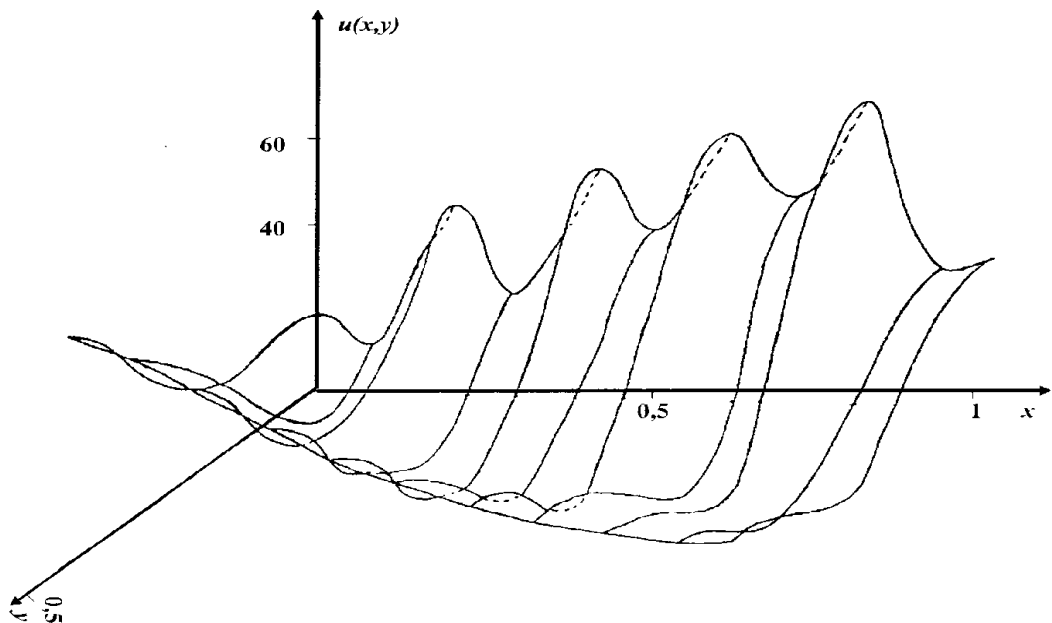


Рисунок 2.6 – Распределение температуры внутри области регенеративного патрона

Рассмотренная математическая модель представляет обобщённую

постановку и может быть адаптирована к конкретным условиям (в частности, при одном источнике тепла, при наличии дополнительного внешнего воздействия и т.п.)

2.5 Математическая модель поля концентрации в сплошной среде с ограниченными размерами

Рассматривается следующая задача: в области G исследуются распределение концентрации $C(x, y, t)$ при заданном количестве точек поступления внешнего агента. Функция $C(x, y, t)$ является решением конвективного уравнения диффузии

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D(C_{xx} + C_{yy}) - v_1(x, y) \frac{\partial C}{\partial x} - v_2(x, y) \frac{\partial C}{\partial y}, \quad (2.3)$$

где D – коэффициент диффузии;

$v_1(x, y), v_2(x, y)$ – продольная и поперечная компоненты скорости.

При этом концентрация C должна удовлетворять граничным условиям

$$\left. \begin{aligned} C_y(x, y, t) &= 0, & (x, y) &\in F_1 \\ C_x(x, y, t) &= 0, & (x, y) &\in F_2 \cup F_3 \\ C_y(x, y, t) &= 0, & (x, y) &\in \Gamma_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \\ C(x, y, t) &= C_j, & (x, y) &\in D_i, \quad i = 1, 2, \dots, n + 1 \\ C(x, y, t) &= \alpha, & (x, y) &\in \Gamma_{\text{вх}} \\ C(x, y, t) &= \beta, & (x, y) &\in \Gamma_{\text{вых}} \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

и начальному условию

$$C(x, y, 0) = C_0. \quad (2.5)$$

Здесь C_j, α, β, C_0 – постоянные величины.

Для численного решения краевой задачи (2.3) применяется метод прямых с

дискретизацией переменных x и y , т.е. рассматриваются точки $x_i = i \cdot hx, i = 1, 2, \dots, n - 1; y_j = j \cdot hy, j = 1, 2, \dots, m - 1$.

Тогда производные по переменным x и y можно заменить разностями

$$\frac{\partial C}{\partial x} = \frac{C_{i+1,j} - C_{i-1,j}}{2 \cdot hx}; \quad \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{C_{i,j+1} - C_{i,j-1}}{2 \cdot hy};$$

$$\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = \frac{C_{i+1,j} - 2C_{i,j} + C_{i-1,j}}{hx^2}; \quad \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} = \frac{C_{i,j+1} - 2C_{i,j} + C_{i,j-1}}{hy^2},$$

где $C(x_i, y_j, t) = C_{ij}(t)$,

а уравнение (2.3) – дифференциально-разностными

$$\begin{aligned} \frac{1}{T} \frac{dC_{ij}}{dt} = & \frac{D}{l^2} \cdot \frac{C_{i+1,j} - 2C_{ij} + C_{i-1,j}}{hx^2} + \frac{D}{H^2} \cdot \frac{C_{i,j+1} - 2C_{ij} + C_{i,j-1}}{hy^2} - \\ & - v_{1ij} \cdot \frac{1}{l} \cdot \frac{C_{i+1,j} - C_{i-1,j}}{2hx} - v_{2ij} \cdot \frac{1}{H} \cdot \frac{C_{i,j+1} - C_{i,j-1}}{2hy}, \end{aligned} \quad (2.6)$$

где l и H – характерные размеры, а T – характерное время, $i = 1, 2, \dots, n - 1, j = 1, 2, \dots, m - 1$.

Эту систему обыкновенных дифференциальных уравнений можно представить в следующем виде:

$$\frac{dC_{ij}}{dt} = A_{ij} \cdot C_{i+1,j} - R \cdot C_{ij} + G_{ij} \cdot C_{i-1,j} + B_{ij} \cdot C_{ij} + S_{ij} \cdot C_{ij} - 1. \quad (2.7)$$

Аппроксимация граничных условий приводит к следующим соотношениям:

$$C_{0j} = C_{1j}, \quad j = 0, 1, \dots, m; \quad j \neq m_1$$

$$C_{0j} = \alpha, \quad j = m_1 \text{ (здесь использовали граничное условие)} \quad \frac{\partial C(0,y,t)}{\partial x} = 0;$$

$$C_{Nj} = C_{N-1,j}, \quad j = 0, 1, \dots, m; \quad j \neq m_2 \quad C_{Nj} = \beta, \quad j = m_2$$

$$\text{(использовали граничное условие)} \quad \frac{\partial C(1,y,t)}{\partial x} = 0;$$

$$C_{i0} = C_{i1}, \quad (x, y) \in F_1 \cup F_3 \cup D_K$$

$$C_{i0} = C, \quad (x, y) \in \Gamma_K$$

$$\text{(применяли граничное условие)} \quad \frac{\partial C(x,y,t)}{\partial y} = 0, \quad (x, y) \in \Gamma_1 \cup \Gamma_K;$$

$$C_{im} = C_{i,m-1}, \quad i = 0, 1, \dots, n.$$

Таким образом, решение краевой задачи (2.3) -(2.5) свелось к численному решению задачи Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений (2.7) при начальных условиях $C_{ij}(0) = C_0$.

Задача Коши (2.7) численно интегрируется при помощи метода Рунге-Кутты, причем погрешность метода равна $O(hx^2 + hy^2)$.

Распределение концентрации является конечным показателем, характеризующим процесс. В уравнение изменения концентрации по пространству сечения патрона во времени входят параметры, исследуемые на внешних моделях (распределение температуры и скорости частиц). С одной стороны, картина получается в определенной степени идеализированной: в начальный момент ($t = 0$) концентрация предполагается одинаковой по всему сечению и равной усредненному показателю C_0 , а после начала процесса ($t > 0$) происходит «движение», т.е. формирование картины распределения параметра соответственно различным моментам t (Рисунок 2.7).

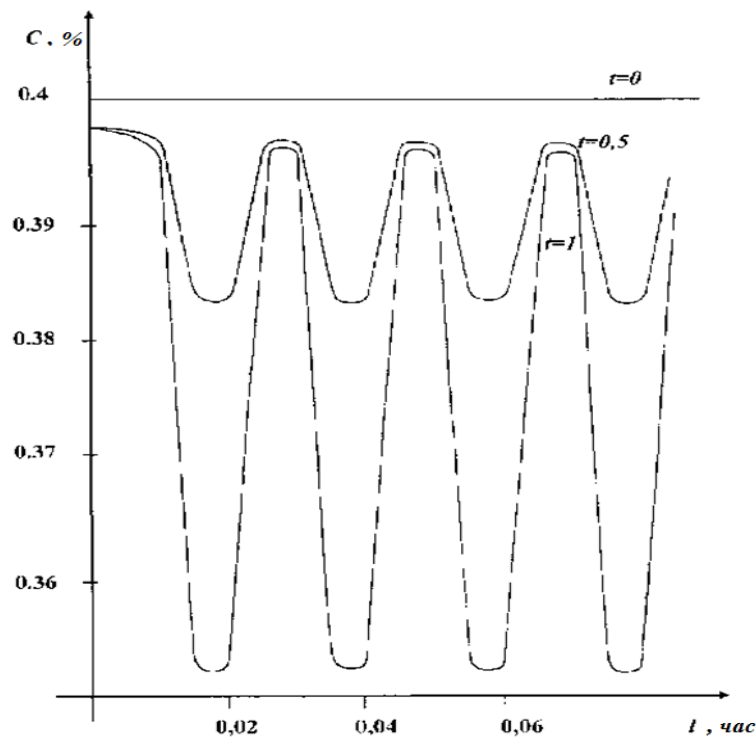


Рисунок 2.7 – Распределение концентрации вещества в камере при $y = 0,2$, для моментов времени $t = 0,0; 0,5; 1,0$

Коэффициентами уравнения (управляющими параметрами) являются величины температуры и скорости в соответствующих точках и величина *коэффициента* диффузии. Комплекс указанных величин и определяет результат моделирования, представляющий информацию для принятия окончательных научных выводов или проектных решений.

Как следует из вышеизложенного, сформированные детерминированные математические модели основных процессов тепломассопереноса, происходящих в сплошной среде ограниченных размеров, представляют процесс как объект с распределенными параметрами и дают возможность предварительного теоретического исследования и обоснования рациональных технологических параметров при проектировании соответствующих аппаратов.

Рассмотренные модели и методы их реализации позволяют исследовать процессы как детерминированные объекты, их главное преимущество – использование уравнений, адекватно описывающих физические процессы. Ввиду того, что уравнения являются нелинейными уравнениями математической физики, их реализация требует применения компьютерных методов, что весьма неудобно для практических расчётов. Для их практического использования необходимо выполнить редукцию уравнений к упрощённой форме.

2.6 Редукция модели с распределёнными параметрами к одномерной задаче с сосредоточенными параметрами

Рассмотрим приведение задачи к уравнению с одной переменной на примере процесса прохождения выдыхаемого воздуха через респиратор с химически связанным кислородом

Перспективное направление в современном развитии газодымозащитной службы – применение аппаратов с химически связанным кислородом. При выполнении тяжелых работ, а также работ при высоких температурах респираторы с химически связанным кислородом имеют существенные преимущества перед респираторами со сжатым кислородом и их применение

обеспечивает долговременную защиту органов дыхания спасателей. Однако в конце времени защитного действия этих аппаратов использован ещё не весь их регенеративный ресурс. Разработчики ведут поиск новых технических решений проблемы повышения эффективности использования ОКЧ.

Существующие математические модели рассматривают процессы тепломассопереноса в прямоточных патронах, в которых газоздушная смесь движется в одном направлении вдоль оси патрона. Эти математические модели имеют особенности, которые не позволяют применять их при описании теплообменных процессов в регенеративном патроне с радиальным движением воздушного потока [9,10,54,96,117].

Для возможного увеличения использования регенеративного ресурса патрона разработана математическая модель теплообменных процессов в регенеративном патроне с радиальным направлением движения воздушного потока, который содержит те же элементы, что и прямоточный. Однако в данной модели рассмотрено прохождение потока выдыхаемого воздуха в регенеративном патроне от его большего диаметра к меньшему и расположение кислородсодержащего продукта в сегментах.

При выводе дифференциального уравнения теплопереноса воспользуемся методическим подходом, изложенным в работе методика. В рассматриваемой среде выделяют элементарный объем с геометрическими характеристиками $\Delta x \Delta y \Delta z \Delta \alpha$ (Рисунок 2.8).

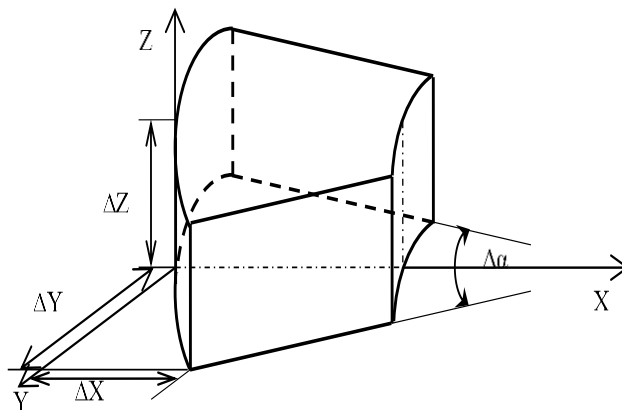


Рисунок 2.8 – Схема элементарного объема кислородсодержащего продукта регенеративного патрона

Через левую грань выделенного объема площадью $S_L = (R_H - x)\Delta\alpha\Delta z$ за время Δt проходит количество теплоты

$$Q_x = Q_x^{\text{Ш}} + Q_x^{\Gamma} + Q_x^{\text{К}}, \quad (2.8)$$

где $Q_x^{\text{Ш}}, Q_x^{\Gamma}$ – количество теплоты, проходящее через левую грань за счет теплопроводности через частицы кислородсодержащего продукта и через поры, заполненные газом

$Q_x^{\text{К}}$ – количество теплоты, проходящее через левую грань, за счет конвективного движения потока газа, кДж.

Количество теплоты, проходящее через частицы кислородсодержащего продукта за счет теплопроводности за время Δt

$$Q_x^{\text{Ш}} = q_x^{\text{Ш}}(R_H - x)\Delta\alpha\Delta z f^{\text{Ш}} \Delta t, \quad (2.9)$$

где $q_x^{\text{Ш}}$ – тепловой поток, втекающий в левую грань через частицы кислородсодержащего продукта, расположенные на поверхности левой грани;

$f^{\text{Ш}}$ – доля площади левой грани, занимаемая частицами кислородсодержащего продукта.

Количество теплоты, проходящее через левую грань за счет теплопроводности газа, заполняющего поры между частицами кислородсодержащего продукта

$$Q_x^{\Gamma} = q_x^{\Gamma}(R_H - x)\Delta\alpha\Delta z f^{\Gamma} \Delta t, \quad (2.10)$$

где q_x^{Γ} – тепловой поток, втекающий в левую грань через поры (заполненные газом), образуемые частицами кислородсодержащего продукта на поверхности левой грани;

f^{Γ} – доля площади левой грани, занимаемая порами. Количество теплоты, проходящее через левую грань за счет движения потока газа

$$Q_x^K = w_x c^\Gamma \rho^\Gamma T_x^\Gamma (R_H - x) \Delta \alpha \Delta z f^\Gamma \Delta \tau, \quad (2.11)$$

где w_x – локальная скорость потока газа в порах кислородсодержащего продукта;

c^Γ – удельная теплоемкость газа;

ρ^Γ – плотность газа;

T^Γ – температура газа на левой грани.

Аналогично определяем количество теплоты $Q_{x+\Delta x}$, выходящее через правую грань, имеющую площадь $S_{\Pi} = (R_H - (x + \Delta x)) \Delta \alpha \Delta z$

$$Q_{x+\Delta x} = Q_{x+\Delta x}^{\text{III}} + Q_{x+\Delta x}^{\Gamma} + Q_{x+\Delta x}^{\text{K}}, \quad (2.12)$$

или

$$Q_{x+\Delta x} = (q_{x+\Delta x}^{\text{III}} f^{\text{III}} + q_{x+\Delta x}^{\Gamma} f^{\Gamma} + w_x c^\Gamma \rho^\Gamma T_{x+\Delta x}^\Gamma f^\Gamma) (R_H - (x + \Delta x)) \Delta \alpha \Delta z \Delta \tau.$$

Количество теплоты, выделяемое при химической реакции регенерации, равно

$$Q_V = W(x, \alpha, z, \tau) \Delta x (R_H - x) \Delta \alpha \Delta z (1 - \varepsilon) \Delta \tau, \quad (2.13)$$

где $W(x, \alpha, z, \tau)$ – объемная мощность внутренних источников теплоты, действующих в единице объема частиц кислородсодержащего продукта;

ε – порозность слоя кислородсодержащего продукта, вычисляется по формуле

$$\varepsilon = ((R_H - x) \Delta x \Delta \alpha \Delta z - V^{\text{III}}) / ((R_H - x) \Delta x \Delta \alpha \Delta z), \quad (2.14)$$

V^{III} – объем, занимаемый частицами кислородсодержащего продукта в элементарном объеме.

Таким образом, в элементарном объеме аккумулируется количество теплоты, равное:

$$\begin{aligned} Q_x - Q_{x+\Delta x} + Q_V = & \{ [(q_x^{\text{III}} - q_{x+\Delta x}^{\text{III}})(R_H - x) + q_{x+\Delta x}^{\text{III}} \Delta x] f^{\text{III}} + [(q_x^{\Gamma} - q_{x+\Delta x}^{\Gamma})(R_H - x) + \\ & + q_{x+\Delta x}^{\Gamma} \Delta x] f^{\Gamma} + w_x c^\Gamma \rho^\Gamma (T_x^\Gamma - T_{x+\Delta x}^\Gamma \Delta x) (R_H - x) + T_{x+\Delta x}^\Gamma \Delta x f^\Gamma + W(x, \alpha, z, \tau) * \\ & * (R_{H-x}) \Delta x (1 - \varepsilon) \} \Delta \alpha \Delta z \Delta \tau. \end{aligned} \quad (2.15)$$

Разложим функции $q_{x+\Delta x}^{\text{III}}$, $q_{x+\Delta x}^{\Gamma}$, $T_{x+\Delta x}^\Gamma$ в ряды Тейлора

$$q_{x+\Delta x}^{\text{III}} = q_x^{\text{III}} + \frac{\partial q_x^{\text{III}}}{\partial x} dx \dots, \quad q_{x+\Delta x}^{\Gamma} = q_x^{\Gamma} + \frac{\partial q_x^{\Gamma}}{\partial x} dx \dots, \quad T_{x+\Delta x}^{\Gamma} = T_x^{\Gamma} + \frac{\partial T_x^{\Gamma}}{\partial x} dx \dots$$

Перейдем от конечных приращений к дифференциалам $\Delta \rightarrow d$. С учетом разложения в ряд Тейлора запишем выражение (2.15) в следующем виде:

$$Q_x - Q_{x+\Delta x} + Q_V = -\frac{\partial q_x^{\text{III}}}{\partial x} f^{\text{III}}(R_H - x) dx d\alpha dz d\tau - \frac{\partial q_x^{\Gamma}}{\partial x} f^{\Gamma}(R_H - x) dx d\alpha dz d\tau - \\ - w_x c^{\Gamma} \rho^{\Gamma} \frac{\partial T_x^{\Gamma}}{\partial x} f^{\Gamma}(R_H - x) dx d\alpha dz d\tau + W(x, \alpha, z, \tau)(R_H - x) dx d\alpha dz (1 - \varepsilon) d\tau. \quad (2.16)$$

Согласно закону теплопроводности Фурье $q_x = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x}$. С учетом этого последнее выражение можно записать в виде

$$Q_x - Q_{x+\Delta x} + Q_V = \lambda^{\text{III}} \frac{\partial^2 T_x^{\text{III}}}{\partial x^2} f^{\text{III}}(R_H - x) dx d\alpha dz d\tau + \lambda^{\Gamma} \frac{\partial^2 T_x^{\Gamma}}{\partial x^2} f^{\Gamma}(R_H - x) dx d\alpha dz d\tau - \\ - w_x c^{\Gamma} \rho^{\Gamma} \frac{\partial T_x^{\Gamma}}{\partial x} f^{\Gamma}(R_H - x) dx d\alpha dz d\tau + W(x, \alpha, z, \tau)(R_H - x) dx d\alpha dz (1 - \varepsilon) d\tau. \quad (2.17)$$

Количество теплоты, аккумулирующееся в элементарном объеме, можно определить, как сумму теплоты, аккумулируемой частицами кислородсодержащего продукта и газом в порах между ними

$$Q^{\text{III}} + Q^{\Gamma} = c^{\text{III}} \rho^{\text{III}} (R_H - x) dx d\alpha dz (1 - \varepsilon) \frac{\partial T^{\text{III}}}{\partial \tau} + c^{\Gamma} \rho^{\Gamma} (R_H - x) dx d\alpha dz \varepsilon \frac{\partial T^{\Gamma}}{\partial \tau}. \quad (2.18)$$

Таким образом, уравнение теплового баланса для элементарного объема можно записать в следующем виде:

$$\lambda^{\text{III}} \frac{\partial^2 T_x^{\text{III}}}{\partial x^2} f^{\text{III}}(R_H - x) dx d\alpha dz d\tau + \lambda^{\Gamma} \frac{\partial^2 T_x^{\Gamma}}{\partial x^2} f^{\Gamma}(R_H - x) dx d\alpha dz d\tau - \\ - w_x c^{\Gamma} \rho^{\Gamma} \frac{\partial T_x^{\Gamma}}{\partial x} (1 - f^{\text{III}})(R_H - x) dx d\alpha dz d\tau + W(x, \alpha, z, \tau)(R_H - x) dx d\alpha dz (1 - \varepsilon) d\tau = \\ c^{\text{III}} \rho^{\text{III}} (R_H - x) dx d\alpha dz (1 - \varepsilon) \frac{\partial T^{\text{III}}}{\partial \tau} d\tau + c^{\Gamma} \rho^{\Gamma} (R_H - x) dx d\alpha dz \varepsilon \frac{\partial T^{\Gamma}}{\partial \tau} d\tau.$$

Сократив последнее выражение на $dx d\alpha dz d\tau (R_H - x)$ и, учитывая, что

$f^\Gamma = (1 - f^\text{ш})$, получим

$$\lambda^\text{ш} \frac{\partial^2 T_x^\text{ш}}{\partial x^2} f^\text{ш} + \lambda^\Gamma \frac{\partial^2 T_x^\Gamma}{\partial x^2} (1 - f^\text{ш}) - c^\text{ш} \rho^\text{ш} (1 - \varepsilon) \frac{\partial T^\text{ш}}{\partial \tau} + c^\Gamma \rho^\Gamma \varepsilon \frac{\partial T^\Gamma}{\partial \tau} \quad (2.19)$$

Так как частицы кислородсодержащего продукта и поры, заполненные газом, имеют небольшие размеры, то можно допустить, что передача теплоты от кислородсодержащего продукта к газу (и обратно) осуществляется практически мгновенно, то есть $T^\Gamma \approx T^\text{ш} = T$. Кроме того, можно допустить, что $f^\Gamma \approx \varepsilon$. С учетом этих допущений получим следующее дифференциальное уравнение теплопереноса

$$[\lambda^\text{ш}(1 - \varepsilon) + \lambda^\Gamma \varepsilon] \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - c^\Gamma \rho^\Gamma \varepsilon w_x \frac{\partial T}{\partial x} + W(x, \alpha, z, \tau)(1 - \varepsilon) = \left[\begin{array}{l} c^\text{ш} \rho^\text{ш} (1 - \varepsilon) + \\ + c^\Gamma \rho^\Gamma \varepsilon \end{array} \right] \frac{\partial T}{\partial \tau}. \quad (2.20)$$

Обозначим: $c_\varepsilon \rho_\varepsilon = [c^\text{ш} \rho^\text{ш} (1 - \varepsilon) + c^\Gamma \rho^\Gamma \varepsilon]$ – эффективная объемная теплоемкость слоя кислородсодержащего продукта, поры которого заполнены газом; $\lambda_\varepsilon = [\lambda^\text{ш} (1 - \varepsilon) + \lambda^\Gamma \varepsilon]$ – эффективная теплопроводность пористого слоя кислородсодержащего продукта; $q_v = W(x, \alpha, z, \tau)(1 - \varepsilon)$ – объемная мощность внутренних источников тепла, отнесенная к единице объема насыпного слоя кислородсодержащего продукта. Так как локальную скорость потока газа w_x в порах кислородсодержащего продукта на практике измерить невозможно, то предложена средняя скорость \overline{w}_x , рассчитываемая по известному расходу газа G через цилиндрический патрон и площади сечения $S = \pi R_0^2$ патрона по формуле $\overline{w}_x = G/S$. С учетом известных значений средней скорости \overline{w}_x и порозности насыпного слоя кислородсодержащего продукта значение локальной скорости газа w_x между частицами кислородсодержащего продукта можно вычислить по формуле $w_x = \overline{w}_x / \varepsilon = G / (\varepsilon S)$.

С учетом введенных обозначений дифференциальное уравнение теплопереноса окончательно можно записать в виде

$$c_\varepsilon \rho_\varepsilon \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda_\varepsilon \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - c^\Gamma \rho^\Gamma \overline{w}_x \frac{\partial T}{\partial x} + q_v(x, \alpha, z, \tau). \quad (2.21)$$

Переменные, входящие в уравнение, изменяются в следующих пределах:

$$0 \leq x \leq R_H - R_B;$$

$$0 \leq \alpha \leq 2\pi;$$

$$0 \leq \tau \leq H,$$

где τ – время работы регенеративного патрона, мин.

Таким образом, полученная математическая модель, в отличие от модели, описанной в работе, учитывает параметры элементарного объема кислородсодержащего вещества с радиальным направлением движения воздушного потока в секторе, что наиболее достоверно описывает процесс теплопереноса при прохождении воздушного потока через слой кислородсодержащего вещества.

Рассмотренная математическая модель обеспечивает возможность исследования процесса «спекания» кислородсодержащего вещества и повышения времени защитного действия регенеративного патрона аппарата с химически связанным кислородом, однако и эта модель основывается на нелинейном уравнении, что требует применения численных методов и компьютерных средств.

2.7 Редукция нелинейного уравнения теплопроводности пространства респиратора к системе алгебраических зависимостей

Редукция нелинейного уравнения теплопроводности пространства респиратора к системе алгебраических зависимостей

Рассмотрим область протекания теплообменных процессов следующей формы (Рисунок 2.9).

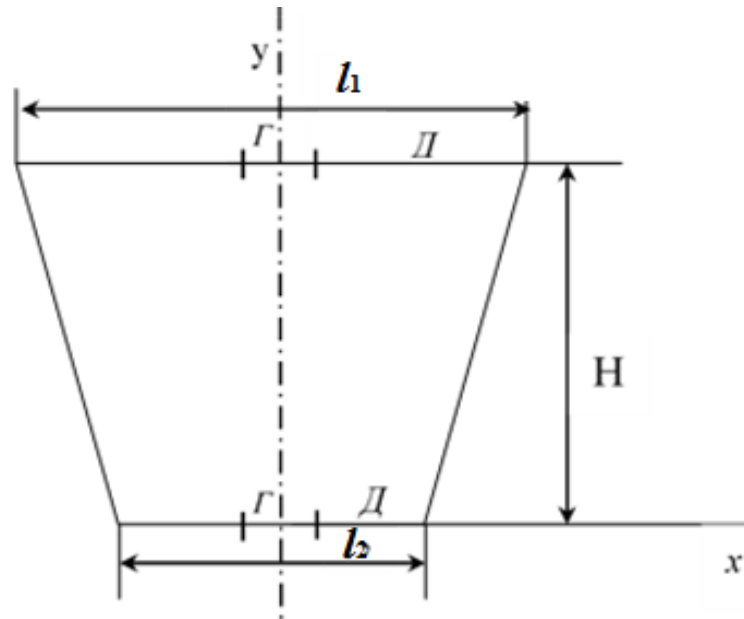


Рисунок 2.9 – Область распределения температуры.

Исходное нелинейное уравнение теплопроводности записывается в виде

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[k(U) \frac{\partial U}{\partial x} \right]; \quad (2.22)$$

введем безразмерные (нормированные) переменные

$$\left. \begin{aligned} u^* = \frac{U}{U_{\text{хар}}}; \quad U = U_{\text{хар}} u^*; \\ x^* = \frac{x}{L}; \quad x = L x^*; \end{aligned} \right\} k^* = \frac{k(U)}{k_{\text{хар}}(U)}; \quad k(U) = k_{\text{хар}}(U) \cdot k^*; \quad (2.23)$$

где $U_{\text{хар}}, k_{\text{хар}}(U), t_{\text{хар}}$ - некоторые характерные значения соответствующих величин (часто максимальные, как, например, в данном случае для x : $x_{\text{хар}} = x_{\text{max}} = L$).

Подставляем полученные переменные в (2.22), получим

$$\frac{U_{\text{хар}}}{t_{\text{хар}}} \frac{\partial p}{\partial t} = \frac{k_{\text{хар}}(U) U_{\text{хар}}}{L^2} \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial u}{\partial x} \right); \quad (2.24)$$

Если положить, что $t_{\text{хар}} = \frac{U_{\text{хар}} L^2}{k_{\text{хар}}(U)}$,

то уравнение (2.22) примет вид

$$\frac{\partial p^*}{\partial t^*} = \frac{\partial}{\partial x^*} \left(k^* \frac{\partial p^*}{\partial x^*} \right). \quad (2.25)$$

Как видно, уравнения (2.25) и (2.22) различны только в обозначениях, поэтому звездочки (*) можно опустить.

Итак, замена (2.23) позволяет перейти к нормированным безразмерным переменным, уравнение (2.25) записывается в виде

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial u}{\partial x} \right); \quad (2.26)$$

Таким же преобразованиям подвергаются начальные и граничные условия.

Область, внутри которой нужно отыскать функцию $u(x, t)$, покрывается сеткой, образованной прямыми, параллельными осям координат, а непрерывная функция $u(x, t)$ отыскивается в виде таблицы дискретных ее значений в узлах сетки

$$x_i = i \cdot \Delta x; \quad i = 0, 1, 2, \dots, n \} t_j = j \cdot \Delta t; \quad j = 1, 2, 3, \dots \} \quad (2.27)$$

Аппроксимируем производные по неявной четырехточечной схеме

$$\frac{\partial u}{\partial t} \approx \frac{u_{i,j} - u_{i,j-1}}{\Delta t}; \quad (2.28)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial u}{\partial x} \right) \approx \frac{k_{i+0,5,j} u_{i+1,j} - (k_{i+0,5,j} + k_{i-0,5,j}) u_{i,j} + k_{i-0,5,j} u_{i-1,j}}{\Delta x^2}. \quad (2.29)$$

Приравняв (2.29) и (2.28), получим

$$\frac{\Delta t}{\Delta x^2} k_{i+0,5,j} u_{i+1,j} - \left[\frac{\Delta t}{\Delta x^2} (k_{i+0,5,j} + k_{i-0,5,j}) + 1 \right] u_{i,j} + \frac{\Delta t}{\Delta x^2} k_{i-0,5,j} u_{i-1,j} = -u_{i,j-1}; \quad (2.30)$$

Решение полученной системы находится методом прогонки [110].

Поскольку коэффициент $k(u)$ является функцией температуры, необходимо

применять итерационный процесс. В качестве первого приближения задается значение температуры на предыдущем шаге по времени, затем итерационный расчет повторяется до тех пор, пока не будет достигнута заданная точность.

Таким образом, исходя из начальных условий, можно рассчитать распределение температуры в любой момент времени. Критерием окончания может служить момент достижения фронтом распространения тепла границы отрезка $0L$.

На рисунке 2.10 приведена обобщенная блок-схема алгоритма программы определения распределение температуры в элементарном объеме кислородосодержащего продукта регенеративного патрона.

В результате решения получают кривые $u(x)$ для разных моментов времени и $u(t)$ на различном расстоянии от исходной точки.

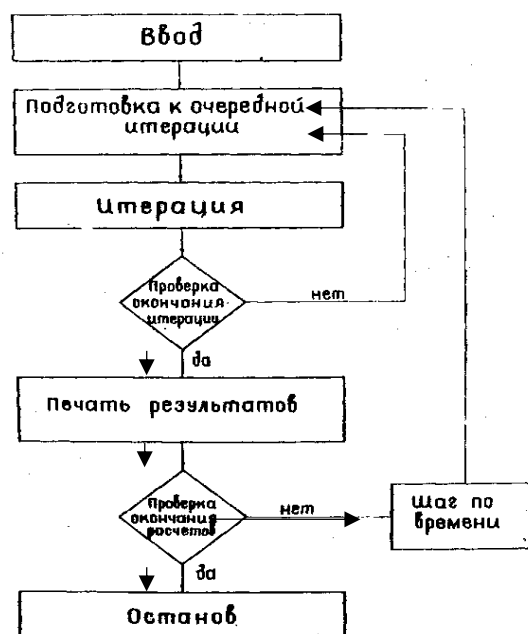


Рисунок 2.10 – Обобщённая блок-схема алгоритма программы определения распределения температуры в единичном объеме регенеративного патрона.

На рис. 2.11 приведены кривые, полученные при решении задачи с заданным начальным значением температуры.

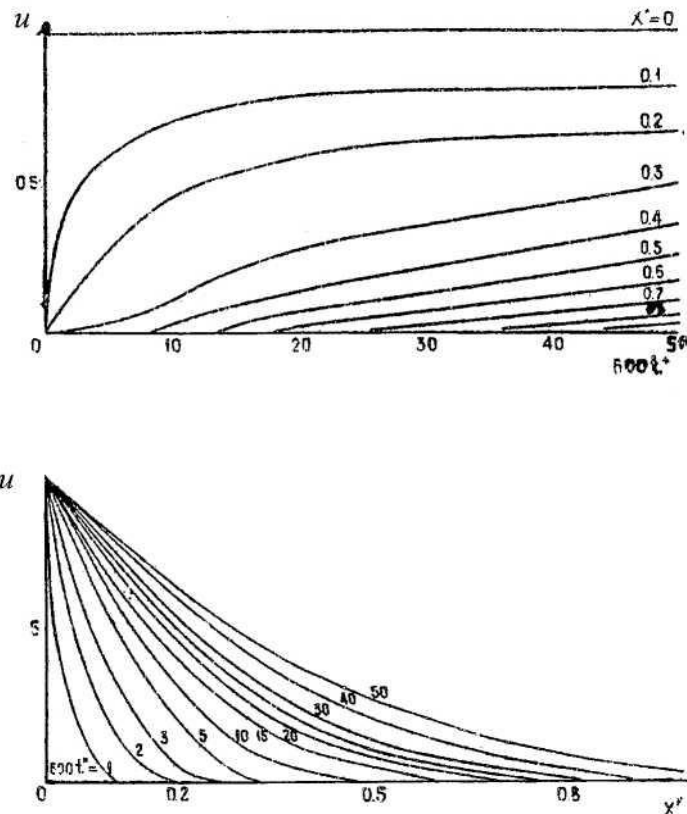


Рисунок 2.11 – К расчету основных параметров распространения температуры (нормированные кривые)

Если решить задачу для единичных величин всех характеристик, то на основании этого решения можно построить методику инженерного расчета основных параметров процесса. Для этого можно использовать следующий подход.

На осях ординат вместо единицы откладывается полученное значение u , т.е. градируется ось ординат.

Время процесса определяется из следующих соображений. Работа должна быть прекращена, когда фронт распространения температуры достигнет границ области. Задавая L , можно рассчитать нормирующую величину по времени t_0

$$t_0 = \frac{U_{xap} L^2}{k_{xap}}. \quad (2.31)$$

Как видно из рисунка, граница фронта $x^* = 1 (x = L)$ достигается за 50 шагов

по времени. Шаг выбран:

по пространству $\Delta x^* = 0,1$;

по времени $\Delta t^* = \frac{1}{6} \cdot 10^{-2}$.

Рассмотрим процесс при исходной границе l_2 (от меньшего диаметра к большему).

Тогда время распространения на первом слое по оси Ox :

$$T_{x_2} = \frac{l_2^2}{48kU}.$$

Продолжая рассматривать процесс по оси Oy , получим

$$T_{y_2} = \frac{H^2}{48kU}.$$

Тогда общее время

$$T_2 = T_{x_2} + T_{y_2} = \frac{l_2^2 + H^2}{48kU}. \quad (2.32)$$

Рассматривая в качестве исходной границу l_1 (от большего диаметра к меньшему), получим

$$T_{x_1} = \frac{l_1^2}{48kU}; \quad T_{y_1} = \frac{H^2}{48kU}. \quad (2.33)$$

$$T_1 = T_{x_1} + T_{y_1} = \frac{l_1^2 + H^2}{48kU}. \quad (2.34)$$

При этом отношение имеет вид

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{l_1^2 + H^2}{48kU} : \frac{l_2^2 + H^2}{48kU} = \frac{l_1^2 + H^2}{l_2^2 + H^2}.$$

$$\text{Так как } l_1 > l_2, \text{ то } \frac{T_1}{T_2} > 1. \quad (2.35)$$

Таким образом, сведя задачу к аппроксимированным зависимостям, можно качественно показать, что при исходной границе процесса l_1 с центростремительным направлением воздуха время работы на всём внутреннем пространстве превышает время работы при исходной границе l_2 с центробежным направлением воздуха [46,55,101].

Подчеркнём, что данные соотношения отражают качественную сторону процесса, количественные исследования проводятся с использованием детерминированных моделей.

Одномерная постановка задачи дает возможность рассчитывать параметры процесса более совершенным методом, чем применявшиеся ранее. Однако, такая постановка не дает возможности более глубоко исследовать технологические схемы нагнетания, следовательно, не позволяет найти пути совершенствования схем воздействия.

Для решения данной проблемы следует применять модели в двумерной постановке, приведенные выше.

Выводы по разделу 2.

1. Разработанные детерминированные математические модели основных процессов тепломассопереноса, происходящих в сплошной среде ограниченных размеров, представляют процесс как объект с распределенными параметрами и дают возможность предварительного теоретического исследования и обоснования рациональных технологических параметров при проектировании соответствующих аппаратов.

2. Рассмотренные модели и методы их реализации позволяют исследовать процессы как детерминированные объекты, их главное преимущество – использование уравнений, достаточно адекватно описывающих физические процессы. Ввиду того, что уравнения являются нелинейными уравнениями математической физики, их реализация требует применения компьютерных методов, что весьма неудобно для практических расчётов. Для их

практического использования необходимо выполнить редукцию уравнений к упрощённой форме.

3. Разработана одномерная математическая модель теплообменных процессов в регенеративном патроне с центростремительным радиальным направлением движения воздушной смеси, которая подтверждает возможность предотвращения «спекания» кислородсодержащего вещества и повышения времени защитного действия регенеративного патрона аппарата с химически связанным кислородом.

4. Выполнена аппроксимация нелинейного уравнения теплопроводности в рабочем пространстве регенеративного патрона в виде системы алгебраических зависимостей, на основании которой показано, что изменение направления движения газовой смеси относительно существующих позволит увеличить время защитного действия дыхательных аппаратов с химически связанным кислородом.

РАЗДЕЛ 3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ПРИ РЕГЕНЕРАЦИИ ВОЗДУХА В ИЗОЛИРУЮЩЕМ РЕСПИРАТОРЕ

3.1 Методика проведения испытаний на стенде имитации дыхания

Объектом испытания (исследования) являются процессы регенерации, происходящие в экспериментальном образце регенеративного патрона, разработанного к респиратору РХ.

Испытания образца регенеративного патрона проведены в составе респиратора РХ на приборах и стенде-имитаторе дыхания СИД (динамической установке с «искусственными легкими») в лабораторных условиях отдела средств защиты дыхания, НИИГД «Респиратор».

Цель испытаний - определение соответствия параметров респиратора типа РХ с экспериментальным образцом усовершенствованного регенеративного патрона (с радиальным центростремительным направлением движения воздушного потока), к основным требованиям ДСТУ 3856-99 «Респираторы изолирующие регенеративные для горноспасательных работ. Общие технические требования и методы испытаний».

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- определение параметров регенеративного патрона респиратора при испытаниях в различных режимах и сравнение их с нормируемыми показателями по ДСТУ 3856-99;
- выявление и устранение конструктивных недостатков и дефектов изготовления макетного образца регенеративного патрона;

- оценка удобства снаряжения регенеративного патрона кислородсодержащим регенеративным продуктом, заправка противопылевого фильтра и др.;

- проверка удобства технического обслуживания регенеративного патрона (подсоединение к воздухопроводной системе респиратора, и др.);

- проверка рациональности формы регенеративного патрона.

Динамическая установка для испытаний регенеративных дыхательных аппаратов, регенеративных патронов и сорбентов (далее – динамическая установка), предназначена для имитации внешнего дыхания человека при испытаниях регенеративных дыхательных аппаратов, регенеративных патронов и применяемых в них сорбентов (регенеративных продуктов и поглотителей диоксида углерода), а также для контроля и регистрации параметров их работы.

Технические параметры динамической установки представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1.

Технические параметры динамической установки

Наименование параметра	Значение параметра
1 Объем одного дыхательного цикла (диапазон регулирования), дм ³	0,5 – 2,5
2 Погрешность настройки объема дыхания, дм ³ , не более	±0,03
3 Частота дыханий искусственных легких (диапазон регулирования), 1/мин	10 – 30
4 Погрешность настройки частоты дыхания, 1/мин, не более	± 0,25
5 Скорость подачи СО ₂ (диапазон регулирования), дм ³ /мин	0,4 – 3,0
6 Погрешность установки скорости подачи СО ₂ , дм ³ /мин, не более	± 0,015
7 Температура выдыхаемого воздуха, °С	36,5 ± 0,5
8 Относительная влажность выдыхаемого воздуха, %	94 – 98

В состав динамической установки входят:

– искусственные легкие 48 (Рисунок 3.1) фирмы «Ауэргезельшафт» с бесступенчатой регулировкой частоты дыхания и объема дыхательного цикла;

– система подготовки воздуха, включающая увлажнитель 43, термостат 40, холодильник 15;

– система имитации выделения диоксида углерода, состоящая из баллона 1, первой и второй ступеней редуктора 2, 3 типа ДР-1А, дозирующего устройства 5, вентиля запорного 6, манометра 4, преобразователя давления типа «Сапфир» 8,

индикатора подачи CO₂ 9, газового счетчика 10, ресивера 11, обратного клапана 12;

– тепловая камера для испытаний РХС, состоящая из теплоизолирующего корпуса 25, нагревателя 27, вентилятора 19, электроконтактного термометра 20;

– система имитации кислородопотребления, состоящая из газового счетчика 18 и малых легких 50 с электромагнитными клапанами 51, клапанной коробкой 46, линией имитации кислородопотребления 16;

– автоматический блок поддержания заданных температурно-влажностных параметров, расположенный в блоке управления 14;

– щит КИП, на котором расположены газовые счетчики 10, 18, измеритель температуры 21, измеритель сопротивления дыханию 29, газоанализатор кислорода 24, газоанализатор CO₂ 23;

Устройство и работа динамической установки.

Искусственные легкие 48 подсоединены к линии вдоха и выдоха системы подготовки воздуха.

На линии выдоха расположены электромагнитные клапаны 45, 32, обеспечивающие одностороннюю циркуляцию воздуха по каналу выдоха, трёхходовой кран 44, двухходовые краны 37, направляющие воздушный поток по двум магистралям, на одной из которых установлен увлажнитель 43, снабженный погружным нагревателем 42, электроконтактным термометром 41 и дозатором воды 36.

Далее расположены помещенные в термостат 40 отбойник капельной влаги 35, осушающая петля 39, психрометр 33. Психрометр снабжен двумя ртутными термометрами по ГОСТ 28498 с ценой деления 0,1 °С.

Термостат 40 снабжен погружным нагревателем 38, электроконтактным термометром 34 системы терморегуляции. За термостатом 40 расположен электромагнитный клапан 32 и соединительная коробка 30, служащая для подключения испытываемого аппарата 26.

На линии вдоха расположены электромагнитные клапаны 31, 13, обеспечивающие одностороннюю циркуляцию воздуха по каналу вдоха,

психрометр 17, холодильник 15. Психрометр 17 снабжается аналогично психрометру 33 двумя ртутными термометрами.

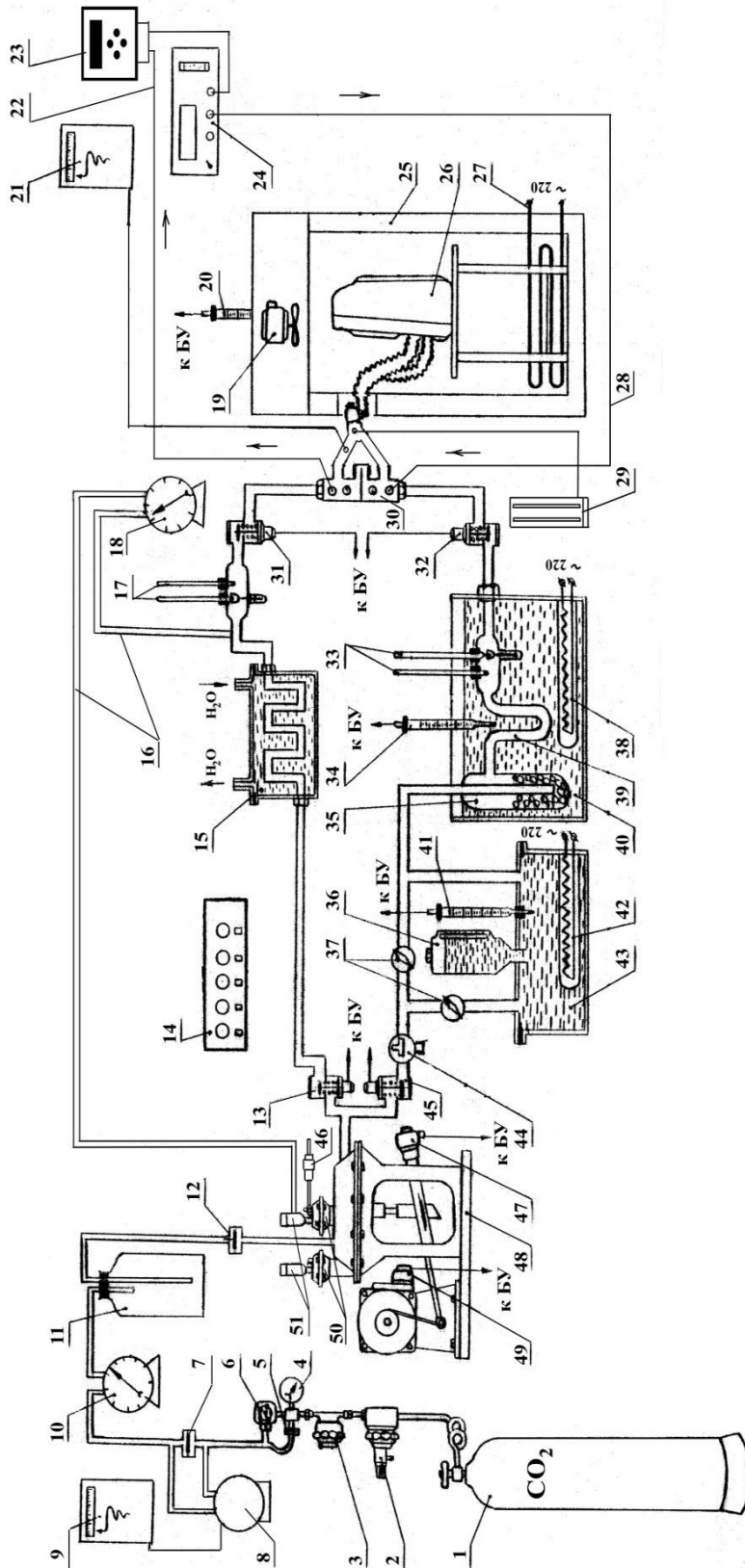


Рисунок 3.1 1 - баллон, 2 и 3 - первая и вторая ступени редуктора, 4 - манометр, 5 - дозирующее устройство, 6 - вентиль запорный, 7 - дозирующее устройство, 8 - преобразователь давления типа «Сапфир», 9 - индикатор подачи CO₂, 10, 11 - газовые счетчики, 12 - обратный клапан, 13, 31, 32, 45 - электромагнитные клапаны, 14 - блок управления, 15 - холодильник, 16 - линия имитации кислородопотребления, 17, 33 - психрометры, 19 - вентилятор, 20, 34, 41 - электроконтактные термометры, 21 - измеритель температуры, 22 - линия отбора пробы на газоанализ, 23 - газоанализатор CO₂, 24 - газоанализатор кислорода, 25 - теплоизолирующий корпус, 26 - испытываемый аппарат, 27, 38, 42 - нагреватели, 28 - линия возврата пробы, отобранной на газоанализ, 29 - измеритель сопротивления (манометр), 30 - соединительная коробка, 35 - отбойник капельной влаги, 36 - дозатор воды, 37 - двухходовые краны, 39 - осушающая петля, 40 - термостат, 43 - увлажнитель, 44 - трёхходовой кран, 46 - клапанная коробка линии имитации кислородопотребления, 47 - двигатель регулировки объема дыхания, 48 - искусственные лёгкие, 49 - двигатель регулировки частоты дыханий, 50 - малые лёгкие, 51 - электромагнитные клапана малых лёгких

Для подачи CO_2 в систему подготовки воздуха открывают баллон 1 с диоксидом углерода. Давление диоксида углерода редуцируется в двухступенчатом редукторе 2, 3 типа ДР-1А.

Затем газ проходит через дозирующее устройство 5. Давление углекислого газа после второй ступени редуктора 3 контролируется манометром 4. Дозирующее устройство 5 представляет собой шайбу с калиброванным отверстием. Для интенсивных дыхательных режимов необходим большой расход диоксида углерода, который не обеспечивается одним дозирующим устройством 5. С этой целью в запорный вентиль 6 вмонтировано второе дозирующее устройство, представляющее собой вкладыш с калиброванным отверстием. Контроль подачи CO_2 производится по газовому счетчику 10. Индикатор подачи диоксида углерода 9, получающий сигнал от преобразователя давления типа «Сапфир» 8, служит только для определения наличия (или отсутствия) подачи CO_2 .

Ресивер 11 сглаживает пульсации и колебания в подаче CO_2 . После ресивера 11 по магистрали, снабженной обратным клапаном 12, диоксид углерода поступает в искусственные легкие 48.

При опускании мембраны искусственных легких 48 происходит засасывание воздуха из аппарата 26 по линии вдоха, а из магистрали диоксида углерода через обратный клапан 12 поступает порция диоксида углерода. Таким образом, при перемещении мембраны в нижнее положение происходит формирование требуемой порции воздуха с заданным содержанием CO_2 . В момент окончания движения мембраны вниз электромагнитные клапаны 13, 31 закрываются, а магнитные клапаны 45, 32 открываются. При перемещении мембраны в верхнее положение подготовленная порция воздуха поступает в магистраль линии выдоха.

Для придания выдыхаемому воздуху требуемых температурно-влажностных параметров установка снабжена увлажнителем 43 и термостатом 40. Регулировка влажности осуществляется двухходовыми кранами 37. при этом воздушный поток разделяется на два канала.

По одному из них воздух, минуя увлажнитель 43, попадает в отбойник капельной влаги 35. По другому каналу воздух направляется в увлажнитель 43, где проходя над слоем воды, подогревается и насыщается водяными парами. После выхода из увлажнителя 43 он смешивается с сухим воздухом и направляется в отбойник капельной влаги 35, где осаждаются излишняя влага.осушающая петля 39 служит для визуального наблюдения за степенью осаждения излишней влаги в отбойнике капельной влаги 35. Психрометр 33 служит для контроля влажности воздуха, подаваемого в испытываемый аппарат 26.

Из испытываемого аппарата 26 воздух поступает на линию вдоха, где измерителем температуры 21 и измерителем сопротивления дыханию 29 регистрируются параметры вдыхаемого воздуха. Газоанализаторы кислорода 24 и CO_2 23 подключаются воздушными магистралями 22 к точке пробоотбора (каналу вдоха или муляжу головы).

Температура воздуха, выходящего из регенеративного патрона испытываемого аппарата 26, по мере отработки регенеративного продукта возрастает. Чтобы исключить ее влияние на параметры выдыхаемого воздуха на линии вдоха установлен холодильник 15. Таким образом, в течение всего времени работы динамической установки в искусственные лёгкие 48 поступает воздух определенной температуры, соответствующей температуре охлаждающей жидкости холодильника 15.

Имитация кислородопотребления при испытаниях дыхательных аппаратов осуществляется путем откачивания воздуха при помощи малых легких 50. Из точки отбора, расположенной на линии вдоха, порция откачиваемого воздуха через газовый счетчик 18 поступает в малые легкие 50, из малых легких 50 через систему обратных клапанов, расположенных в клапанной коробке 46, – в атмосферу. Величина кислородопотребления настраивается перед каждым испытанием в соответствии с режимом испытаний.

Необходимая температура в увлажнителе 43 и термостате 40 поддерживается автоматически с помощью устройств, расположенных в блоке управления 14.

3.2 Исследование тепло - и газообменных процессов в регенеративном патроне респиратора.

Проанализировав выполненные экспериментальные исследования регенеративных патронов респиратора типа РХС заводского изготовления, показавших в общем стабильные результаты и соответствующие нормативным документам [27], но всё же в них при раснаряжении была отмечена неполная отработка регенеративного продукта по периферии регенеративного патрона. Математическое моделирование теплообменных процессов в регенеративном патроне респиратора также указало на зависимость степени отработки регенеративного патрона с «развернутым» слоем от направления движения воздушного потока.

Для экспериментальной проверки этого вывода (о зависимости степени отработки регенеративного продукта от направления движения воздушного потока в регенеративном патроне) было принято решение о модернизации регенеративного патрона респиратора РХС заводского изготовления. С этой целью некоторые внутренние детали регенеративного патрона были изъяты и заменены другими.

В патроне осуществлена радиальная схема движения регенеративного воздуха.

Общий вид регенеративного патрона с центростремительным движением воздуха и направление в нем движение воздуха и кислорода приведены на рисунках 3.2, 3.3.

Результаты первых испытаний модернизированного регенеративного патрона с перечисленными выше изменениями в конструкции были неудовлетворительными, поскольку наблюдали ранний проскок диоксида углерода – вероятно в точке соприкосновения внутреннего и внешнего (наружного) 10 корпусов регенеративного патрона – в районе алюминиевой пластины.

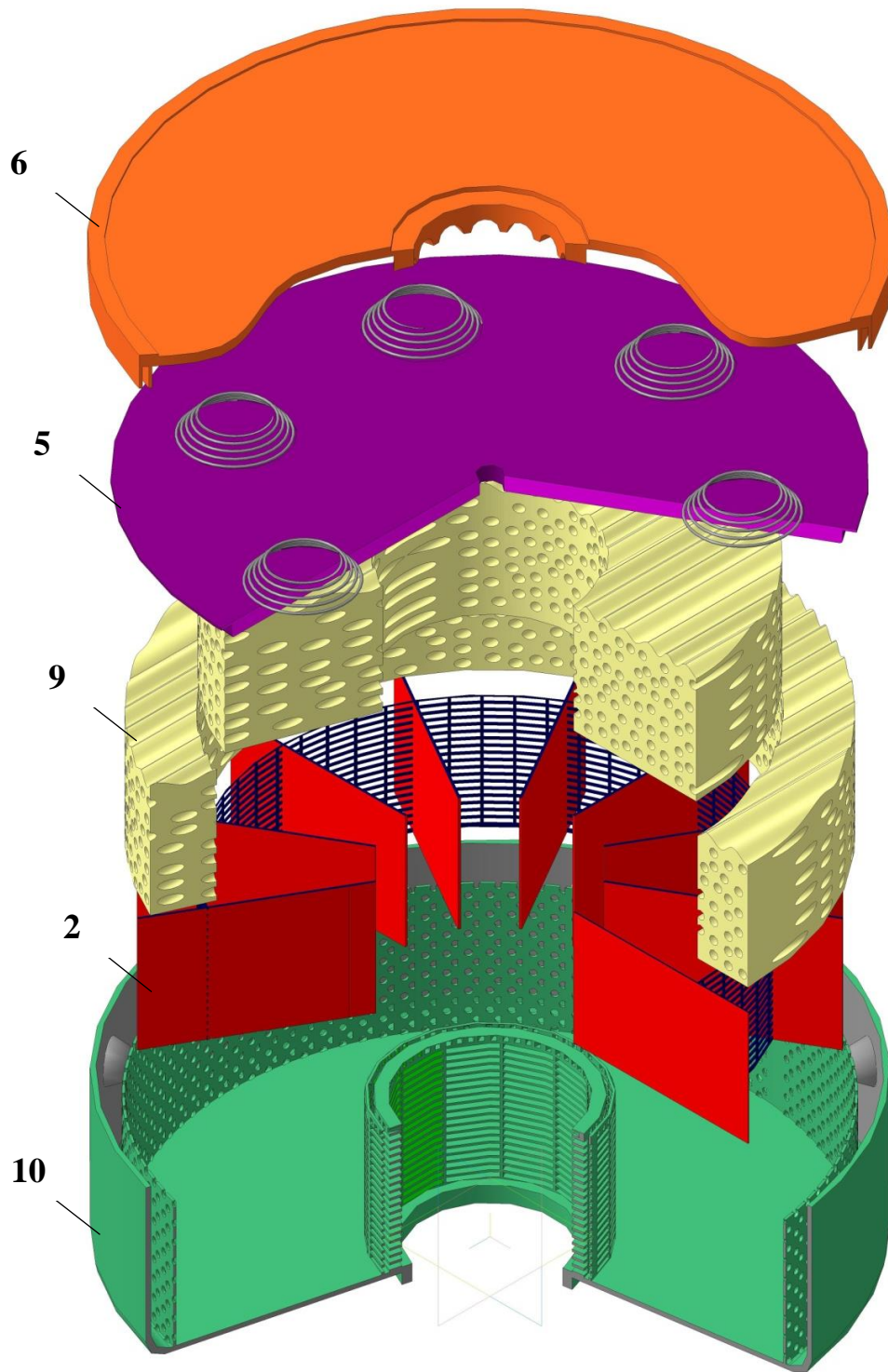


Рисунок 3.2 – Общий вид регенеративного патрона с центростремительным движением воздуха

2 – теплогазораспределитель; 5 – нижняя крышка; 6 – верхняя крышка; 9 – кислородосодержащий продукт; 10 – корпус:

← Воздух
← Кислород

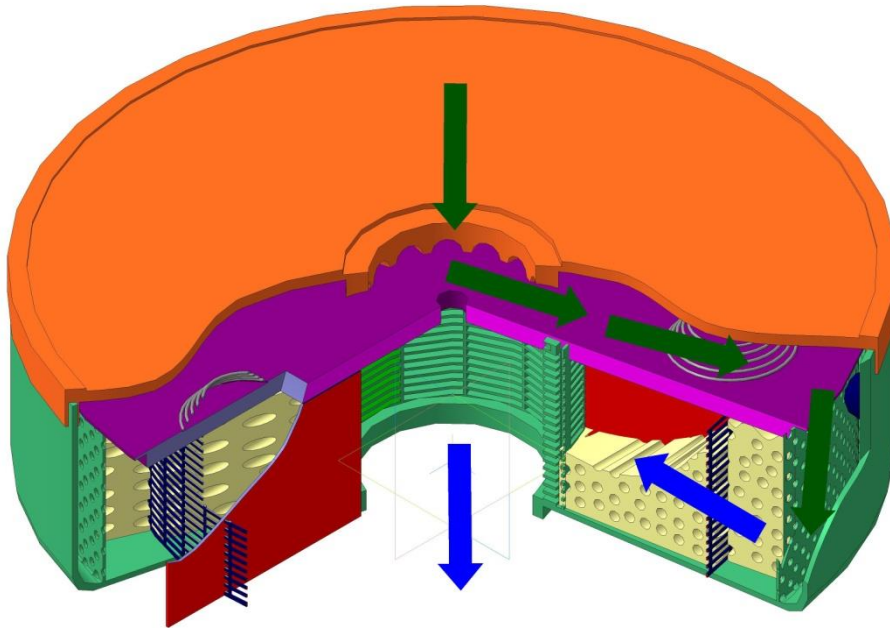


Рис. 3.3 – Регенеративный патрон с центростремительным движением воздуха

Для исключения проскока диоксида углерода в дальнейшем в этом месте устанавливалась прокладка, либо плоская с отверстиями, либо кольцо по периферии алюминиевой пластины. Так же для исключения проскока на внутренней крышке 5 снизу приварили три проволочных кольца. Динамические испытания регенеративного патрона и с этими конструктивными изменениями не улучшили результаты: визуальный осмотр содержимого регенеративного патрона показал, что по периметру – гранулы продукта ОКЧ белого цвета, цвета отработанного продукта, наблюдалось и спекание продукта; вокруг центральной трубки – продукт сыпучий с наличием желтых гранул неотработанного продукта. При этом обнаружено, что кольцо из шлемовой резины размягчалось во время опыта при высокой температуре, т.е герметичность регенеративного патрона нарушалась, что объясняет первые отрицательные результаты динамических испытаний.

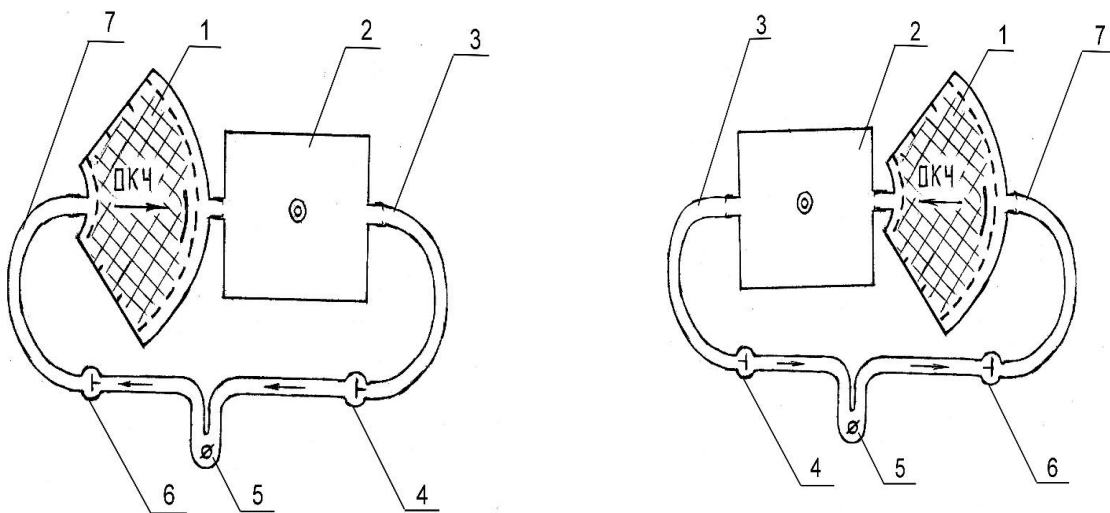
В следующих экспериментах герметичность регенеративного патрона сохранялась до конца опытов с помощью более сложных и надежных усовершенствований конструкции регенеративного патрона: изменялись габаритные размеры и применяли термостойкий материал для колец, уменьшался диаметр внутренней крышки 5 регенеративного патрона, увеличивалась длина пластин теплогазораспределителя 2, внутреннюю часть патрона приваривали к наружной. Полученные результаты динамических испытаний усовершенствованного регенеративного патрона респиратора с конструктивной схемой, предусматривающей движение воздуха от периферии патрона (от периметра) к центру, показали увеличение ВЗД в среднем на (8...9) %. Отсутствие более значительного увеличения ВЗД по всей видимости, обусловлено довольно сложной конструкцией заводского патрона респиратора, когда возможные утечки (проскок диоксида углерода минуя регенеративный продукт ОКЧ) могли нивелировать влияние изменения направления движения воздуха.

Для устранения влияния проскока диоксида углерода в обход кислородсодержащего регенеративного продукта, разработана и изготовлена упрощенная конструкция условного регенеративного патрона в виде одного сектора (Рисунок 3.4). Вид такого патрона использован и в математических расчетах тепловых процессов регенерации (Раздел 2).



Рисунок 3.4 – Схема секторного регенеративного патрона

Такой регенеративной патрон представляет собой 1/4 часть круглого регенеративного патрона респиратора (т.е. сектор) с двумя штуцерами, расположенными на противоположных сторонах: узкой и широкой, для присоединения дыхательного мешка с избыточным клапаном и шланга воздухопроводной системы (закрытая круговая система). На боковые стенки регенеративного патрона, дно и крышку патрона приварены уголки высотой 5 мм (по два уголка на каждую поверхность) для исключения «пристенного» эффекта – проскока диоксида углерода, минуя регенеративный продукт. Масса продукта в таком патроне от 730 до 760 г, наличие пускового брикета в патроне не предусмотрено. Условно схема подсоединения секторного регенеративного патрона (с разным направлением воздушного потока) к динамической установке с «искусственными лёгкими» представлена на рисунке 3.5.



1 – секторный регенеративный патрон; 2 – дыхательный мешок; 3, 7 – воздухопроводы; 4 – клапан вдоха; 5 – динамическая установка; 6 – клапан выдоха

Рисунок 3.5 – Схема подсоединения секторного регенеративного патрона к динамической установке с «искусственными лёгкими»

В данном патроне предполагалось исключить утечки газо - дыхательной смеси в обход регенеративного продукта и уменьшить (или устранить) вредное

пространство под крышкой для предотвращения накопления диоксида углерода в воздухопроводной системе.

Первые эксперименты, в которых секторный регенеративный патрон был плотно заполнен регенеративным продуктом (Рисунок 3.5), показал необходимость введения во внутреннюю часть патрона отбойной пластины определенной высоты (60...55) мм для равномерного рассеивания, входящего газоздушного потока и усиления контакта его с гранулами регенеративного продукта, а также других конструктивных изменений, позволяющих увеличить ресурс работы патрона (Рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 – Секторный регенеративный патрон, снаряженный кислородсодержащим продуктом

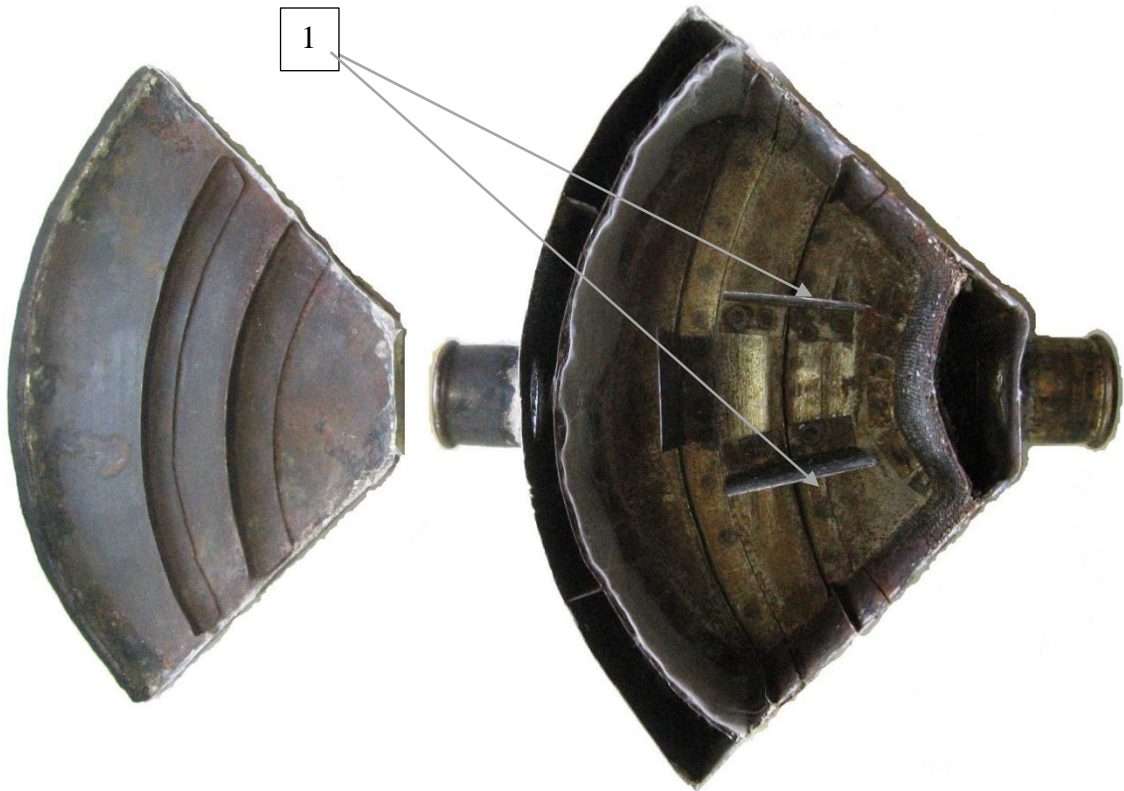


1 – отбойная пластина.

Рисунок 3.7 – Патрон с отбойной металлической пластиной

Результаты динамических испытаний условного (секторного) регенеративного патрона с движением воздушного потока к центру (от широкой части к узкой □ центру) и от центра (от узкой части к широкой) представлены в таблице 3.2.

Отбойная пластина уменьшенной до 55 мм высоты показала удовлетворительные результаты: ВЗД регенеративного патрона увеличилось на 5-8 мин. Введение теплогазораспределителя в виде двух полос длиной 32 мм и высотой 55 мм значительно не улучшило показатели регенеративного патрона. На рисунках 3.7 и 3.7.1 представлен секторный регенеративный патрон с теплогазораспределителем.



1 – теплогазораспределитель.

Рисунок 3.7.1 – Секторный регенеративный патрон с теплогазораспределителем

Таблица 3.2

Результаты динамических испытаний секторного регенеративного патрона с радиальным движением воздушного потока к центру (от широкой части к узкой – центру) и от центра (от узкой части к широкой)

Параметр	Порядковый номер испытания (протокола)								
	1 (№ 20)	2 (№ 21)	3 (№ 22)	4 (№ 23)	5 (№ 24)	6 (№ 25)	7 (№ 26)	8 (№27)	9 (№28)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 Масса регенеративного продукта, кг	0,735	0,730	0,740	0,755	0,750	0,750	0,745	0,750	0,745
2 ВЗД, мин, до достижения объемной доли диоксида углерода: 1,5 % 3,0 %	17 35	22 23	27 25	29 46	30 38	27 41	27 40	23 40	24 39
3 Сопротивление дыханию, Па (вдох/выдох)	1,1/4,8	1,2/4,8	0,9/5,7	1,3/6,9	0,9/9	1,3/5,0	1,3/5,0	1,4/5,7	1,3/5,3
4 Объемная доля кислорода на входе, % (начало-окончание)	11–97,8	23–97	21–91	20,0–89	26–98	23–94	23–96	23–87	22–85
5 Сорбционная емкость продукта, дм ³ /мин до 1,5 % диоксида углерода до 3,0 % диоксида углерода	27,3 49,5	4,2 34,2	40,9 61,2	45,4 61,6	44,7 54,7	47,3 54,0	40,8 54,5	33,9 3,3	35,2 52,0
6 Движение воздушного потока	от центра	к центру	к центру	к центру	к центру	от центра	от центра	к центру	от центра

Продолжение таблицы 3.2

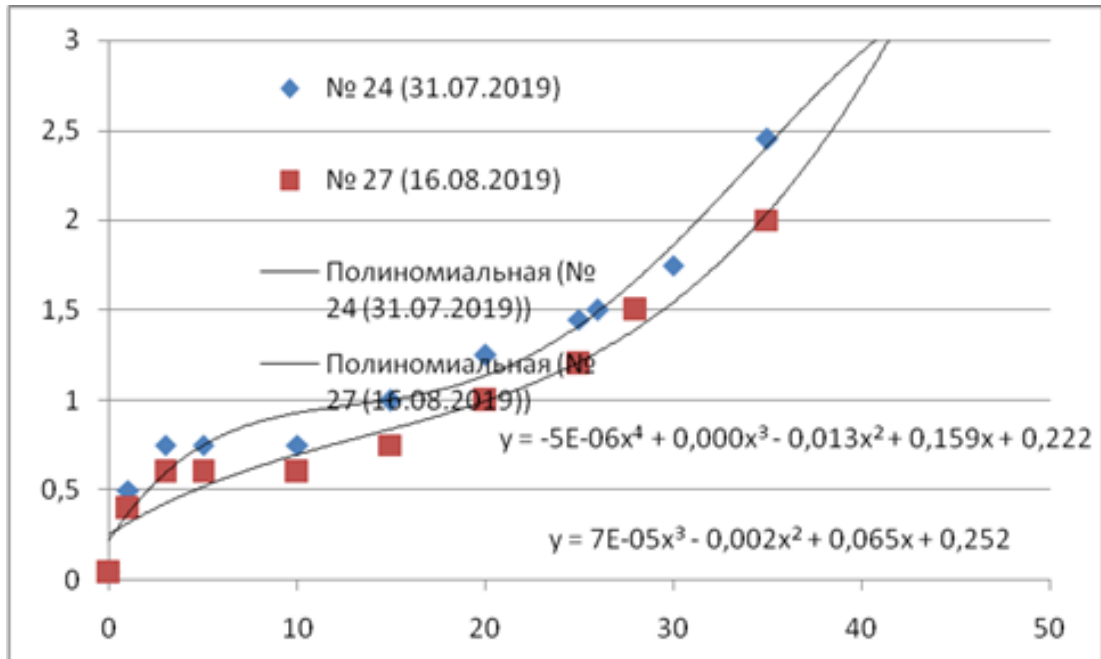
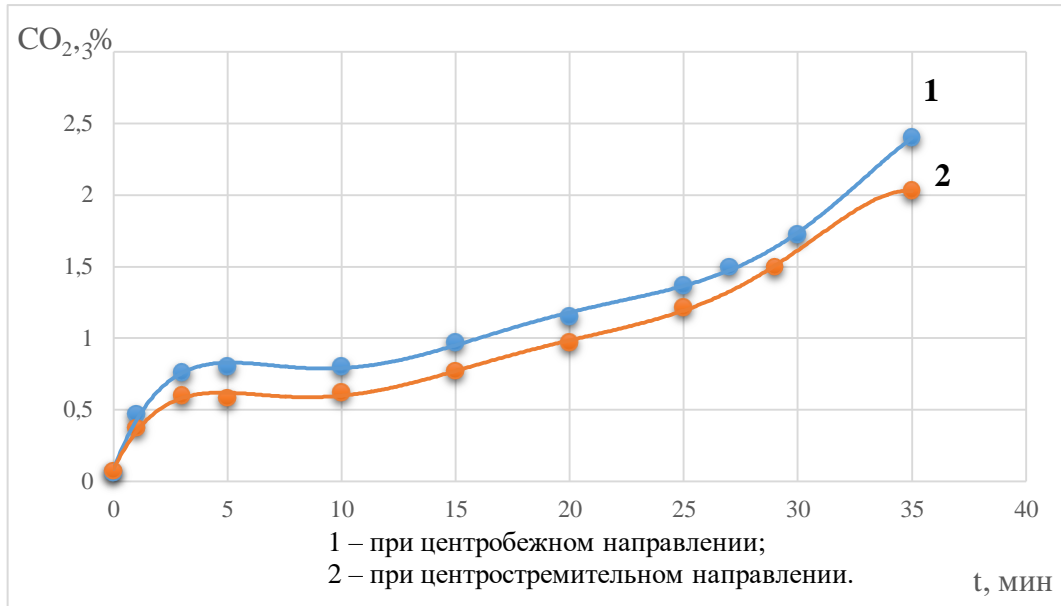
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	Конструктивные особенности	Без изменений	Введена в широкой части патрона отбойная пластина высотой 60 мм, верхняя крышка выгнулась, ранний проскок диоксида углерода	Отбойная пластина уменьшена по высоте на 5 мм. и стала равной 55 мм. Регенеративный продукт сверху в патроне покрыт тонким слоем стекловолокна (0,5 – 1,0 г) для плотной посадки крышки и исключения раннего проскока диоксида углерода				В конструкцию патрона введен теплогазораспределитель в виде двух полос длиной 32 мм и высотой 55 мм	

Следует также отметить, что результаты динамических испытаний секторного патрона с движением воздушного потока от широкой части к узкой (к центру) были стабильными и улучшенными, ориентировочно на (8...9) %: объемная доля диоксида углерода на входе возрастала медленнее, за счет чего повышалось ВЗД регенеративного патрона, продукт обрабатывал равномернее, спекание продукта с образованием агломератов не было отмечено. Установлена динамика изменения диоксида углерода в секторном регенеративном патроне с разным направлением движения воздушного потока (Рисунок 3.8).

3.3 Исследование параметров сопротивления дыханию в респираторе

В соответствии с Программой испытаний, утвержденной 27.03.2019 г., экспериментальный образец регенеративного патрона респиратора РХ испытан в составе респиратора на динамической установке с «искусственными легкими» - стенде-имитаторе дыхания. Испытания проводили, в основном, при нагрузке средней тяжести и температуре окружающей среды (25...30)⁰С, а также при тяжелой дыхательной нагрузке и температуре 25⁰С. Экспериментальные исследования проводили до проскока СО₂ во вдыхаемом воздухе, равного 1,5 %.

В научных работах [13,43,49,56,57,72,73] при исследовании физико-химических процессов в регенеративном патроне отмечают, что при наличии стационарных граничных условий на входе в продукт его работающий слой равномерно смещается вглубь однородно снаряженного регенеративного патрона по мере исчерпания поглотительного ресурса предыдущих слоев. При этом доля молекул СО₂, преодолевающих регенеративный патрон (именуемая в дальнейшем проскоком), монотонно возрастает. В выдыхаемом человеком воздухе содержится 4% углекислого газа. Отравление начинается, если на выходе из регенеративного патрона в воздушном потоке остается (и возвращается на вдох) 1,5% углекислого газа. После этого пользоваться дыхательным аппаратом нельзя. Поэтому такой проскок углекислого газа является критическим.



- 1 – при центробежном направлении: $y = -5 \cdot 10^{-6} \cdot x^4 - 0,013x^2 + 0,159x + 0,222$
 2 – при радиальном направлении: $y = 7 \cdot 10^{-5} \cdot x^3 - 0,002x^2 + 0,065x + 0,252$

Рисунок 3.8 – Динамика изменения диоксида углерода в секторном регенеративном патроне с разным направлением движения воздушного потока

Параметры дыхания, соответствующие нагрузкам, при которых проводились испытания, указаны в таблице 3.3.

Параметры дыхательной нагрузки

Вид нагрузки	Номер режима испытания	Легочная вентиляция, дм ³ /мин	Частота дыхания, мин ⁻¹	Подача СО ₂ , дм ³ /мин
Относительный покой	2	12	15	0,4
Работа средней тяжести	5	30	20	1,0
Тяжелая работа	10	60	25	2,0

В соответствии с ДСТУ 3856-99 при средней дыхательной нагрузке (дыхательный режим № 5) и нормальной температуре (25 - 1) -С окружающей среды гарантированное ВЗД респиратора РХ (до проскока 1,5 % СО₂) должно быть не менее 120 мин для 2-х часового патрона. При других условиях, например, при повышенной температуре до 60 -С окружающей среды и легочной вентиляции 60дм³/мин (тяжелая нагрузка - дыхательный режим № 10), ВЗД не нормируется, а устанавливается его фактическое значение.

Подготовка к испытаниям экспериментального образца регенеративного патрона к респиратору РХ включали следующие процедуры:

- извлечение регенеративного продукта ОКЧ-3 из заводских регенеративных патронов к респиратору РХС выпуска 1990-1992 гг.: распайка патрона, высыпание продукта в герметичную емкость;
- выполнение химического анализа регенеративного продукта ОКЧ-3 на соответствие требованиям технических условий (содержание активного кислорода и связанного диоксида углерода);
- перемешивание продукта в герметичной емкости (раскачиванием);
- отсев пыли и мелких фракций (менее 1 мм) кислородосодержащего регенеративного продукта ОКЧ-3;
- снаряжение макетного образца регенеративного патрона респиратора (обезжиривание внутренних поверхностей патрона, просушка, установка ТГР, засыпка

продукта ОКЧ-3 в патрон, утряска, закрывание патрона крышками, запайка патрона).

Шорох продукта недопустим;

- определение массы регенеративного продукта;
- проверка герметичности макета регенеративного патрона респиратора;
- проверка сопротивления регенеративного патрона постоянному потоку воздуха с объемной скоростью 60 дм³/мин;
- подключение регенеративного патрона к воздухопроводной системе респиратора;
- настройка динамической установки с «искусственными легкими» на требуемый режим испытания;
- проведения испытания регенеративного патрона на динамической установке.

Оценка усовершенствованного образца с точки зрения его соответствия нормам ДСТУ 3856-99 осуществлена по результатам лабораторных испытаний экспериментального образца регенеративного патрона респиратора. Во всех опытах в регенеративный патрон поступал выдыхаемый воздух, содержащий CO₂, имеющий температуру (36...37)°С и относительную влажность (93...98) %.

Результаты основных видов лабораторных испытаний представлены в таблице 3.4, графически, на рисунках 3.9-3.13.

Таблица 3.4

Результаты основных видов лабораторных испытаний

Конструктивные особенности регенеративного патрона (РП) и теплогазораспределителя (ТГР)	Масса ОКЧ-3, кг	Фактическое ВЗД до проскока 1,5 % CO ₂ , мин	Максимальное сопротивление выдоху, мм вод.ст.	Режим испытания, № формуляра	Описание внешнего вида отработанного продукта
Уменьшено пространство между внутренней и наружной крышками патрона	2,38	93	50	№ 5	Плохое уплотнение по центральному винту □ возможен проскок CO ₂
	2,47	157	48	№ 5	Улучшено уплотнение по центральному винту

Продолжение таблицы 3.4

Увеличена длина пластины ТГР до наружной стенки обечайки. Пластин 12 шт., каждая длиной 120 мм, высотой 50 мм	2,205	134	50	№ 5 (31)	Продукт серого цвета. По краю обечайки (по периметру) сильно спекшийся, далее к центру сыпучий, легко высыпается
	2,220	122	37	№ 5 (32)	
	2,450	162	39	№ 5 (16)	
	2,240	154	50	№ 5 (33)	
	2,470	160	37	№ 5 (17)	
	2,235	155	40	№ 5 (34)	
ТГР в виде 12 сплошных металлических полос, изогнутых под углом 45 °	2,385	150	38	№ 5 (18)	В районе ТГР не отработанный продукт, ближе к краю отработанный, немного спекшийся, но рассыпчатый. Отмечено ближе к центру наличие неотработанных гранул продукта желтоватого цвета
	2,245	95	12	№ 5 (2)	
	2,200	100	39	№ 5 (3)	
	2,200	83	38	№ 5 (5)	
ТГР в виде 12 сплошных и изогнутых металлических полос, укороченных до 85 мм и присоединенных к кольцу (окружности) из двойной сетки диаметром 200 мм	2,205	91	42	№ 5 (6)	Неотработанные гранулы продукта □ в центре патрона
	2,190	86	39	№ 5 (10)	
	2,205	111	37	№ 5 (11)	
ТГР в виде 11 сетчатых полос длиной 90 мм, высотой 50 мм, между двумя окружностями: наружной и внутренней диаметром 120 мм	2,210	148	28	№ 5 (7)	Продукт слипшийся по периметру обечайки патрона
	2,205	111	37	№ 5 (11)	
ТГР в виде 10 металлических изогнутых полос: 5 - сплошная полоса, 5 - сетчатых	2,235	140	9 - 41	№ 5 (12)	Продукт слипшийся по периметру обечайки патрона
	2,235	140	9 - 41	№ 5 (12)	

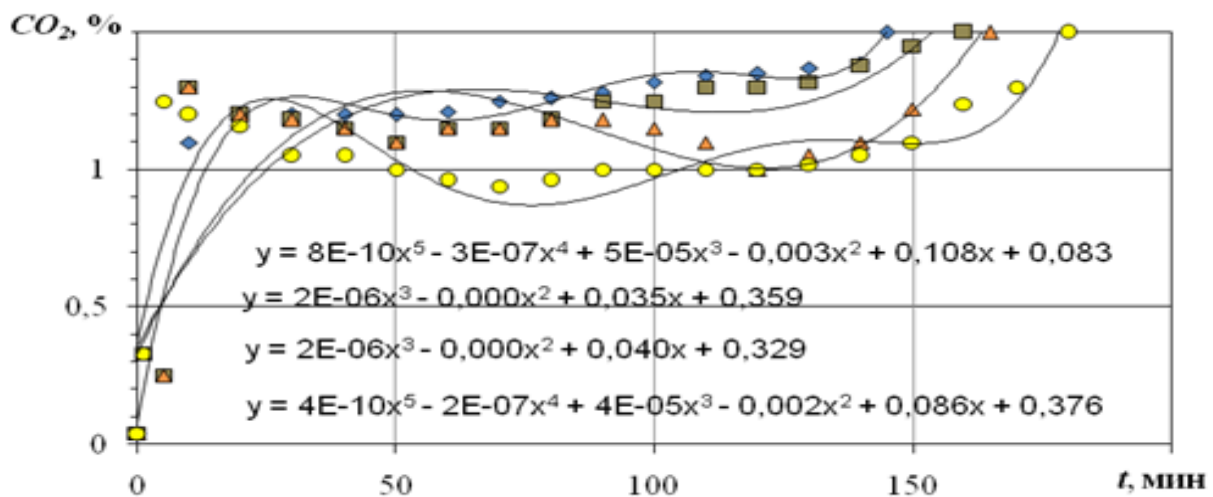
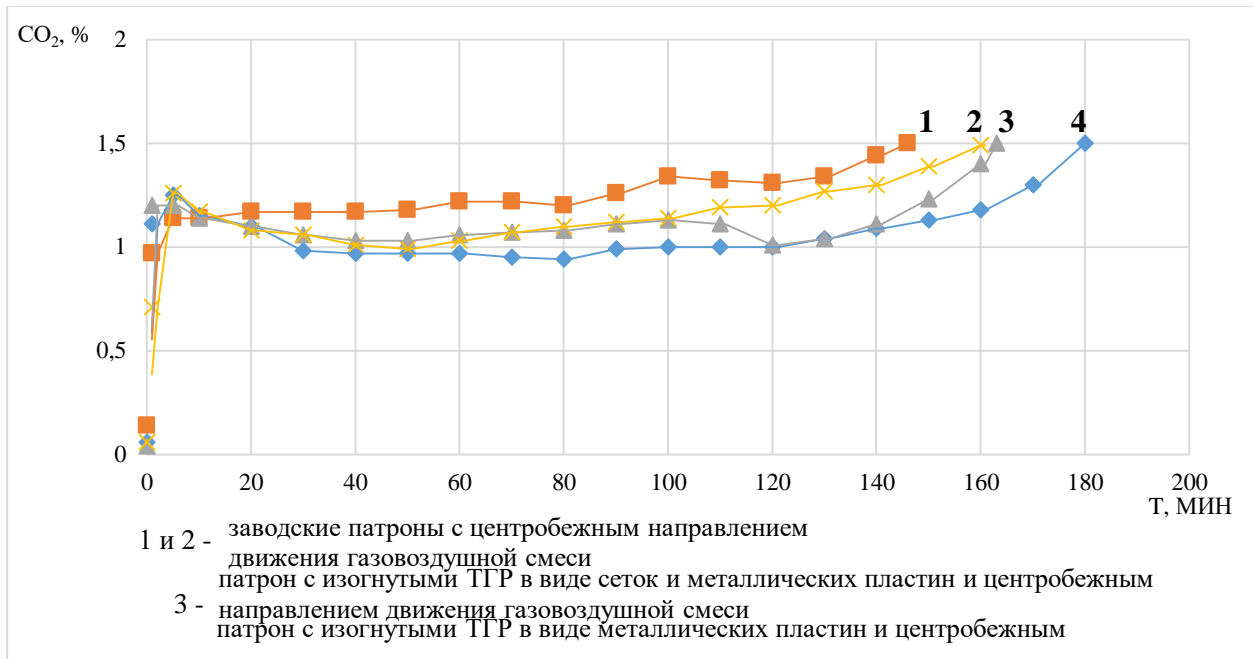
Продолжение таблицы 3.4

ТГР в виде 12 металлических полос сплошных изогнутых длиной 85 мм и высотой 50 мм. С внутренней стороны наружной обечайки регенеративного патрона - дополнительная сетчатая обечайка с гофрами - карманами	2,190	150	34	№ 5 (15)	Отмечена удовлетворительная отработка продукта
ТГР в виде 10 изогнутых полос: 5 - сплошная полоса, 5 - сетчатых	2,195	164	33	№ 5 (17)	Отмечена хорошая отработка продукта
ТГР в виде 11 сетчатых изогнутых полос (50x80); по периферии - обечайка сетчатая с гофрами	2,200	145	25	№ 5 (16)	Отработка продукта неполная
ТГР в виде 12 сплошных изогнутых полос: 50x50 мм. Дополнительно установлена по периферии патрона сетчатая обечайка с гофрами	2,140 2,185 2,190 2,180 2,195	161 160 188 79 90	31 26 30 50 50	№ 5 (18) № 5 (19) № 5 (22) № 10 (20) № 10 (21)	Отмечена хорошая отработка продукта

3.4 Исследование газового состава среды под маской в пространстве лицевой части респиратора.

Среди патронов с изменённым направлением движения газовой смеси, т.е. с движением воздуха от периферии к центру, лучшее значение ВЗД показал регенеративный патрон, ТГР которого был выполнен в виде изогнутых

чередующихся металлических пластин, пластин и сеток с дополнением сетчатой обечайкой в виде кольца (Рисунок 3.9).



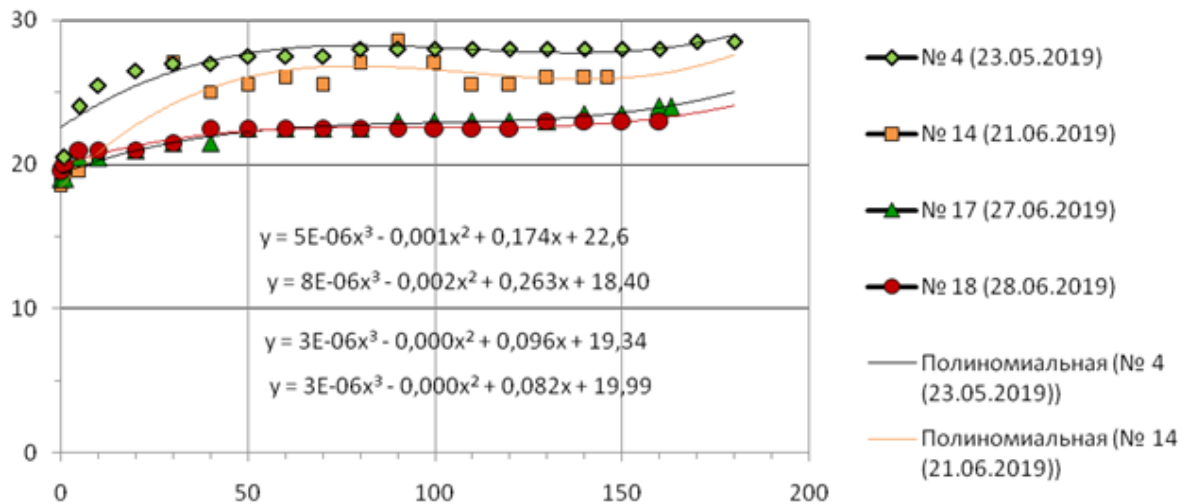
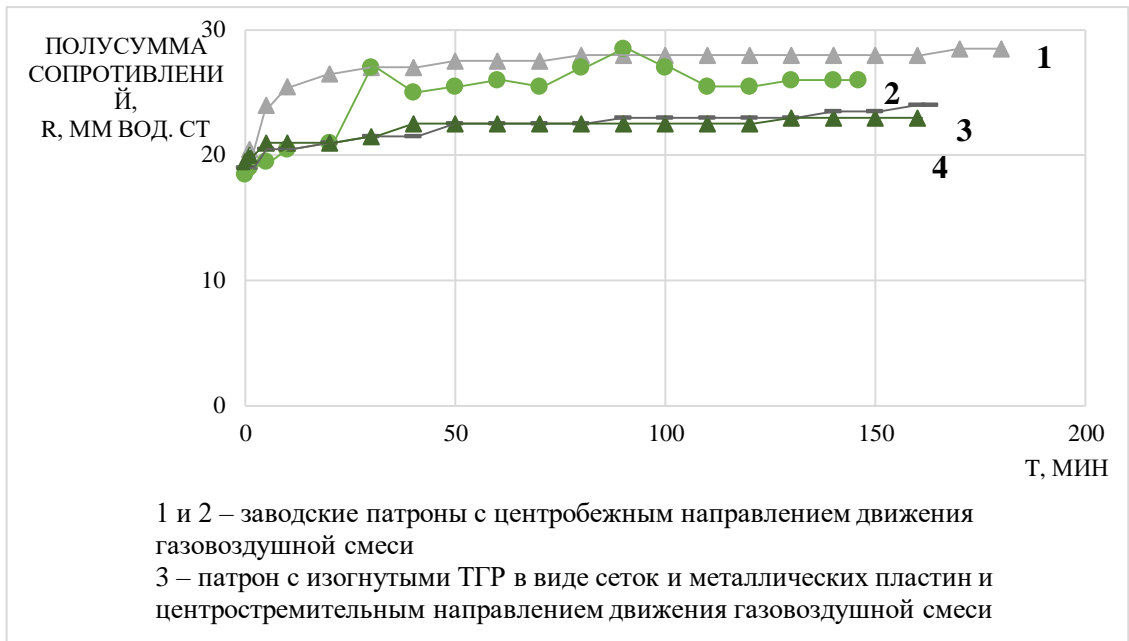
$$1 - y = 8 \cdot 10^{-10} \cdot x^5 - 3 \cdot 10^{-07} \cdot x^4 + 5 \cdot 10^{-05} \cdot x^3 - 0,003 \cdot x^2 + 0,108x + 0,083 \cdot$$

$$2 - y = 2 \cdot 10^{-6} \cdot x^3 + 0,035x + 0,359$$

$$3 - y = 2 \cdot 10^{-6} \cdot x^3 + 0,040x + 0,329$$

$$4 - y = 4 \cdot 10^{-10} \cdot x^5 - 2 \cdot 10^{-7} \cdot x^4 + 4 \cdot 10^{-05} \cdot x^3 + 0,002x^2 + 0,086x + 0,376$$

Рисунок 3.9 – Зависимость содержания диоксида углерода во вдыхаемом воздухе от направления движения газовой смеси в регенеративном патроне



$$1 - y = 5 \cdot 10^{-06} \cdot x^3 - 0,001 \cdot x^2 + 0,174x + 22,6$$

$$2 - y = 8 \cdot 10^{-06} \cdot x^3 - 0,002 \cdot x^2 + 0,263x + 18,40$$

$$3 - y = 3 \cdot 10^{-06} \cdot x^3 + 0,096x + 19,34$$

$$4 - y = 3 \cdot 10^{-06} \cdot x^3 + 0,082x + 19,99$$

Рисунок 3.10 – Зависимость полусуммы сопротивления дыханию от направления движения газовой смеси в регенеративном патроне

Патроны с движением газовой смеси от периферии к центру показали снижение сопротивления дыханию в среднем на 15% по сравнению с патронами заводской конструкции. Значимых различий по сопротивлению дыханию в патронах, ТГР которых выполнен в виде изогнутых чередующихся

металлических пластин и сеток и ТГР которых выполнен в виде изогнутых чередующихся металлических пластин, не отмечено.

Исследовано изменение содержания диоксида углерода во времени в патронах с направлением движения газовой смеси от периферии к центру в зависимости от конструкции ТГР (Рисунок 3.11). Регенеративные патроны, в которых конструкция ТГР предусматривает помимо изогнутых пластин и сеток дополнительное зигзагообразное кольцо из двойной сетки, показали высокое значение ВЗД (160...163) мин. Разделение массы продукта на сектора в патронах данной конструкции, предохраняя от спекания, снижали интенсивность процессов регенерации, удлиняя их.

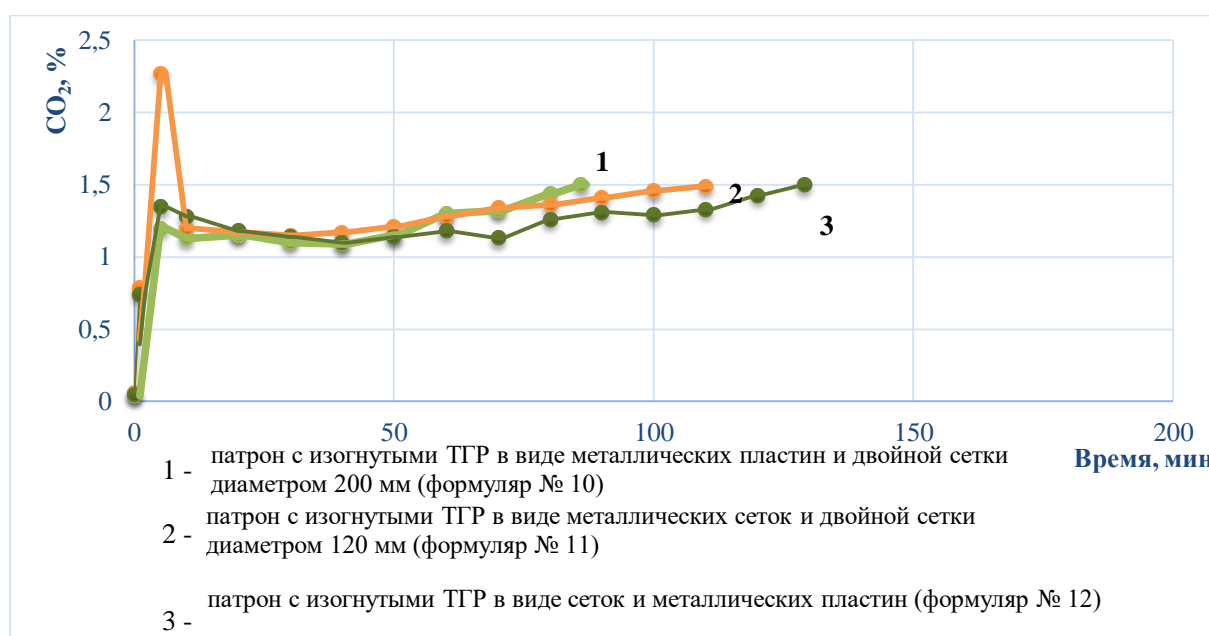


Рисунок 3.11 – Зависимость содержания диоксида углерода во вдыхаемом воздухе от конструкции ТГР в регенеративных патронах с направлением движения газовой смеси от периферии к центру

Исследовано влияние конструкции ТГР на сопротивление дыханию в регенеративных патронах с направлением движения газовой смеси от периферии к центру (Рисунок 3.12).

Все конструкции регенеративных патронов обеспечивали низкое сопротивление дыханию благодаря радиальному направлению движения газо-

воздушной смеси. Статистически значимых различий по сопротивлению дыханию в патронах с разной конструкцией ТГР не выявлено.

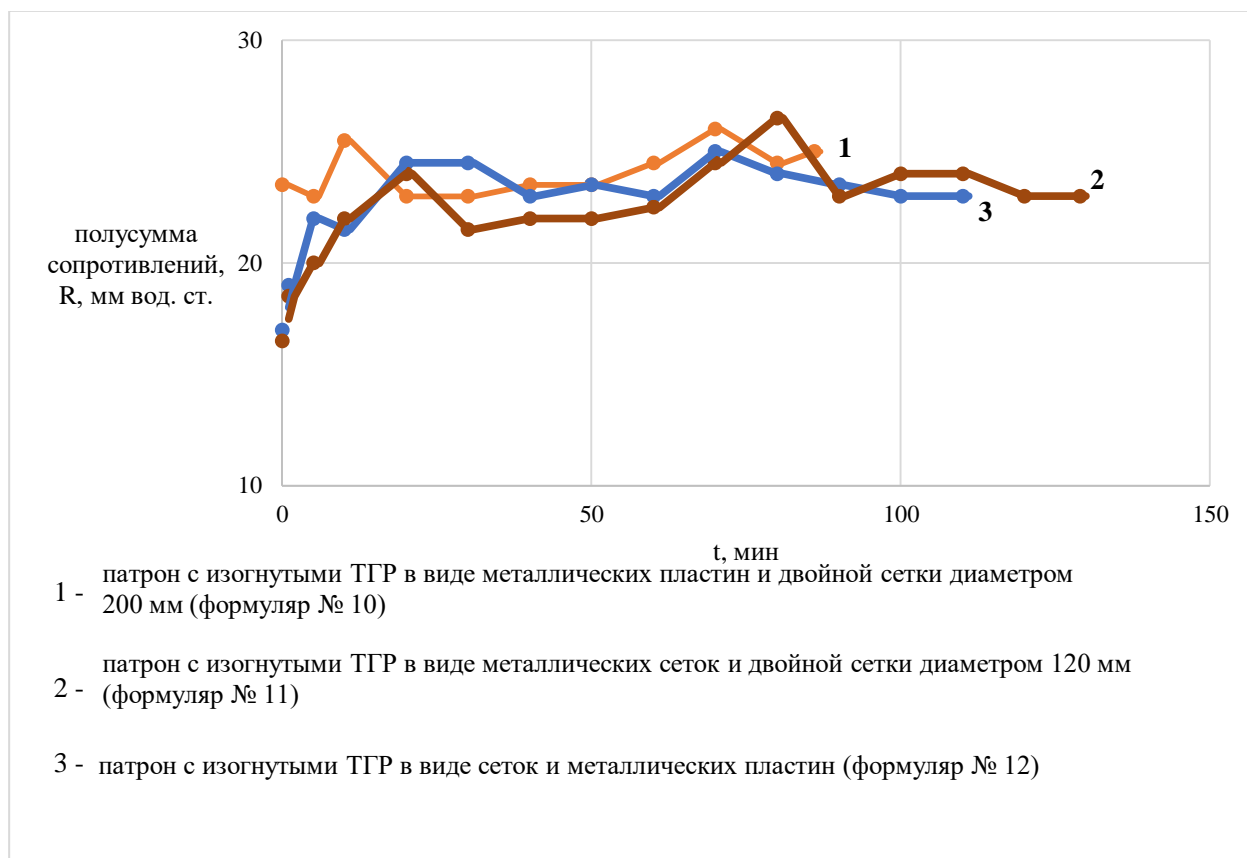


Рисунок 3.12 – Зависимость полусуммы сопротивления дыханию от конструкции ТГР в регенеративных патронах с центростремительным направлением движения газовой смеси

Зависимость ВЗД регенеративного патрона от массы продукта ОКЧ-3 представлена на рисунке 3.13. Регенеративный патрон последней конструкции с направлением движения воздушной смеси от периферии к центру с сетчатой зиганной обечайкой позволил добиться максимального ВЗД (188 мин) при меньшем количестве регенеративного продукта (2,19 кг) (формуляр № 22).

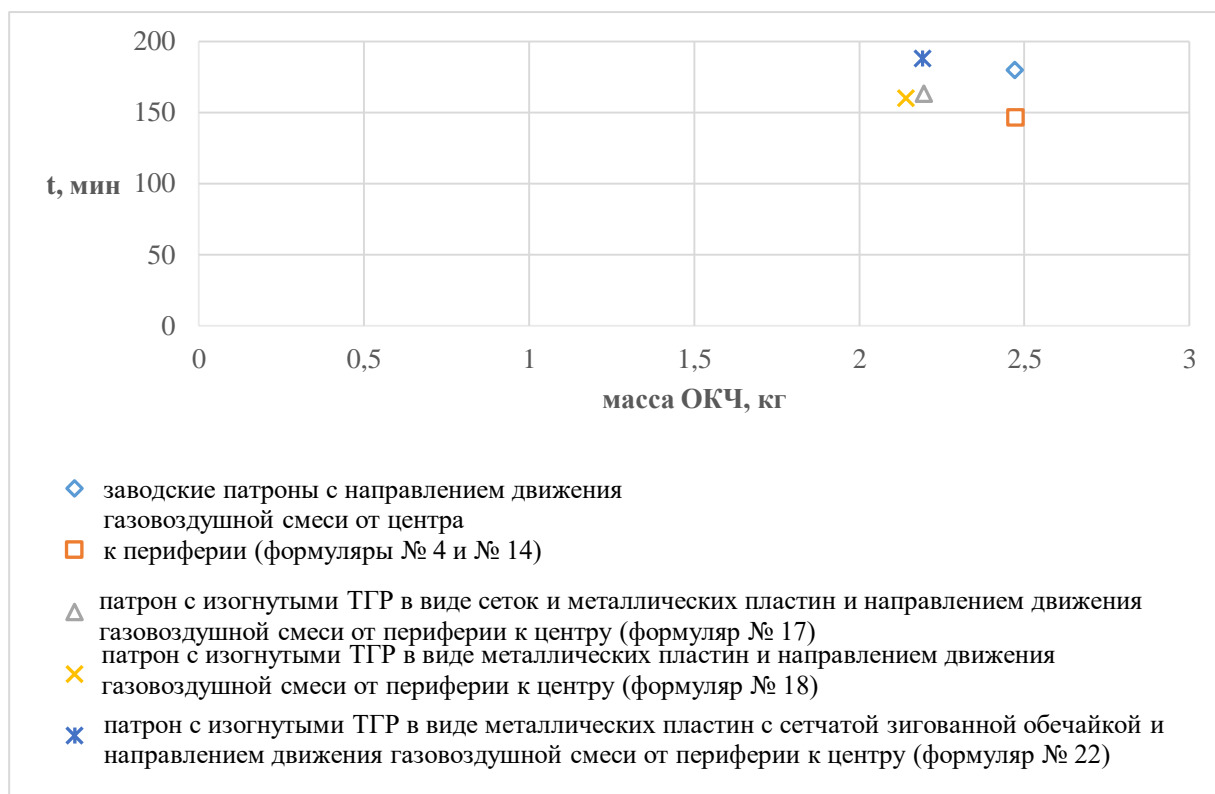


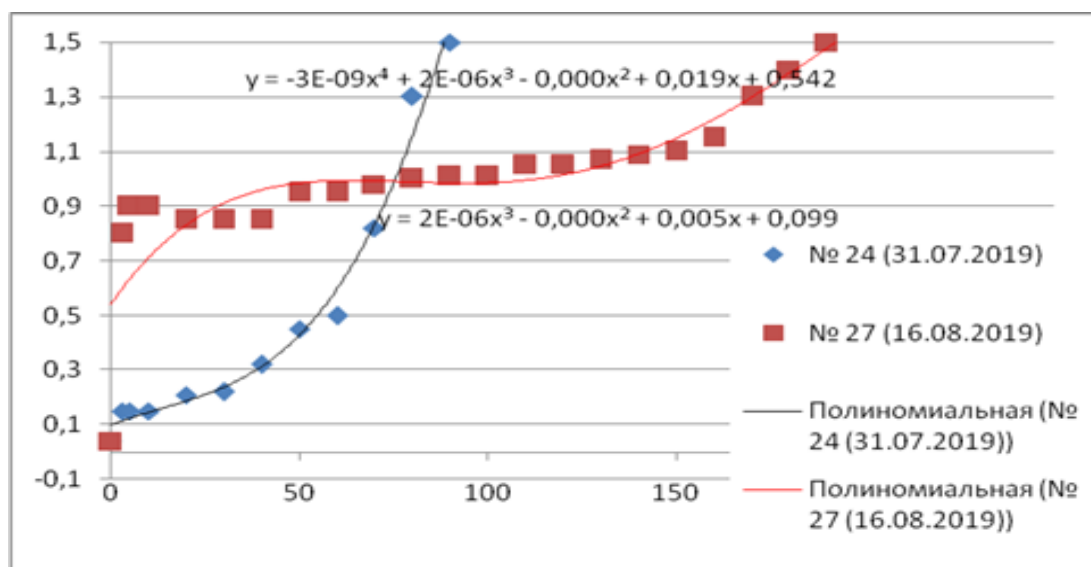
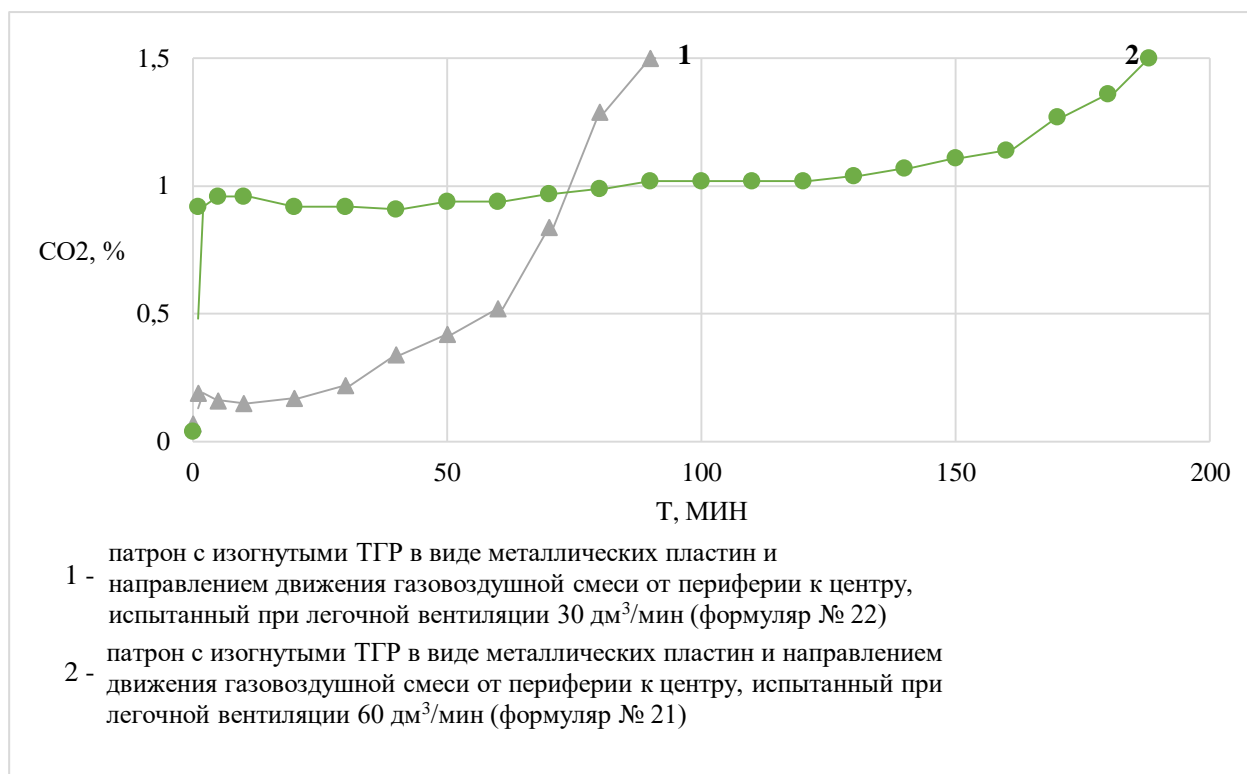
Рисунок 3.13 – Зависимость ВЗД от массы продукта ОКЧ-3 в регенеративном патроне респиратора

В ходе выполнения испытаний экспериментально образца усовершенствованного регенеративного патрона (с движением воздушного потока от его периферии к центру) определены его параметры в двух режимах (среднем и тяжелом). Результаты испытаний приведены в таблице 3.5 и на рисунке 3.14.

Таблица 3.5

Результаты испытаний

Параметр регенеративного патрона респиратора	Режим испытания		Данные ДСТУ 3856-99 для режима средней нагрузки
	средний	тяжелый	
1 Время защитного действия, мин	160 - 188	79 - 90	120
2 Максимальное сопротивление дыханию, мм вод.ст.	17	40- 48	50
3 Температура вдыхаемого воздуха, °С	29-35	26 - 42	45
4 Масса регенеративного продукта в регенеративном патроне, кг	2,1 - 2,2	2,1 - 2,2	-



$$1 - y = 2 \cdot 10^{-06} \cdot x^3 + 0,005x + 0,099$$

$$2 - y = -3 \cdot 10^{-09} \cdot x^4 + 2 \cdot 10^{-06} \cdot x^3 - 0,000x^2 + 0,019x + 0,542$$

Рисунок 3.14 – Изменение содержания диоксида углерода во вдыхаемом воздухе при испытании регенеративного патрона в режиме средней и тяжелой нагрузки

Результаты теоретических и экспериментальных исследований по определению содержания оксида углерода в респираторе, приведены на рисунке 3.15, откуда следует, что максимальная погрешность не превышает 12%.

1 – теоретическая кривая, 2 – экспериментальная кривая.

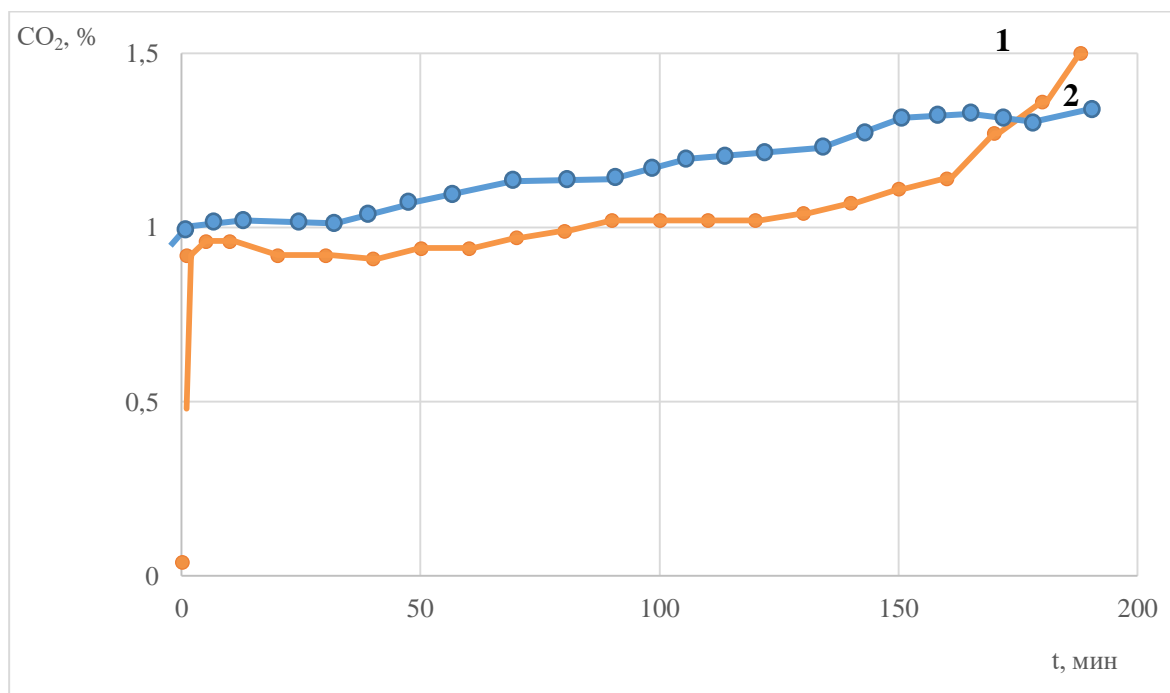


Рисунок 3.15 – Результаты теоретических и экспериментальных исследований по определению содержания оксида углерода в респираторе, 1 – теоретическая кривая, 2 – экспериментальная кривая.

Дефекты в изготовленном экспериментальном образце регенеративного патрона не обнаружены. Снаряжение регенеративного патрона кислородсодержащим продуктом удобное, происходило насыпанием и ручной утряской. Заправка противопылевого фильтра не вызывала затруднений. После закрытия патрона крышкой патрон запаивали и проверяли на герметичность.

Техническое обслуживание регенеративного патрона, его подключение к воздухопроводной системе респиратора, проведение испытания в пульсирующем потоке, отсоединение патрона и др. - удобны, но требуют внимательного отношения и краткосрочности выполнения процессов. Регенеративный патрон требует тщательного снаряжения продуктом, при неплотном снаряжении его защитная способность сокращается.

Вывод к разделу 3

Анализ данных таблицы 3.5 показывает, что фактическое ВЗД респиратора при нагрузке средней тяжести с регенеративным патроном с определенной конструкцией

ТГР выше требуемого (120 мин) и составляет от 160 до 188 мин, при уменьшении массы продукта в патроне до (2,1...2,2) кг.

Продукт в патроне обрабатывался в основном равномерно, некоторая часть не полностью его отработанного имела место на выходе воздуха в центральной части патрона.

Так, химический анализ отработанного регенеративного продукта на содержание в нем химически связанного кислорода показал следующее:

- периферийная часть патрона (начало движения воздушных масс) - 0,28 %;
- средняя часть патрона - 2,35 %;
- центральная часть патрона (выход воздушных масс) - 12, 88 %.

РАЗДЕЛ 4

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ РЕГЕНЕРАТИВНОГО ПАТРОНА РЕСПИРАТОРА

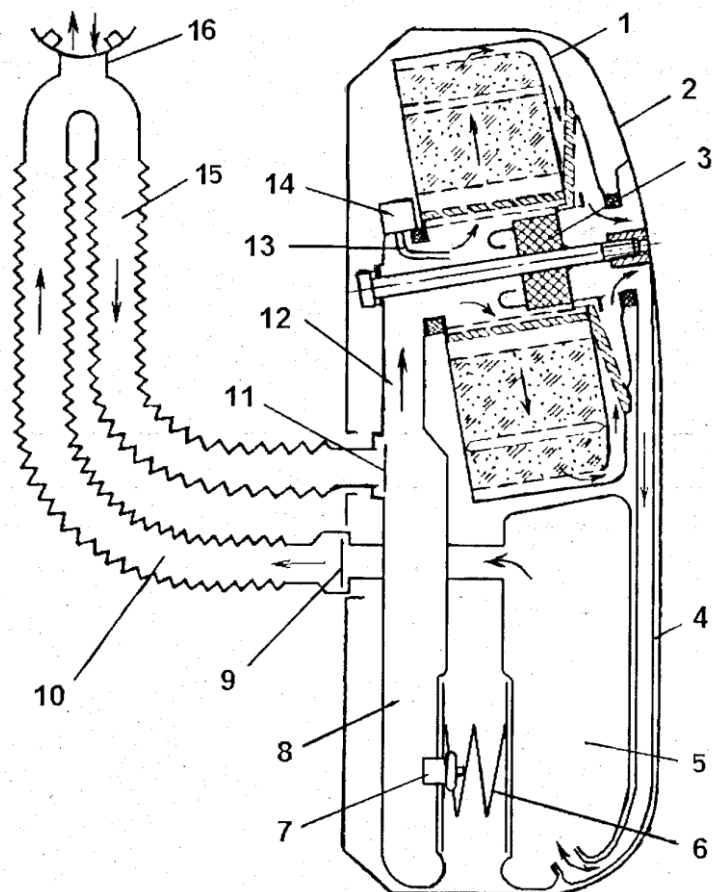
4.1 Конструктивные параметры и эксплуатационные характеристики усовершенствованного регенеративного патрона

При разработке экспериментального образца регенеративного патрона в его основу положена схема регенеративного патрона респиратора РХС с радиальным движением воздуха, конструкция подтвердившая удовлетворительную работу патрона.

Регенеративный патрон является одним из основных конструктивных узлов респиратора с химически связанным кислородом типов РХС, РХ-4Е, ДАХ: в нем происходит регенерация газовой дыхательной смеси - химические реакции поглощения диоксида углерода и влаги из выдыхаемого воздуха и выделение кислорода. Конструирование регенеративного патрона усложнено экзотермическим характером протекающих регенеративных процессов, в результате чего циркулирующий в системе аппарата воздух нагревается. Для поддержания температуры вдыхаемого воздуха на благоприятном для дыхания уровне как можно большая часть тепла должна быть отведена в атмосферу из зоны реакции, т.е. из регенеративного патрона. Количество тепла, выделяемого в процессе регенерации, зависит от химического состава сорбента и от дыхательной нагрузки на аппарат.

В респираторах РХ применен регенеративный патрон круглой формы с радиальным направлением движения регенерируемого воздуха. В нем предусмотрено движение воздушного потока из дыхательного мешка выдоха в центральный канал регенеративного патрона, далее через кислородсодержащий

продукт к наружной обечайке патрона, а затем сквозь фильтр в дыхательный мешок вдоха (Рисунок 4.1).



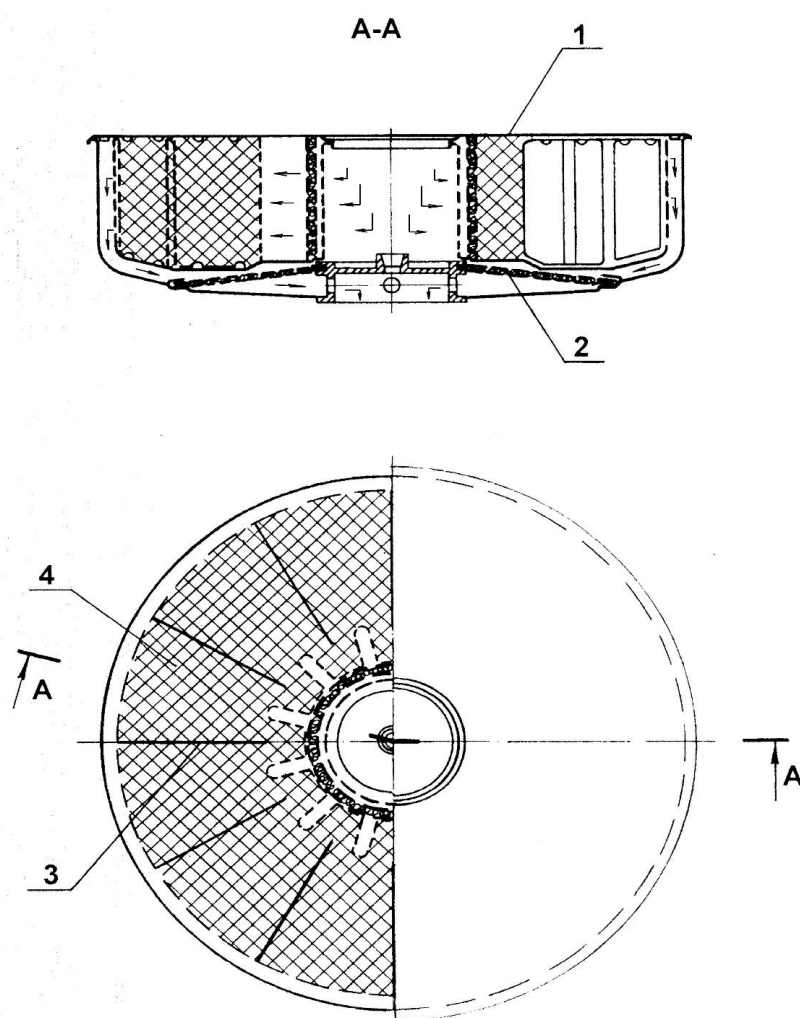
1 – патрон регенеративный; 2 – корпус респиратора; 3 - пусковой брикет;
 4 – теплообменник; 5 – дыхательный мешок вдоха; 6 - устройство прижимное; 7 - избыточный клапан; 8 - дыхательный мешок выдоха; 9 – клапан вдоха;
 10 – шланг вдоха; 11 – клапан выдоха; 12 - воздуховод выдоха;
 13 – трубка; 14 – пусковое устройство; 15 – шланг выдоха; 16 – лицевая часть

Рисунок 4.1 Схема респиратора с химически связанным кислородом
 типа РХ

Конструкция регенеративного патрона (Рисунок 4.2) обеспечивала удовлетворительные условия теплоотдачи в окружающую среду за счет большой

его общей поверхности, большой площади соприкосновения продукта с поверхностью корпуса с помощью теплогазораспределителя и незначительной глубины слоя продукта. Конструкция регенеративного патрона с радиальным движением воздуха обеспечила также и достаточно невысокое сопротивление дыханию в респираторе.

Одной из основных проблем, решаемых при разработке новых средств регенерации воздуха, является повышение эффективности использования в них химических продуктов. В настоящее время степень использования регенеративных продуктов в индивидуальных средствах защиты, по мнению разработчиков, достигает только 50 %.



- 1 – корпус; 2 – фильтр; 3 – теплогазораспределитель;
4 – кислородсодержащий регенеративный продукт

Рисунок 4.2 – Общий вид регенеративного патрона

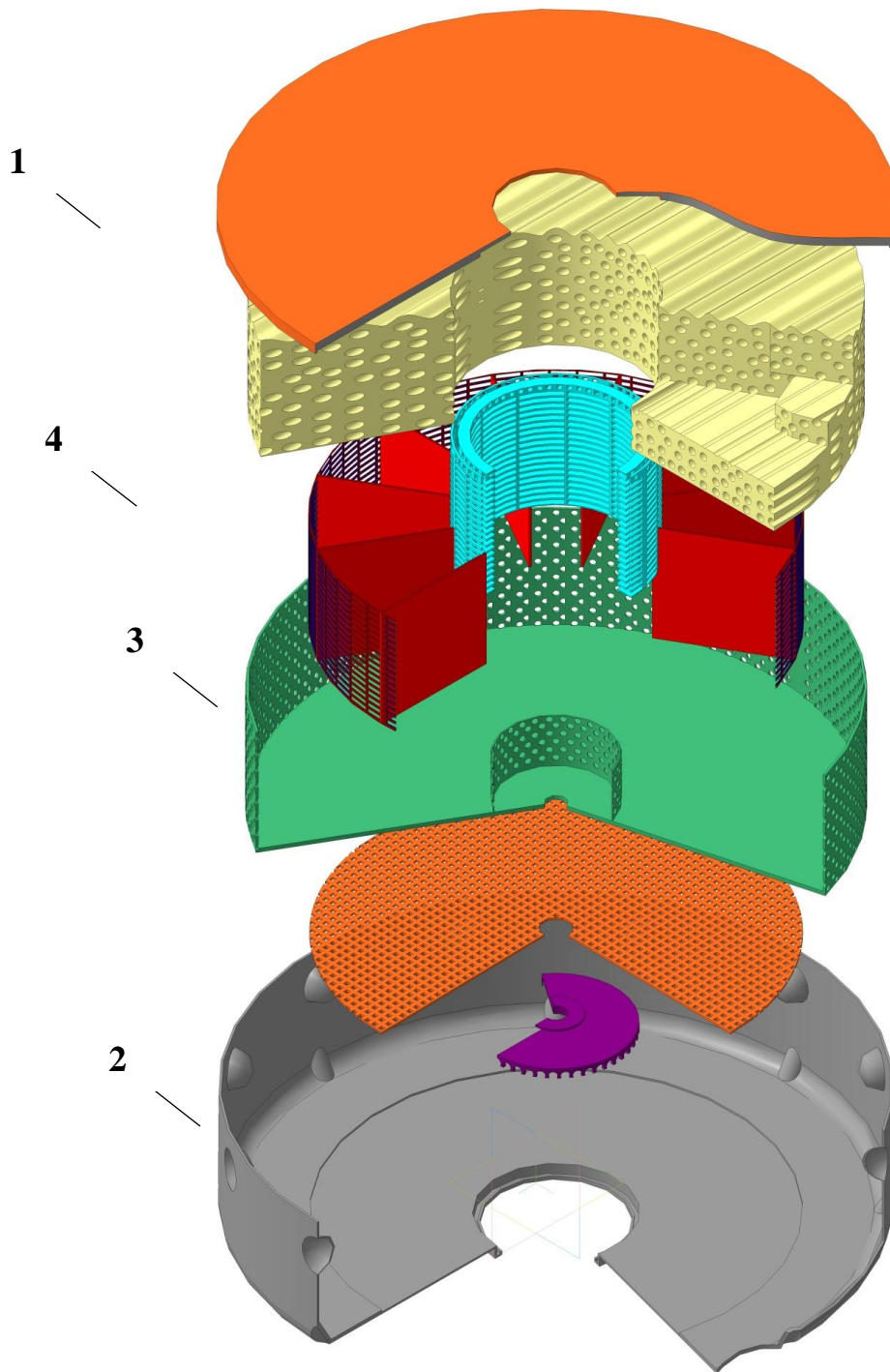


Рисунок 4.2.1 – Общий вид регенеративного патрона с центробежным движением воздуха

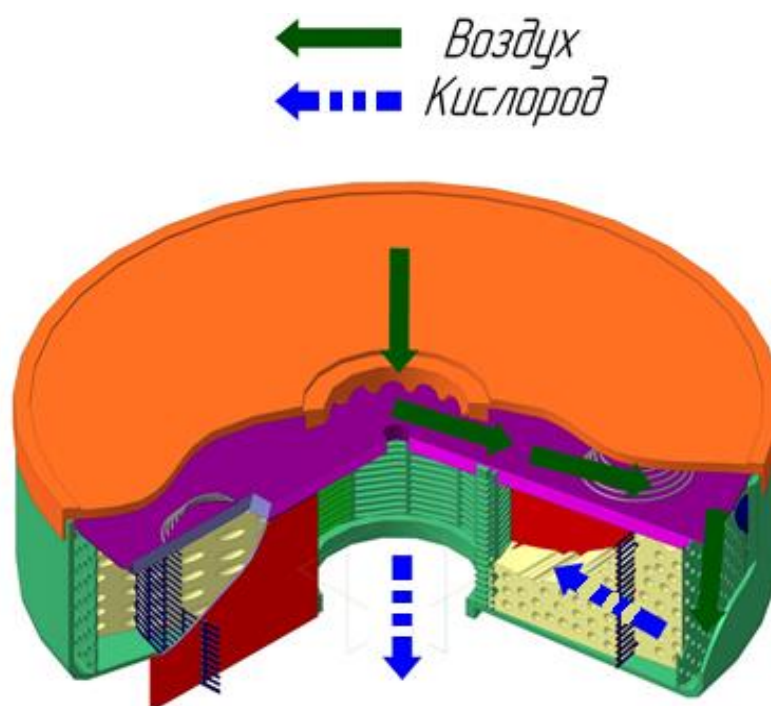


Рисунок 4.2.2 – Регенеративный патрон с центростремительным движением воздуха и теплогазораспределителем в виде металлических отбойных пластин

Особенностью работы регенеративного продукта является совмещение процесса хемосорбции диоксида углерода с плавлением продуктов реакции, трансформацией в ходе отработки пористой структуры, происходящей вследствие интенсивного газовыделения молекулярного кислорода. Эффективность поглощения CO_2 регенеративным продуктом в ходе химической реакции воздуха напрямую зависит от химического состава, степени дисперсности исходных компонентов, пористости и размера гранул продукта, толщины слоя. При реакции поглощения CO_2 и паров влаги, как правило, образуется расплав гранул, который затрудняет их диффузию к еще непрореагировавшему веществу. В результате снижается эффективность использования регенеративного продукта.

Известно, что схема циркуляции воздуха накладывает отпечаток на все показатели работы аппарата: на сопротивление дыханию, на температуру вдыхаемого воздуха, на конструктивную сложность аппарата. Но главным образом схема циркуляции воздуха оказывает влияние на ВЗД. С целью изыскания путей повышения регенеративного ресурса патрона респиратора типа РХ было предложено проверить и

испытать патрон такой же конструкции, но с противоположным (обратным) движением воздушного потока от периферии к центральному каналу.

Математическое моделирование теплообменных процессов в регенеративном патроне также указывает на зависимость степени отработки продукта с радиальным направлением движения воздушного потока (т.н. «развернутым» слоем) от схемы и направления движения воздушного потока.

Первые предварительные испытания экспериментального регенеративного патрона к респиратору РХ с обратным ходом движения воздушного потока показали увеличение ВЗД на (8...9)%. Поэтому было принято решение о разработке экспериментального образца новой схемы регенеративного патрона с обратным (центростремительным) ходом движения воздушного потока, приняв за основу полученный положительный результат. Эта схема приведена во втором разделе.

В регенеративных патронах (Рисунок 4.2) осуществлена радиальная схема движения регенерируемого воздуха. Соотношение высоты патрона и его диаметра подобраны таким образом, что при радиальном движении воздуха длина рабочего слоя продукта (измеряемая по радиусу патрона) составляет 90 мм. В этих условиях обеспечиваются рациональные регенеративные параметры работы продукта и хорошее отведение тепла из зоны реакции, что препятствует спеканию продукта.

В регенеративных респираторах с химически связанным кислородом типа РХ применяется кислородсодержащий продукт ОКЧ на основе надпероксида калия, температура в зоне реакции высокая и составляет 350 °С и, следовательно, воздух в зоне реакции имеет также весьма высокую температуру, поэтому подлежит охлаждению для того, чтобы вдыхаемый из респиратора воздух был физиологически приемлемой величины.

Регенеративное вещество на основе надпероксида калия марки ОКЧ-3, несмотря на его достаточно долгий срок хранения (в герметичной таре в составе запаянных регенеративных патронов около (25...30) лет, удовлетворяет комплексу требований, диктуемых сложными условиями эксплуатации горноспасательной техники: имеет высокие регенеративные свойства в сочетании с достаточной

механической прочностью. Запас кислорода в продукте не менее 26 %, динамическая активность по CO_2 (60...70) $\text{дм}^3/\text{кг}$, прочность гранул 90 %, насыпная масса (0,85...0,90) $\text{г}/\text{дм}^3$, гранулы неправильной формы размером (2...7) мм.

Параметры работы химпродукта неразрывно связаны с конструкцией регенеративного патрона и зависят от условий снаряжения (ОКЧ - гигроскопичный продукт) и схемы движения воздуха во время испытания.

Характерны сложность контроля за степенью отработки защитной способности регенеративного патрона с продуктом ОКЧ и возможные отклонения в поглотительной способности различных партий сорбента.

Известно, что при круговой схеме циркуляции воздуха имеет место значительное спекание и оплавление продукта ОКЧ, поэтому для снижения их степени или исключения эффективна интенсификация теплоотвода в окружающую среду с помощью конструктивных решений.

Активному отведению избытка тепла, образующегося при регенерации выдыхаемого человеком воздуха в регенеративном патроне респиратора, способствуют так называемые теплогазораспределители различных конструкций, которые разделяя продукт ОКЧ-3 на отдельные секции, перераспределяют высокую температуру из зоны реакции к стенке или обечайке патрона и предотвращают интенсивное спекание продукта, ведущее к повышению сопротивления дыханию.

Конструкция теплогазораспределителя обеспечивает равномерный теплообмен и такое движение газовых потоков по всему объему регенеративного продукта, чтобы не затруднять контакт и диффузию водяных паров и диоксида углерода с каждой гранулой продукта. ТГР были изготовлены из тонкой углеродистой стали в виде сплошных и сетчатых полос, а также зигованной обечайки.

В ходе выполнения испытаний экспериментального образца усовершенствованного регенеративного патрона (с центростремительным движением воздушного потока) определены его параметры в двух режимах (среднем и тяжелом). Результаты испытаний приведены в таблице 4.1 и на рисунке 4.3.

Результаты испытаний

Параметр регенеративного патрона респиратора	Режим испытания		Данные ДСТУ 3856-99 для режима средней нагрузки
	средний	тяжелый	
1 Время защитного действия, мин	160 - 188	79 - 90	120
2 Максимальное сопротивление дыханию, мм вод.ст.	17	40 - 48	50
3 Температура вдыхаемого воздуха, °С	29-35	26 - 42	45
4 Масса регенеративного продукта в регенеративном патроне, кг	2,1 - 2,2	2,1 - 2,2	-

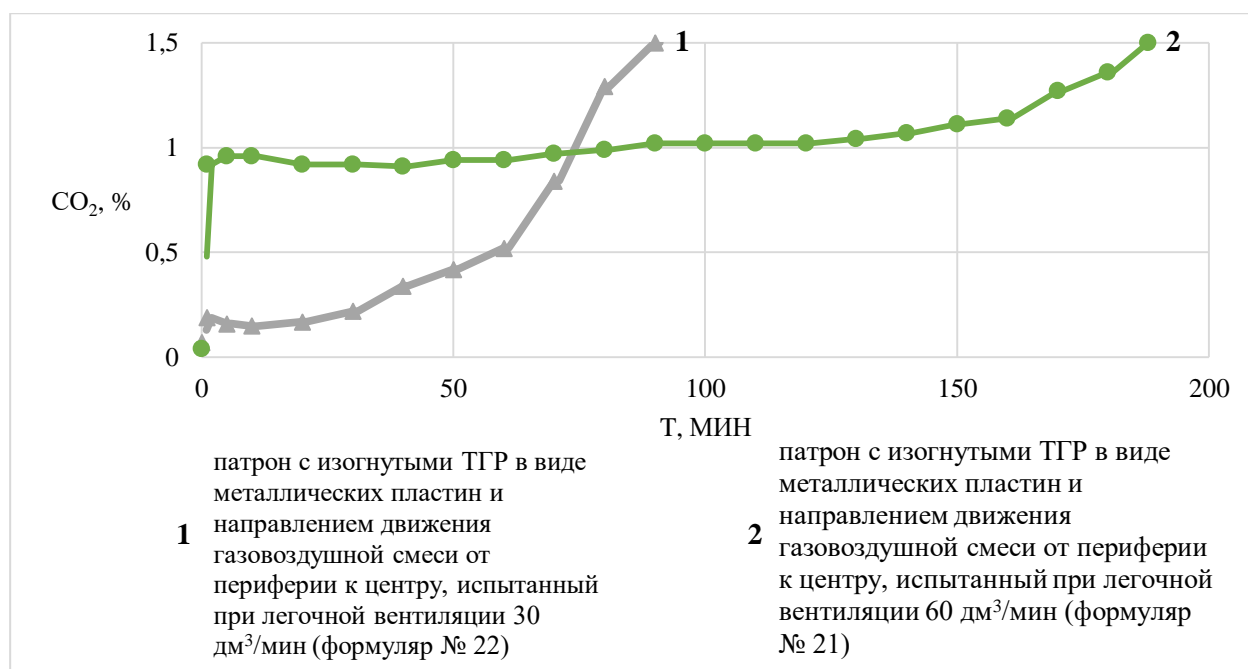


Рисунок 4.3 – Динамика диоксида углерода во вдыхаемом воздухе при испытании регенеративного патрона в режиме средней и тяжелой нагрузки

4.2 Повышение тактических возможностей горноспасателей при использовании респиратора с усовершенствованным регенеративным патроном при ведении аварийно-спасательных работ.

Испытания экспериментального образца регенеративного патрона респиратора с химически связанным кислородом подтвердили возможность повышения ресурса его работы за счет изменения схемы циркуляции воздуха - от периферии патрона к центру (радиальным центростремительным направлением движения газовой среды) - и дополнительного теплоотвода с помощью конструктивных решений.

Интенсификация теплоотвода в окружающую среду из зоны реакции в регенеративном патроне осуществлена с помощью теплогазораспределителей определенной конструкции, которые способствовали также и повышению времени защитного действия патрона, уменьшению сопротивления дыханию за счет улучшения диффузии выдыхаемого человеком диоксида углерода и снижения вероятности возникновения зон локального перегрева в слое продукта.

Испытания экспериментального образца регенеративного патрона респиратора РХ с измененным движением воздуха (от периферии патрона к центру) показали, что его параметры, соответствуют требованиям ДСТУ 3856-99.

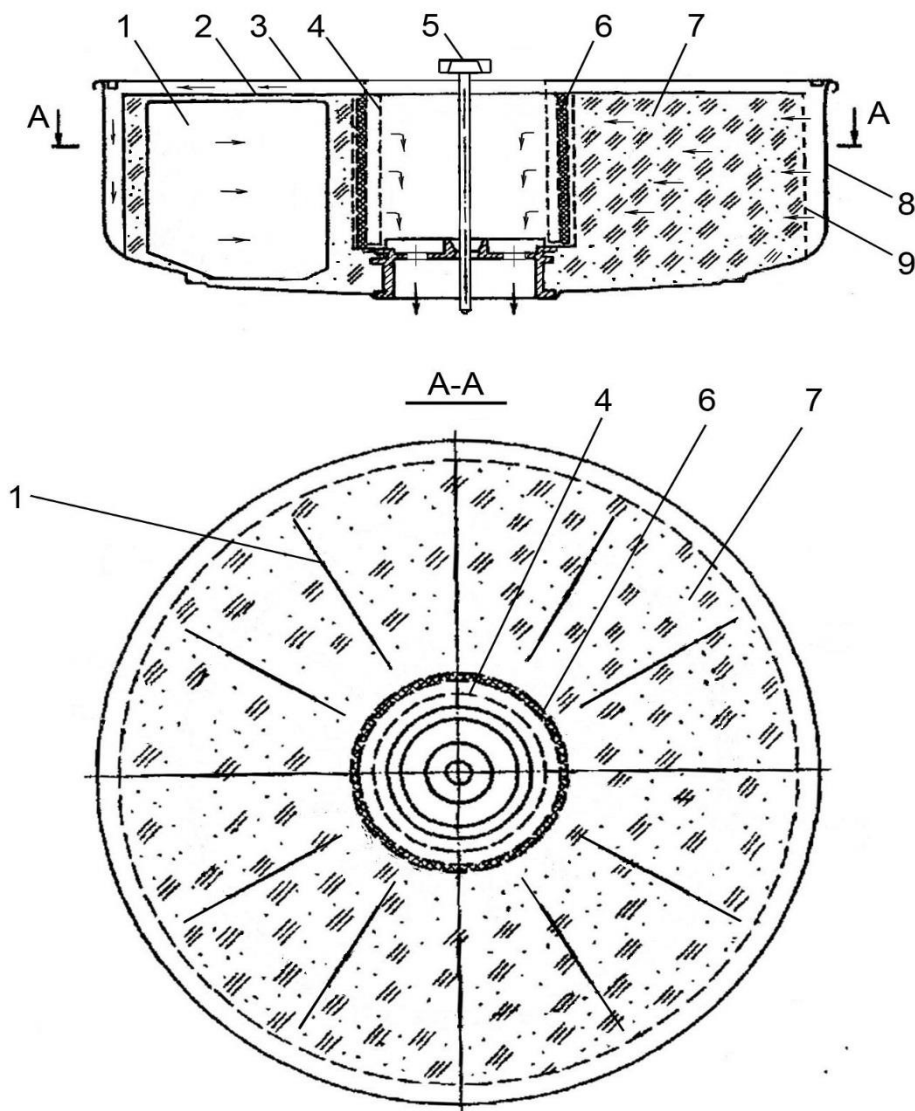
Наилучшие результаты получены при применении теплогазораспределителя с чередующимися изогнутыми металлическими пластинами и сетками, пластинами с дополнением сетчатой обечайки в форме зиганного кольца. Время защитного действия составило при нагрузке средней тяжести (160...188) мин при массе регенеративного продукта (2,1...2,2) кг. Заводской регенеративный патрон с движением воздуха от центра к периферии показывал ВЗД от 147 до 180 мин, но масса ОКЧ-3 составляла при этом (2,45 - 2,48) кг, т.е. ориентировочно на 300 г больше.

Учитывая высокую стоимость регенеративного продукта и дефицит его поставок, снижение массы продукта в патроне при сохранении на достигнутом уровне величины ВЗД имеет большое экономическое значение. В свою очередь экономия на меньшем использовании регенеративного продукта позволяет проводить больше работ, связанных

с ликвидацией аварий или проводить дополнительные занятия по учебным вопросам, так необходимые в структурных подразделениях.

4.3 Разработка предложений по повышению ресурса работы регенеративного патрона респиратора

Разработанная схема регенеративного патрона респиратора с центростремительным движением воздуха, изображена на рисунке 4.4.



1 – пластина теплогазораспределителя; 2 – внутренняя крышка,
3 – наружная крышка; 4 – центральная перфорированная трубка; 5 – винт;

6 – противопылевой фильтр; 7 – кислородсодержащий регенеративный продукт; 8 – корпус регенеративного патрона; 9 – перфорированная обечайка

Рисунок 4.4 – Схема усовершенствованного регенеративного патрона респиратора с центростремительным движением воздуха

Регенеративный патрон разработанной схемы содержит корпус регенеративного патрона 8, в котором размещена с зазором относительно боковой поверхности корпуса перфорированная обечайка 9, снабженная центральной перфорированной трубкой 4, на которой размещен противопылевой фильтр 6 из стекловолокна. Обечайка заполнена кислородсодержащим регенеративным продуктом 7 на основе надпероксида калия. В массе вещества размещен теплогазораспределитель 1 в виде радиальных пластин. Сверху перфорированная обечайка 9 закрывается внутренней крышкой 2, корпус регенеративного патрона 8 – наружной крышкой 3. Между внутренней 2 и наружной 3 крышками образуется полость для прохода воздушного потока к кислородсодержащему регенеративному продукту.

Работа регенеративного патрона заключается в следующем. При выдохе воздух через воздухопроводную систему респиратора поступает в пространство между наружной 3 и внутренней 2 крышками, и далее движется к периферии регенеративного патрона, проходит через перфорированную обечайку 9 в толщу кислородсодержащего регенеративного продукта 7. В результате экзотермических реакций регенерации в кислородсодержащем регенеративном продукте 7 выдыхаемый воздух освобождается от диоксида углерода и пополняется кислородом. Проходя последовательно между гранулами регенеративного продукта к центру регенеративного патрона, воздух проходит через противопылевой фильтр 6 и выходит через отверстия в теплообменник респиратора (на рисунке не показан).

Данная конструкция предусматривает удаление пускового брикета из центральной перфорированной трубки регенеративного патрона и использование

вынесенного пускового устройства, что даст возможность его заменять при осуществлении перерывов в работе. Подобное исполнение пускового устройства позволяет увеличивать количество и продолжительность перерывов в работе.

Разработана конструкторская документация на опытный образец регенеративного патрона респиратора для дальнейшего его производства.

4.4 Экономический эффект от внедрения результатов работы

Одной из составляющих экономической безопасности считается пожарная безопасность страны. К проблемам оценки ущерба от пожаров, исследованию пожарной опасности, пожарного риска, их влиянию на безопасность национальной экономики обращались такие ученые, как Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов, П. Вагнер, В.А. Акимов [8, 11,53,99].

В Донецкой Народной Республике (далее – ДНР) эта проблема практически не изучена. До настоящего времени отсутствует методика, позволяющая оценить совокупный ущерб от пожара и его составляющие и все затраты, связанные с обеспечением пожарной безопасности.

По статистике, ущерб от пожаров, а также средства, выделяемые на обеспечение пожарной безопасности, ежегодно возрастают. Это подтверждает необходимость более точной оценки всех затрат, связанных с пожарами, а также потерь от них.

Методика расчета экономической эффективности от внедрения новой техники, изобретенный и рационализаторских предложений определяется, прежде всего, характером деятельности субъекта хозяйствования, на котором внедряются указанные новшества.

В нашем случае это – модернизированные респираторы РПХ, предназначенные для бойцов подразделений ГВГСС МЧС ДНР, а также членов вспомогательных горноспасательных команд (ВГК).

Подразделения Государственной военизированной горноспасательной службы МЧС ДНР (далее – ГВГСС) в 2019 году обслуживали 103 горных

предприятия Донецкой Народной Республики (далее – ДНР), из которых – 54 предприятия Министерства угля и энергетики, 48 предприятий негосударственной формы собственности и 1 предприятие «К.П. Метрополитен».

По состоянию на 01.01. 2019 г. общая численность членов ВГК составляет более 3 000 человек, что соответствует около 14 % подземного персонала угольных предприятий ДНР.

Члены ВГК присутствует во всех потенциально опасных местах горных выработок, участвуют во всех технологических процессах добычи и транспортирования угля.

В 2018 г. членами шахтных вспомогательных добровольных горноспасательных команд совместно с отделениями ГВГСС ликвидировано 7 аварий и аварийных ситуаций.

Однако техническое оснащение ВГК оставляет желать лучшего.

В частности, по состоянию на 01.01.2019 на оснащение шахтных горноспасательных станций (ШГС) не достает 53 или 15 % изолирующих респираторов четырехчасового действия типа Р – 30, 84 или 14,5 % изолирующих респираторов двухчасового действия типа Р – 34 [6].

23 шахтные горноспасательные станции не имеют кислородных дожимающих компрессоров типа КД – 8, а на некоторых ШГС до сих пор эксплуатируются 16 компрессоров типа КД – 5, для ремонта и обслуживания которых отсутствуют запасные части контрольных приборов УКП – 5, необходимых для проверки респираторов, на ШГС эксплуатируется всего 34 единицы.

По состоянию на 01.01.2019 г. не соответствует нормативным требованиям 18 или 51 % помещений шахтных горноспасательных служб, 21 или 69 % учебно-тренировочных полигонов, 18 или 47 % «дымных камер».

Приобретение химического поглотителя известкового (ХП – и) для тренировок в респираторах членов ВГК и переснаряжения респираторов в

пунктах ВГК составило 46,5 % от общей потребности. Из-за этого в 2018 г. 1762 членов ВГК не прошли повторных тренировок в респираторах.

В силу всего вышеперечисленного, как свидетельствуют статистического данные [68], процент ликвидированных аварий на начальной стадии членами ВГК невелик (1,7 % общего количества аварий), особенно при тушении пожаров 1 начальной стадии, что связано с неудовлетворительным обеспечением эффективными и надежными средствами защиты органов дыхания.

Оснащение ВГК респираторами РХП с улучшенными эксплуатационными свойствами, проведенными по результатам диссертационной работы, позволяет значительно повысить процент экзогенных пожаров ликвидируемых членами ВГК на начальной стадии и тем самым снизить ущерб от аварий.

Определим годовой экономической эффект от применения респираторов РПХ членами ВГК шахты при ликвидации экзогенных пожаров первичными средствами. Для расчета используем экономико-математическую модель ущерба от наиболее часто возникающих видов экзогенного пожара, в частности, для условий горных выработок, оборудованных ленточными конвейерами, в расчете на один пожар [62]

$$V = a + b \cdot t, \quad (4.1)$$

где V – ущерб от пожара, тыс. руб.;
 t – длительность ликвидации пожара, ч;
 a и b – эмпирические коэффициенты.

Для среднего числа пожаров в год, $n = 6,5$ и средней длительности ликвидации пожара $t = 36,6$ ч. получены следующие значения коэффициентов

$$a = 99,75 \cdot 10^3 \text{ руб.}$$

$$b = 13,09 \cdot 10^3 \text{ руб/ч.}$$

Для условий ДНР имеем $n = 1,5$ год., $t = 26,8$ час, тогда

$$a^I = 50 \cdot 10^3 \text{ руб.}, \quad b^I = 46,7 \cdot 10^3 \text{ руб/ч.}$$

а зависимость (1) принимает вид

$$V^l = a^l + b^l \cdot t^l = 50 \cdot 10^3 + 46,7 \cdot 10^3 \cdot t, \quad (4.2)$$

Найдем уменьшение ущерба

$$\Delta V^l = (V^l)^l = b^l \cdot \Delta t^l. \quad (4.3)$$

где Δt^l – время ликвидации пожара на начальной стадии членами ВГК при использовании изолирующих респираторов РПХ. Принимаем $\Delta t = 1$ ч., тогда

$$\Delta V^l = 46,7 \cdot 10^3 \Delta t^l, \quad (4.4)$$

Годовой экономический эффект рассчитываем по [6]

$$\mathcal{E}_r = V - \Delta V^l - \Delta U^l - E_n \Delta K_1, \quad (4.5)$$

где ΔU^l – дополнительные годовые эксплуатационные расходы (равны нулю, так как учтены ранее);

ΔK_1 – капитальные затраты при применении респираторов РПХ (равен нулю);

$E_n = 9,15$ (нормированный коэффициент сравнительной эффективности капитальных затрат);

$$\Delta U^l = 0$$

$$\Delta K_1 = 0$$

Тогда из формулы (4) имеем

$$\mathcal{E}_1 = 1,24 \cdot 10^6 - 4,67 \cdot 10^3 \cdot 1 = 1,23 \cdot 10^3 \text{ руб} = 1,23 \text{ млн руб.} \quad (4.6)$$

Улучшение эксплуатационных параметров респираторов РПХ, устранение в нем недостатков, свойственных респираторам с химически связанным кислородом, позволяет значительно расширить сферу его применения и использовать при тушении сложных и развитых пожаров в метро, кабельных туннелях, на объектах химической промышленности и нефтегазового комплекса.

Одним из таких направлений является переоснащением респираторами персонала газодымозащитной службы (далее – ГДЗС) как составной части аварийно-спасательных и пожарно-спасательных подразделений МЧС ДНР.

В соответствии с определением, приведенном в нормативных документах, пожар – неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства, а пожарная опасность – угроза возникновения и развития неуправляемого процесса горения (пожара), приносящего вред обществу, окружающей среде, объекту защиты. В соответствии с данным определением полный ущерб от пожара (сумма прямого и косвенного ущербов) включает материальный, социальный и экологический ущербы (рис.4.5) [5,18,61,63].

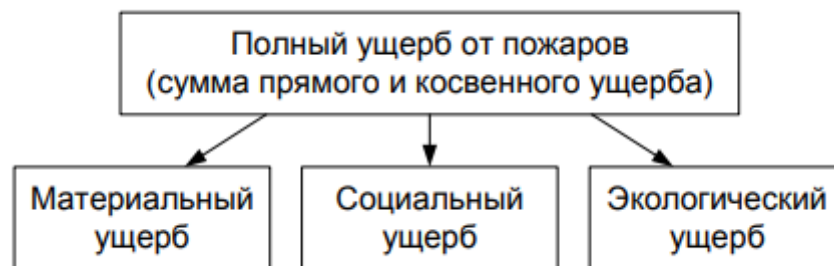


Рис. 4.5. Виды ущербов от пожара

Один из видов малоизученного ущерба от пожаров – социальный ущерб, или прямой демографический ущерб, который формируется за счет уменьшения трудовых ресурсов вследствие гибели и травмирования людей на пожарах.

Эти виды ущербов имеют прямое отношение к деятельности газодымозащитной службы (далее – ГДЗС) как составной части пожарно-спасательных и аварийноспасательных подразделений МЧС ДНР. Задымленность помещений и путей эвакуации – основная причина гибели людей, она значительно усложняет действия пожарно-спасательных подразделений. Улучшение деятельности ГДЗС, в том числе с помощью новой техники, приводит к уменьшению количества погибших и, таким образом, является критерием ее эффективности.

Пострадавшие часто исключаются из сферы общественно полезного труда, а государство, в свою очередь, расходует значительные средства из фондов социального обеспечения, страхования и др.

Несмотря на то что все исследователи признают неэтичность и аморальность оценки человеческой жизни, все же оказалось возможным выразить стоимость человеческой жизни исходя из затрат общества на подготовку человека (воспитание, обучение, лечение и т.д.) и потери от его несостоявшейся отдачи.

Так, Национальная ассоциация по безопасности движения США определила стоимость жизни одного американца в 278 тыс. долларов, в том числе 172 тыс.

долларов – это потери от прекращения трудовой деятельности человека в случае его гибели [59].

В исследованиях социальные последствия прослеживаются значительно глубже во времени и включают дополнительные ущербы, связанные с разрушением семьи, ростом безнадзорности детей, стрессами и болезнями, общим ухудшением благосостояния людей, сокращением рабочих мест на предприятиях, снижением товарооборота в магазинах, уменьшением количества посетителей в ресторанах, постояльцев в гостиницах и т.д.

Минэкономразвития России, Минздравсоцразвития России, Минфином России, Росстатом утверждена методология расчета экономических потерь от смертности, заболеваемости и инвалидизации населения. Предложена методика оценки экономических потерь от гибели и травмирования людей при пожарах.

Экономический ущерб (потери) рассчитывают отдельно по каждой из следующих причин: гибель и травмирование.

При расчете недопроизведенного внутреннего валового продукта (далее – ВВП) считается, что выбывший из трудового процесса человек, отнесенный к определенной группе, осуществлял свою деятельность аналогично среднестатистическому представителю данной группы, продолжающему трудиться.

Экономический ущерб (потери) от гибели и травмирования населения при пожарах рассчитывают по погибшим и травмированным за анализируемый год.

Расчет экономического ущерба (потерь) от гибели и травмирования людей осуществляется на основе данных официального статистического учета.

Поскольку более или менее точный учет потерь ВВП вследствие постоянного или временного выбытия травмированных из числа трудоспособного населения затруднителен, исключим травмированных при расчете экономического ущерба. Лишь определенная доля социального ущерба вследствие травмирования людей может быть оценена экономическими показателями, например прямые расходы в области здравоохранения и социального обеспечения.

Экономический ущерб (потери) в производстве ВВП от гибели людей на пожарах в текущем году рассчитывают как упущенную выгоду в производстве ВВП (объем недопроизведенного ВВП) из-за постоянного выбытия (смерти) человека из сферы производства в исследуемом году.

Экономический ущерб (потери) от гибели на пожарах за отчетный год рассчитывают по следующей формуле [53]:

$$U_{\text{гиб}} = \text{ЧУ}_c \frac{\text{ВВП}}{\text{ЧЗ}}, \quad (4.7)$$

где $У_{\text{гиб}}$ – упущенная выгода в производстве ВВП (объем недопроизведенного ВВП) в результате гибели в анализируемом году по причине пожаров в ДНР в этом году;

$ЧУ_{\text{с}}$ – количество погибших от пожаров в ДНР в возрасте от 18 лет до возраста окончания экономической активности;

ВВП – внутренний валовой продукт ДНР;

ЧЗ – численность занятых на производстве в ДНР.

Экономический ущерб (потери) от гибели на пожарах за период возможного дожития умершего в анализируемом году до окончания возраста экономической активности рассчитывается в том числе для погибших в возрасте до 18 лет.

Для расчета потерь за период возможного дожития необходимо учитывать индекс потребительских цен $J_{\text{н}}$.

Экономические потери от гибели на пожарах за период возможного дожития рассчитывают по следующим формулам.

Для погибших в возрасте до 18 лет

$$У_{\text{гиб.нс}} = ЧУ_{\text{нс}} \frac{\text{ВВП}}{\text{ЧЗ}} D_{\text{унс}} J_{\text{н}} ; \quad (4.8)$$

$$D_{\text{нс}} = B_{\text{э}} - B_{\text{гнс}} , \quad (4.9)$$

где $У_{\text{гиб.нс}}$ – упущенная выгода в производстве ВВП (объем недопроизведенного ВВП) в результате гибели в анализируемом году по причине пожаров в ДНР с учетом вероятности дожития до возраста экономической активности лиц до 18 лет;

$ЧУ_{\text{нс}}$ – количество погибших от пожаров в ДНР в возрасте до 18 лет;

$D_{\text{унс}}$ – количество лет экономической активности;

$J_{\text{н}}$ – поправочный коэффициент (индекс потребительских цен 1,2);

$B_{\text{э}}$ – возраст экономической активности;

Газодымозащитная служба – одна из важнейших структур в составе ГПС МЧС ДНР. Ее основная задача – спасение жизни и здоровья людей, застигнутых пожаром в зданиях и сооружениях, и самих пожарных спасателей от воздействия самого опасного фактора при пожаре – задымленности.

Тогда для ГДЗС показатель эффективности деятельности должен определяться прежде всего по количеству спасенных людей. Спасенными на пожаре считаются люди и (или) животные, перемещение которых в безопасную зону осуществлялось при непосредственном участии (с помощью) личного состава подразделений пожарной охраны и спасателей, обслуживающего персонала или граждан.

В 2018 г. оперативная обстановка с пожарами в ДНР характеризовалась следующими основными показателями (табл. 4.2):

- зарегистрировано 620 пожаров и загораний;
- на пожарах погибло 150 человек, в том числе трое детей;
- получили травмы 180 человек;
- материальный ущерб 180 млн. 75 тыс. руб.

Таблица 4.2

Статистические показатели обстановки с пожарами в ДНР за 5 лет

Показатель	Годы				
	2014	2015	2016	2017	2018
Количество пожаров	5808	4898	5513	8553	6920
Ущерб, млн руб.	495,7	184,7	115,4	162,6	188,1
Погибло людей	151	154	163	118	150
В том числе детей	3	4	1	0	3

В 2018 г. с участием ГДЗС было ликвидировано 474 пожара. Личным составом подразделений ГДЗС спасено 823 человека, из которых на пожаре – 230 человек (из них 29 детей), в ситуациях, не достигших квалификационных признаков ЧС, – 533 человека (из них 43 ребенка).

В 2018 г. МЧС ДНР проведена работа по улучшению деятельности ГДЗС, в частности приобретено новое оборудование и техника на сумму 18,6 млн руб. (в 2017 г. – на сумму 4,6 млн руб.).

Экономическая эффективность деятельности ГДЗС МЧС ДНР 3,86 млн руб., т.е. возросла на 27 %.

Разработана методика оценки экономической эффективности деятельности ГДЗС МЧС ДНР. Расчеты показали, что за период 2017...2018 гг. «предотвращенный экономический ущерб» (или виртуальный «экономический эффект») равен 3,86 млн руб., а эффективность деятельности службы возросла на 27 %.

Принимаем для ДНР в 2018 г.

$$\text{ВПП} = 17,5 \text{ млрд руб.} \quad \text{ЧЗ} = 750 \text{ тыс. чел.}$$

Рассчитываем по формулам (7) и (8)

$$\mathcal{E}_2 = 150 \cdot \frac{17,5 \cdot 10^9}{750 \cdot 10^3} + 3 \frac{17,5 \cdot 10^9}{750 \cdot 10^3} 1,2 \cdot 50 = 3,9 \cdot 10^6 \text{ руб.} = 3,9 \text{ млн руб.}$$

Суммарный годовой экономический эффект от оснащения респираторами РПХ бойцов подразделений ГДЗС МЧС ДНР и членами ВГК на угольных шахтах составит

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 = 1,23 + 3,9 = 5,13 \text{ млн руб.}$$

Выводы к разделу 4

Разработанная схема регенеративного патрона респиратора с повышенным ресурсом работы предусматривает следующее:

- соблюдение основной линии конструктивной преемственности респиратора с химически связанным кислородом (сохранение габаритных размеров и круглой формы регенеративного патрона: диаметр патрона 260 мм, высота 65 мм, отношение радиуса рабочей камеры к её высоте равно двум),
- теплогазораспределитель разделяет полость регенеративного патрона на 12 секторов, длина полос теплогазораспределителя увеличена ориентировочно до 255 мм,
- внутренняя часть регенеративного патрона прикрепляется к наружной с помощью сварного шва,
- движение воздушного потока в регенеративном патроне – от периферии (краёв окружности регенеративного патрона) к центральной трубке,
- удалена дополнительная перфорированная распределительная камера,
- в регенеративном патроне установлен дополнительный фильтр из стекловолокна вокруг центральной обечайки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой на основании установленных закономерностей тепло - и газообменных процессов воздуха в регенеративном патроне респиратора, решена научно-техническая задача по повышению времени защитного действия респиратора с химически связанным кислородом и улучшению его эксплуатационных характеристик за счет определения рациональных конструктивных параметров регенеративного патрона и направления движения воздуха при регенерации воздуха.

Основные научные и практические результаты работы сводятся к следующему:

1. *Разработана* математическая модель тепломассообменных процессов в регенеративном патроне, учитывающая радиальное центростремительное направления движения воздушного потока, сорбцию CO_2 через кислородсодержащий продукт и ее взаимодействие с теплораспределителем для рационального распределения температуры в сечении регенеративного патрона, теплоту реакции и конструктивные параметры теплораспределителя. Это позволило определить параметры, которые обеспечивают комфортные условия дыхания и увеличение времени защитного действия спасателя в респираторе с химически связанным кислородом.

2. Экспериментально *установлены* зависимости содержания диоксида углерода во вдыхаемом воздухе при сорбции кислородсодержащего продукта для легочной вентиляции в режиме средней ($30 \text{ дм}^3/\text{мин}$) и тяжелой ($60 \text{ дм}^3/\text{мин}$) нагрузок от полноты и скорости реакции поглощения диоксида углерода, конструктивных параметров теплогазораспределителя усовершенствованного регенеративного патрона респиратора и направлением движения потока.

3. Экспериментально **подтверждена** необходимость применения во внутренней части патрона теплораспределителя в виде радиально расположенных металлических отбойных пластин определенной конфигурации и размерами для: равномерного рассеивания входящего газозвдушного потока; улучшения фильтрации и контакта его в активной зоне с гранулами регенеративного продукта, которые позволяют повысить эффективность его отработки и ресурс работы патрона.

4. **Установлена** величина снижения на (8...9) % объемной доли диоксида углерода на вдохе при центростремительном направлении движения воздушного потока относительно центробежного, равномерное отработывание регенеративного продукта и отсутствие его спекания. Это позволило в 1,5 раза увеличить время защитного действия при уменьшении массы продукта на 9 % в режиме средней тяжести нагрузки по сравнению с их нормативными значениями.

5. **Усовершенствована** конструкция регенеративного патрона респиратора с радиальным центростремительным направлением движения выдыхаемого воздуха, что позволило извлекать пусковое устройство и его замену, увеличить количество и продолжительность перерывов в работе спасателя, использовать различные приемы в тактику ведения аварийно-спасательных работ.

6. **Разработана** конструкторская документация на опытный образец регенеративного патрона респиратора для дальнейшего его производства.

7. **Разработаны** и утверждены МЧС ДНР научно-технические предложения по повышению ресурса работы регенеративного патрона респиратора с химически связанным кислородом.

8. Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения результатов работы составляет. 5,13 млн.руб. Основные результаты работы включены в учебный план по дисциплине газодымозащитная службы для студентов и курсантов Академии гражданской защиты МЧС ДНР.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Edwards J. C. Mathematical simulation of automated metabolic breathing simulator and self-contained self-rescuer / J.C. Edwards. – Pittsburgh, 1985.
2. Walter, E. Identification of parametric models from experimental data / E. Walter, I. Pronzato. – London; Berlin; New York : Springer-Verlag, 1997. – 331 с.
3. А.С. № SU 1759434 А1, МПК А62В 7/08. Регенеративный респиратор с химически связанным кислородом / М. Г. Данилевский, Э. Г. Ильинский, Т. И. Зимина, П. В. Куцын, В. Н. Лучко, Б. С. Любарский, В. П. Мазаненко, А. Н. Марголис, В. К. Овчаров ; ВНИИГД. – № 4903493/23 ; заявл. 26.11.90 ; опубл. 07.09.92.
4. А.С. № SU 1777566 А3, МПК А62В 19/00, 7/08. Регенеративный патрон дыхательного аппарата с химически связанным кислородом / А. И. Артеменко, М. Г. Данилевский, Э. Г. Ильинский, В. К. Кочерга, В. Н. Лучко, А. Е. Марголис, В. К. Овчаров ; ВНИИГД. – № 4781861/23 ; заявл. 11.01.90 ; опубл. 23.11.92.
5. Акимов, В.А. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах / В.А. Акимов, В.В. Лесных, Н.Н. Радаев. – М. : Деловой экспресс, 2004. – 352 с.
6. Анализ аварийности МЧС ДНР за 2016, 2017, 2018 год.
7. Анализ и разработка технических средств защиты от непригодной для дыхания среды в угольных шахтах [Электронный ресурс] / В. Г. Агеев, Э. Г. Ильинский, Е. И. Конопелько, В. К. Овчаров // Донецкий национальный технический университет : сайт. – Электрон. дан.. – [б. м.]. – Режим доступа: <http://ea.donntu.edu.ua/handle/123456789/19387>. – Загл. с экрана.
8. Архипец, Н.Н. Экономическая теория. Ч. 2: Экономика защиты от ЧС / Н.Н. Архипец. – Минск, 2005. – 134 с.
9. Балабанов, П. В. Математическое моделирование теплопереноса в процессе хемособции Т.14 / П. В. Балабанов, С. В. Пономарей, А. В. Трифонов. – Тамбов : Вестник ТГТУ, 2008. – № 2. – С. 334 – 341.

10. Боярко, И. А. Изолирующий дыхательный аппарат с изменяемой геометрией регенеративного патрона / И. А. Боярко, Н. Ц. Гатапова, Н. Ф. Гладышев, Р. В. Дорохов, Э. И. Симаненков, В. П. Таров // Вестник ТГТУ. – 2013. – № 3. – С. 641–647.
11. Брушлинский, Н.Н. Человечество и пожары / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов, А. Вагнер. – М.: Маска, 2007. – 143 с.
12. Гарковенко, Е. Е. Математическая модель процесса изменения концентрации фаз при движении многофазной среды / Е. Е. Гарковенко Материалы III научной школы «Импульсные процессы в механике сплошных сред» сентябрь 1999г., г. Николаев. – Николаев, 1999. – С. 18 – 21.
13. Гинкул, С. И. Тепломассообмен : монография / С. И. Гинкул, В. И. Шелудченко, В. В. Кравцов, С. В. Палкин. – Донецк : «Норд-Пресс», 2006. – С.298
14. Гладышев, Н. Ф. Регенеративные продукты нового поколения : технология и аппаратурное оформление / Н. Ф. Гладышев, Т. В. Гладышева, С. И. Дворецкий. – Москва : Машиностроение, 2007. – С.156 .
15. Говжеев, В. В. Анализ принципиальных схем пункта переключения в резервные самоспасатели / В. В. Горжеев, А. П. Кирьян, Е. И. Конопелько // Пути повышения безопасности горных работ в угольной отрасли : тез. докл. 2-й Междунар. науч.-практ. конф. / МакНИИ. - Макеевка, 2007. - С. 67 - 68.
16. Горбатов, В. А. Респиратор РХ – 90 Т – новое отечественное средство защиты органов дыхания горноспасателей / В. А. Горбатов, С. Б. Путин // Безопасность труда в промышленности. – 2005.- №8. - С. 36 – 37.
17. ГОСТ 12.4.292-2015 ССБТ.СИЗОД. Изолирующие самоспасатели с химически связанным или сжатым кислородом. Технические требования. Методы испытаний. Маркировка. Правила отбора образцов. – Введ. 2016-06-01. – Москва : Стандартинформ, 2016. – С. 30.
18. Грачев, В. А. Газодымозащитная служба : учебник / В. А. Грачев, Д. В. Поплавский. – Москва : Из-во «Пожкнига», 2004. - С. 379.
19. Грачев, В. А. Средства индивидуальной защиты (СИЗОД) : справочник / В. А. Грачев, В. А. Собурь. - Москва : Академия ГПС, 2003. - С.232 .

20. Грачев, В.А. Газодымозащитная служба / В.А. Грачев, Д.В. Поповский // Учебник / Под общ. ред. д.т.н., профессора Е.А. Мешалкина. — М.: Пожкнига, 2004. — 384 с.
21. Гудков, С. В. Совершенствование методики испытания изолирующих дыхательных аппаратов с химически связанным кислородом / С. В. Гудков, Д. С. Дворецкий, А. Ю. Хромов // Вестник ТГТУ. — 2009. — № 3. — С. 589–597.
22. Гудков, С. В. Изолирующие дыхательные аппараты и основы их проектирования / С. В. Гудков, С. И. Дворецкий, С. Б. Путин, В. П. Тавров. — Москва : Машиностроение, 2008. — С.86.
23. Гудков, С. В. Изолирующие дыхательные аппараты и основы их проектирования / С. В. Гудков, С. И. Дворецкий, С. В. Путин, В. П. Таров. — Москва : Машиностроение, 2008. — С.188.
24. Гудков, С. В. Современное состояние и перспективы развития отечественных шахтных самоспасателей Ч. 1. Сравнительный анализ изолирующих самоспасателей со сжатым и химически связанным кислородом / С. В. Гудков, И. А. Смирнов // Безопасность труда в промышленности. — 2013. — № 9. — С. 66 - 70.
25. Диденко, Н. С. Перспективные направления создания регенеративных респираторов / Н. С. Диденко // Горноспасательное дело. — Донецк, 1993. — С. 54. — 57.
26. Диденко, Н. С. Регенеративные респираторы для горноспасательных работ / Н. С. Диденко. — Москва : Недра, 1990. — С.160.
27. ДСТУ 3856-99 Респираторы изолирующие регенеративные для горноспасательных работ. Общие технические требования и методы испытаний. — Введ. 1999-03-19. — Киев : Госстандарт Украины, 1999. — С.37.
28. Ехилевский, С. Г. Динамика сорбции вредной примеси с точки зрения экстремальности энтропии / С. Г. Ехилевский // Проблемы экологии. — 1999. — №2. — С. 56-58.
29. Ехилевский, С. Г. Влияние начальной загрязненности регенеративного патрона на работу шахтного респиратора на химически связанном кислороде / С. Г. Ехилевский, О. В. Голубева, Е. П. Потапенко //

Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2014. – №8. – С. 37–43.

30. Ехилевский, С. Г. Динамика сорбции концентраций CO_2 вдали от входа в регенеративный патрон шахтного респиратора / С. Г. Ехилевский // Известия Донецкого горного института. – 1999. – №2. – С. 96-99.

31. Ехилевский, С. Г. Математическая модель рабочего процесса изолирующего шахтного респиратора / С. Г. Ехилевский, В. В. Пак, В. К. Овчаров, Э. Г. Ильинский // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 1994. – №1. – С. 54–57.

32. Ехилевский, С. Г. Математическая модель шахтного самоспасателя с маятниковой схемой воздухопроводной части / С. Г. Ехилевский // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2000. – № 6. – С. 46-49.

33. Ехилевский, С. Г. Оценка положения и ширины работающего слоя регенеративного патрона изолирующего респиратора в условиях полноты достаточной статистики / С. Г. Ехилевский // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2019. – № 3. – С. 291 – 300.

34. Ехилевский, С. Г. Регенерация нестационарных потоков воздуха / С. Г. Ехилевский // Известия Донецкого горного института. – 1998. – №2 (8). – С. 53-58.

35. Ехилевский, С. Г. Резервы более полного использования химически связанного кислорода в шахтных дыхательных аппаратах / С. Г. Ехилевский // Известия Донецкого горного института. – 1998. – №1 (7). – С. 17-26.

36. Ехилевский, С. Г. Сплайн - интерполяция концентрации CO_2 в регенеративном патроне шахтного респиратора / С. Г. Ехилевский // Известия Донецкого горного института. – 1999. – №4. – С. 48-51.

37. Ехилевский, С. Г. Хемосорбция CO_2 в частично отработанном патроне респиратора / С. Г. Ехилевский // Уголь Украины. – 1998. – №11. – С. 27-28.

38. Значения феноменологических параметров модели хемосорбции в регенеративных патронах шахтных респираторов / пак В.В., Ехилевский С.Г., Ильинский Э.Г. Конопелько Е.И. // Уголь Украины. – 1996. – № 1. – С. 25-26.

39. Иващук, О. А. Модели интеллектуального анализа данных в

информационных системах экологической безопасности / О. А. Иващук, О. Д. Иващук // Научные ведомости БелГУ. Серия «История. Политология. Экономика. Информатика». – 2013. – № 15(158). – С. 163 –168.

40. Ильинский, Э. Г. Система обеспечения защиты органов дыхания людей от пожарных газов / Э. Г. Ильинский, Е. И. Конопелько, Р. С. Плетенецкий // Горноспасательное дело : сб. науч. трудов / НИИГД «Респиратор». - Донецк, 2014. - Вып. 51.- С 39 - 46.

41. Инденбаум, Т. Е. Исследование температурно-влажностного режима различных регенеративных респираторов : автореферат дис. на соиск. ученой степени канд. техн. -наук : 05.520 / Интенбаум Т. Е. - Донецк, 1971. - С.22.

42. Исследование и разработка рабочего респиратора с химически связанным кислородом / Н. С. Диденко, Т. И. Зимица, Т. Е. Инденбаум // Тезисы докл. Второй Всесоюзной конференции по защите органов дыхания. - Донецк : ЦНИЛ ВГСЧ Донбасса, 1967. - С. 21 - 24.

43. Исследование хемосорбционных свойств регенеративного продукта на основе надпероксида калия / Ю. А. Ферапонтов, Д.В. Жданов, М. А. Ульянова, Н. Ф. Гладышев // Актуальные проблемы теории адсорбционных процессов в пористых структурах : материалы VIII Всероссийского симпозиума с участием иностранных ученых. – Москва : РАН, 2003. – С. 93.

44. Індикатор респіратору з хімічно зв'язаним киснем для роботи у вибухонебезпечному середовищі / О. Ю. Гладков, Е. Г. Ільїнський, Є. І. Конопелько, Р. С. Плетенецький // Промислова безпека і вентиляція підземних споруджень в XXI сторіччі : зб. наук. праць / ДонНТУ. - Донецьк, 2013. - С. 31. - 33.

45. Кирьян, А. П. Комплексный энергетический показатель респираторов / А. П. Кирьян, В. В. Карпекин // Горноспасательное дело : сб. науч. трудов / НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2005. – Вып. 42. – С. 137-141.

46. Кирьян, А. П. Математическая модель для усовершенствования респиратора с химически связанным кислородом / А. П. Кирьян // Вестник Академии гражданской защиты. – Донецк, 2019. – № 4(20). – С. 96-102.

47. Кирьян, А. П. Применение регенеративных респираторов для защиты пожарных при тушении развившихся пожаров / А. П. Кирьян, Е. И. Конопелько, Р. С. Плетенецкий // «Пожежна безпека – 2005» : матеріали VII Всеукр. наук-практ. конф. рятувальників / УкрНДіПБ МНС України. – Київ, 2005. – С. 195-198.

48. Кирьян, А. П. Респиратор с химически связанным кислородом для защиты спасателей при ликвидации пожаров и аварий / А. П. Кирьян // Пожарная и техноферная безопасность : проблемы и пути совершенствования : научный журнал АГЗ. – Донецк, 2019. – Вып. 1(2). – С. 132-138.

49. Кирьян, А. П. Экспериментальные исследования работы регенеративного патрона респиратора / А. П. Кирьян, Л. А. Зборщик, Р. С. Плетенецкий // Матер. IV Междунар. науч-практ. конф., посвященной Всемирному дню гражданской обороны «Гражданская оборона на страже мира и безопасности»: в 3 ч. Ч. II. Проблемы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. – Москва: Академия ГПС МЧС России, 2020. – С. – 75-81.

50. Конопелько, Е. И. Индикатор отработки регенеративного патрона респиратор с химически связанным кислородом / Е. И. Конопелько // Науковий вісник Укр. НДШПБ. – 2003. - С. 125 - 130.

51. Конопелько, Е. И. Новое поколение респираторов с химически связанным кислородом / Е. И. Конопелько // Уголь Украины. – 2003. - № 1. - С. 45 - 48.

52. Конопелько, Е. И. Регенеративный патрон респиратора с химически связанным кислородом / Е. И. Конопелько // Горноспасательное дело : сб. науч. трудов / НИИГД «Респиратор». - Донецк, 2003. - С. 57 - 61.

53. Кострубицкий, А.А. Экономическая эффективность деятельности газодымозащитной службы МЧС ДНР / А.А. Кострубицкий, В.Г. Агеев, И.Ф. Дикенштейн // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – 2020. - № 1 (57). – С. 7 – 16.

54. Майстренко, А. В. Моделирование изолирующих дыхательных аппаратов на химически связанном кислороде / А. В. Майстренко, Н. В.

Майстренко, О. И. Ерохин // Научные ведомости БелГУ. Серия «История. Политология. Экономика. Информатика». – 2014. – № 1(172). – С. 81–87.

55. Мамаев, В. В. Математическое моделирование процессов в регенеративном патроне респиратора с химически связанным кислородом / В. В. Мамаев, А. П. Кирьян // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2020. – № 1. – С. 18-24.

56. Мамаев, В. В. Оценка возможности увеличения времени защитного действия регенеративного патрона респиратора / В. В. Мамаев, А. П. Кирьян, О. Э. Толкачев // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2018. – №4. – С. 99-105.

57. Мамаев, В. В. Усовершенствованный респиратор с химически связанным кислородом для защиты спасателей при ликвидации аварий / В. В. Мамаев, А. П. Кирьян, Л. А. Зборщик // Матер. III Междунар. науч-практ. конф., посвященной Всемирному дню гражданской обороны: в 3 ч. Ч. II. Проблемы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. – Москва : Академия ГПС МЧС России, 2019. – С.236-241.

58. Математическая модель регенеративного дыхательного аппарата / В. К. Овчаров, Э. Г. Ильинский, В. В. Пак, С. Г. Ехилевский // Горноспасательное дело: сб. науч. трудов / НИИГД. - Донецк, 1993. - С.200.

59. Методика определения экономической эффективности в угольной промышленности новой техники, изобретений и рационализаторских предложений / Методические указания. – М.: ЦНИЭИуголь, 1979.

60. Методы резервирования кислорода в системах жизнеобеспечения / В. К. Овчаров // Горноспасательное дело : сб. науч. трудов / НИИГД «Респиратор». - Донецк, 1997. - С. 109 - 115.

61. Моисеева, Е.Е. Экономическая эффективность противопожарных мероприятий / Е.Е. Моисеева, Д.В. Южаков // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2009. – № 23. – С. 311 – 314.

62. Найманов, А.З. Разработать методику оценки экономической эффективности от внедрения на шахтах и в подразделениях ВГСЧ новых средств горно-

спасательной техники и нормативно-технической документации / А.З. Найманов // Отчет о НИР (закл.) ВНИИГД «Респиратор» - № ГР 018600 94720. – Донецк. – 1987.

63. Научно-методические подходы к определению предотвращенного ущерба / М.В. Загуменнова, А.Г. Фирсов, В.И. Сибирко, А.А. Порошин // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXI Международной науч.- практ. конф. – М. : ВНИИПО, 2019. – С. 436 – 439.

64. Никольский, Б. П. Справочник химика Т.5 / Б. П. Никольский. – Москва: Изд-во «Химия», 1968. - С.432.

65. Обґрунтування можливості включення в респіратор з хімічно зв'язаним киснем при негативних температурах / Е. Г. Ільїнський, Є. І. Конопелько, Р. С. Плетенецький, А. П. Кір'ян. // Горноспасательное дело: сб. науч. трудов / НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2004. – Вып. 41. – С. 53-57.

66. Обоснование продолжительности возможных перерывов в работе респиратора с химически связанным кислородом / Э. Г. Ильинский, Е. И. Конопелько, С. А. Лебедков, Р. С. Плетенецкий // Горноспасательное дело: сб. науч.т р. / НИИГД «Респиратор». - Донецк, 2005. - Вып. 42. - С 109 - 115.

67. Овчаров, В. К. Новые средства защиты органов дыхания горнорабочих и горноспасателей / В. К. Овчаров, Л. А. Зборщик, Ф. П. Билан // Уголь Украины. - 1995. - № 9. - С. 26 - 28.

68. Онасенко, А.А. Безопасность труда горнорабочих и членов ВГК шахты в экстремальных микроклиматических условиях / А.А. Онасенко, И.Ф. Марийчук // Журнал «Уголь Украины». – 2004. - № 8. – С. 47 – 49.

69. Оснащение спасательных формирований респираторов с химически связанным кислородом /Е. И. Конопелько, В. В. Говжеев, А. П. Кирьян, Ю. А. Зиновьев // Пути повышения безопасности горных работ в угольной отрасли : тез. докл. науч.-практ. конф. / МакНИИ. - Макеевка, 2004. - С. 328 - 330.

70. Особенности микроклимата регенеративного респиратора на химически связанном кислороде / Т. Е. Инденбаум // Вопросы защиты органов дыхания в горноспасательном деле: сб. науч. трудов / ВНИИГД. - Москва, 1970.-

С. 25 - 28.

71. Оценка пожарной опасности дыхательных аппаратов с химически связанным кислородом / Э. Г. Ильинский, Е. И. Конопелько, Р. С. Плетенецкий // Пожежна безпека : зб. техн. доповідей ІХ Міжнар. наук.-техн. конф. - Львів : ЛДУ БЖД, 2009. – С. 177. - 178.

72. Пак, В. В. Значения феноменологических параметров модели хемосорбции в регенеративных патронах шахтных респираторов / В. В. Пак, С. Г. Ехилевский, Э. Г. Ильинский, Е. И. Конопелько // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 1998. – № 11-12. – С. 108-112.

73. Пак, В. В. Изотерма сорбции и концентрация работающего слоя в шахтных регенеративных дыхательных аппаратах / В. В. Пак, С. Г. Ехилевский // Известия Донецкого горного института. – 1996. – № 2 (4). – С. 13-18.

74. Патент 44056 Україна, МПК А62В7/08 Регенеративний респіратор з хімічно зв'язаним киснем / М. Г. Данилевський, Е. Г. Ільїнський, Є. І. Конопелько, С. О. Лебедков, В. М. Лучко. В. К. Овчаров. - № 20001032038 ; Заявлено 27.03.2001 ; опуб. 16.08.2004, Бюл. № 8. - С.6.

75. Патент 47408; МПК А 62 В 7/00. Ізолювальний дихальний апарат / П. С. Пашковський, М. М. Ковалевська, Л. О. Зборщик, Е. Г. Ільїнський. - № 200912199 ; заявл. 27.11.2009 ; опубл.25.01.2010, Бюл. № 2. - С.2.

76. Патент 56898 Україна МПК А 62 В 19/ Регенеративний патрон ізолювального дихального апарата / М. М. Ковалевська, Е. Г. Ільїнський, Р. С. Плетенецький. – № 201009989 ; заявл. 12.08.2010 ; опубл.25.01.2011, Бюл. № 2. - С.3.

77. Патент 62305 Україна МПК А 62 В 99/00 Регенеративний респіратор з хімічно зв'язаним киснем / В. Г. Агєєв, Е. Г. Ільїнський, Є. І. Конопелько, П. С. Пашковський, Р. С. Плетенецький. □ № 201101708 ; заяв. 14.02.2011 ; опубл. 11.07.2011, Бюл. № 13. - С.5.

78. Патент 74707 Україна, МПКА 62В19/02 Регенеративній патрон ізолюючого дихального апарата / В. К. Овчаров, Е. Г. Ільїнський, В. М. Лучко, О. С. Чумак, Д. Г. Талалаєв, Г. Д. Вассерман. - № 20040402904 ; заявлено 20.04.2004 ;

опубл. 16.01.2006, Бюл. № 1. - С.4.

79. Патент 91479 Україна МПК А 62 В 9/00. Пристрій контролю відпрацювання регенеративного патрона дихального апарата з хімічно зв'язаним киснем / В. Г. Агєєв, Е. Г. Ільїнський, Є. І. Конопелько, Р. С. Плетенецький. - № 201315377 ; заяв. 27.12.2013 ; опубл.10.07.2014, Бюл. № 13. - С.8.

80. Патент № 1748838 МПК: А62В 19/00 Регенеративный патрон дыхательного аппарата / С. И. Фастивец, Е. А. Шевченко, В. А. Мнускин, М. Е. Краснянский ; ВНИИГД. – №1903841 ; заяв. 21.01.1991 ; опубл. 23.07.1992.

81. Патент № RU 2075319 С1, МПК 6А62D 9/00. Регенеративный продукт для изолирующих дыхательных аппаратов / Б. В. Путин, С. И. Симаненков, С. А. Ульянов, В. Н. Шубина ; Тамбовский научно-исследовательский химический институт. – № 93034481/26 ; заявл. 01.07.93 ; опубл. 20.03.97.

82. Патент № RU 2107525 С1, МПК 6А62D 9/00. Поглотитель диоксида углерода для изолирующих дыхательных аппаратов / В. Д. Романов, Л. И. Шонин, А. С. Болтоносков ; Тамбовский научно-исследовательский химический институт. – № 96117918/25 ; заявл. 04.09.96 ; опубл. 27.03.98.

83. Патент № RU 2209647 С2, МПК 7А62D 9/00. Регенеративный продукт / Н. Ф. Гладышев, Т. В. Гладышева, Б. В. Путин, С. И. Симаненков ; ФГУП «ТамбовНИХИ». – № 2001109048/12 ; заявл. 09.04.2001 ; опубл. 10.08.2003.

84. Патент № RU 2210416 С1, МПК 7А62D 9/00. Регенеративный продукт и способ его получения / Ю. А. Ферапонтов, Д. В. Жданов, Н. Ф. Гладышев ; ФГУП «ТамбовНИХИ». – № 2002117816/12 ; заявл. 02.07.2002 ; опубл. 20.08.2003.

85. Патент № RU 2210417 С1, МПК 7А62D 9/00. Регенеративный продукт / Ферапонтов, Д. В. Жданов, Н. Ф. Гладышев ; ФГУП «ТамбовНИХИ». – № 2002117817/12 ; заявл. 02.07.2002 ; опубл. 20.08.2003.

86. Патент № RU 2323758 С1, МПК А62D 9/00. Продукт для регенерации воздуха / Ю. А. Ферапонтов, М. А. Ульянова, В. П. Андреев, Т. М. Булгакова, В. А. Точилков ; ОАО «Корпорация «Росхимзащита». – № 2006129728/15 ; заявл. 16.08.2006 ; опубл. 10.05.2008.

87. Патент № RU 2335316 C1, МПК А62D 9/00. Регенеративный продукт для изолирующих дыхательных аппаратов / Т. М. Булгакова, В. А. Точилов, М. А. Ульянова, Ю. А. Ферапонтов, С. Б. Путин, Л. Э. Козадаев ; ОАО «Корпорация «Росхимзащита». – № 2007116251/15 ; заявл. 28.04.2007 ; опубл. 10.10.2008.

88. Патент № RU 2338567 C2, МПК А62D. Способ получения продукта для регенерации воздуха / Т. М. Булгакова, Н. Ф. Гладышев, Л. Э. Козадаев, Б. В. Путин, С. Б. Путин, В. А. Точилов, М. А. Ульянова, Ю. А. Ферапонтов, Л. И. Шонин ; ОАО «Корпорация «Росхимзащита». – № 2006144033/15 ; заявл. 11.12.2006 ; опубл. 20.11.2008

89. Патент № RU 2367492 C1, МПК А62D 9/00. Способ получения продукта для регенерации воздуха / Ю. А. Ферапонтов, М. А. Ульянова, Н. Ф. Гладышев, В. Е. Шкитин., В. А. Точилов, С. Б. Путин, Т. В. Сажнева ; ОАО «Корпорация «Росхимзащита». – № 2008103865/15 ; заявл. 31.01.2008 ; опубл. 20.09.2009.

90. Патент № UA 44019 А, МПК 6А62В 19/00, А62В 7/08. Регенеративный патрон дихального аппарата з хімічно зв'язаним киснем / Е. Г. Ільїнський, Э. І. Конопелько, С. О. Лебедков, В. М. Лучко, В. К. Овчаров ; НДІГС «Респіратор». – № 2001010504 ; заявл. 23.01.2001 ; опубл. 15.01.2002.

91. Патент №2067883 МПК А62В 7/00. Регенеративный респиратор с химически связанным кислородом / М. Г. Данилевский, Э. Г. Ильинский., В. Н. Лучко, А. Е. Марголис, В. К. Овчаров ; НИИГД «Респиратор». – № 5049180/23 ; заявл. 02.04.1992 ; опубл. 20.10.1996.

92. Патент Украины на изобретение № 23427, МПК А62В 7/08/. Регенеративный патрон дыхательного аппарата с химически связанным кислородом / С. Г. Ехилевский, В. В. Пак, Э. Г. Ильинский ; ДонДНТ. – № 96072700 ; заяв. 08.07.1996 ; опубл. 02.06.1998.

93. Патент Украины на изобретение № 47440, МПК А62В 7/08/. Изолирующий дыхательный аппарат / С. Г. Ехилевский, В. В. Пак, Э. Г. Ильинский ; ДонНТУ. – № 98041899 ; заяв. 14.04.1998 ; опубл. 15.07.2002.

94. Патент74932 Україна, МПК А62В7/08 Ізолюючий дихальний апарат з

хімічно зв'язаним киснем / Л. О. Зборщик, В. К. Овчаров, Е. Г. Ільїнський, В. М. Лучко, Є. І. Конопелько. - № 2004032296 ; заявлено 29.03.2004 ; опуб. 15.02.2006, Бюл. № 2. - С.5.

95. Плетенецкий, Р. С. Конструктивные параметры средств индивидуальной защиты / Р. С. Плетенецкий, Л. А. Зборщик, А. П. Кирьян // «Пожарная и аварийная безопасность» : сб. матер. XII Междунар. науч-практ. конф., посвященной Году гражданской обороны, Иваново, 29-30 ноября 2017 г. – Иваново : ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. – С. 356-359.

96. Понамарев, С.В. Теоретические и практические аспекты теплофизических измерений. Кн. 1 / С. В. Понамарев, С. В. Мищенко, А. Г. Дивин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – С.204.

97. Правила безопасности в угольных шахтах. - Москва : ГУП НТЦ Госгортехнадзор России, 2003.

98. Правила пожарной безопасности для предприятий угольной промышленности Донецкой Народной Республики : приказ МЧС ДНР 31.05.2016г. / В. Г. Агеев, С. А. Коробкин, П. С. Пашковский, А. Ю. Коляда, А. М. Богомаз, И. Ф. Дикенштейн, А. А. Диденко, В. В. Мамаев, С. П. Греков, Р. А. Васильченко, В. И. Цимбаленко, А. М. Симонов. Д. И. Костямин, Н. Ю. Чубучный, М. А. Нестерчук, С. Н. Панасенко, Е. Н, Пастухов. - Донецк : НИИГД «Респиратор», 2016. - С.304.

99. Проблемы оценки эффективности деятельности пожарной охраны по спасению людей / А.А. Порошин, В.В. Харин, Е.В. Бобринев, А.А. Кондашов // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы : материалы VIII Всерос. науч.-практ. конф. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский институт ГПС МЧС России, 2017. – С. 589 – 591.

100. Продукт регенеративный ОКЧ-3. Технические условия ТУ 7837-037-05807954-96. – С. 34.

101. Путин, С. Б. Математическое моделирование процесса регенерации воздуха в замкнутом объеме / С. Б. Путин, Д. Л. Симонова, С. А. Скворцов //

Вестник ТГТУ. – 2012. – № 4. – С. 953-955.

102. Разработка и исследование рабочего респиратора на химически связанном кислороде / Н. С. Диденко, Б. Д. Юдицкий, Т. Е. Инденбаум // Вопросы предупреждения и ликвидации аварий на угольных шахтах : сб. науч. трудов / ВНИИГД. - Киев : Техника, 1970.- С. 71 - 75.

103. Регенеративные респираторы для горноспасательных работ / Н. С. Диденко. - Москва, Недра. - 1984. - С.167.

104. Регенеративный процесс в изолирующем дыхательном аппарате с химически связанным кислородом на основе надпероксида калия // Горноспасательное дело : сб. науч. трудов / ВНИИГД «Респиратор». - Донецк, 1991. - С. 4 - 10.

105. Регенеративный респиратор для ведения энергоемких аварийно спасательных работ / Е. И. Конопелько // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2015. – № 1 (36) - 2(37).

106. Регенеративный респиратор на химически связанном кислороде / Н. С. Диденко, Н. М. Гендельман, Т. Е. Инденбаум, Б. Д. Юдицкий // Вопросы защиты органов дыхания в горноспасательном деле : сб. науч. трудов /ВНИИГД. - Москва, Недра, 1970. - Вып. 2. - С. 29 - 33.

107. Регенеративный респиратор РХ-4П / Э. Г. Ильинский, Е. И. Конопелько, С. А. Лебедев, В. К. Овчаров // Горноспасательное дело : сб. науч. трудов / НИИГД «Респиратор». - Донецк, 2001. - С 94 - 101.

108. Респиратор для ведения тяжелых работ, отвечающий европейским требованиям безопасности / В. К. Овчаров, Э. Г. Ильинский, Е. И. Конопелько, М. Г. Данилевский // Пути развития горноспасательного дела : труды научн.-практ. конф. / НПО «Респиратор». - Донецк, 1997. - С. 59 - 50.

109. Респиратор, обеспечивающий оптимальную долю кислорода во вдыхаемом воздухе и избыточное давление под маской / В. К. Овчаров, Э. Г. Ильинский, И. А. Моргуновский, М. Г. Данилевский // Горноспасательное дело : сб. науч. трудов / НИИГД «Респиратор». - Донецк, 1994. - С. 37 - 41.

110. Самарский, А. А. Теория разностных схем / А. А. Самарский. –

Москва : Наука, 1977. – С.656.

111. Син, А. Ф. Исследование взаимодействия кислорода и углекислого газа в средствах индивидуальной защиты органов дыхания / А. Ф. Син, В. Р. Дингес // Уголь. – 2008. – № 4. – С. 31 - 33.

112. Способы влияния на процесс регенерации воздуха в дыхательных аппаратах с химически связанным кислородом / В. К. Овчаров, Э. Г. Ильинский, Т. Е. Инденбаум, С. И. Фастивец // Тактика ведения горноспасательных работ и оснащение ВГСЧ : сб. науч. трудов / ВНИИГД. - Донецк, 1987. - С. 109 - 113.

113. Сравнительный анализ различных поглотителей углекислого газа в изолирующих респираторах / В. К. Овчаров, Э. Г. Ильинский, Т. Е. Инденбаум, С. И. Фастивец // Профилактика и ликвидация аварий на шахтах : сб. науч. трудов / ВНИИГД. - Донецк, 1986. - С. 50 - 55.

114. Средства индивидуальной защиты органов дыхания с химически связанным кислородом / Л. А. Зборщик, В. П. Мазаненко, П. М. Горовец, В. Н. Лучко // Горноспасательное дело: сб. науч. трудов / НИИГД «Респиратор». - Донецк, 1993. - С. 38 - 43.

115. Теплосодержание как интегральный показатель температуры и влажности вдыхаемого воздуха. / В. А. Максимович // Вопросы защиты органов дыхания в горноспасательном деле: сб. науч. трудов / ВНИИГД. - Москва, 1970. - С. 109 - 113.

116. Ткаченко, В. Н. Математическое моделирование, идентификация и управление технологическими процессами тепловой обработки материалов : монография / В. Н. Ткаченко. – Киев : «Наукова думка», 2008. – С.243.

117. Третьяков, А. А. Повышение эффективности испытаний регенеративных патронов / А. А. Третьяков, М. А. Салыхова, А. А. Картешкин // Вестник ТГТУ. – 2012. – № 4. – С. 1019. – 1023.

118. ТУ 7837-037-05807954-96 Продукты регенеративные ОКЧ-3. Технические условия. – Введ. 1997-02-24. – Москва. – С.34.

119. Устав по организации и ведению горноспасательных работ Государственной военизированной горноспасательной службой МЧС ДНР

[Электронный ресурс] : Приказ МЧС ДНР № 965 от 09.декабря 2015 г. // Сайт МЧС ДНР Электрон. дан. – Донецк, 2016. – Режим доступа: <http://dnmchs.ru/static/upload/Prikaz%20965>. – Загл. с экрана.

120. Фатеев, Г. А. Перенос тепла в реагирующем пористом теле при наличии фильтрации газа / Г. А. Фатеев // Тепло – и массообмен при фазовых и химических превращениях ; под ред. А. В. Лыкова, Б. М. Смольского. – Минск, 1968. – С. 100 – 114.

121. Ферапонтов, Ю. А. Синтез супероксида калия и исследование хемосорбционных свойств регенеративного продукта на его основе / Ю. А. Ферапонтов, Д. В. Жданов, Н. Ф. Гладышев // Актуальные проблемы теории адсорбции, модифицирования поверхности и разделения веществ: материалы VII Всероссийского симпозиума с участием иностранных ученых. – Москва: РАН, 2002. – С. 88.

122. Физиолого-гигиенические требования к изолирующим СИЗ. - Москва : Минздрав СССР, 1981. - С.27.

123. Флешман, А. Н. Оценка эффективности изолирующих респираторов различного типа на основе анализа динамики функционального состояния горноспасателей : материалы отчета о научно-исследовательской работ / А. Н. Флейшман. – Кемерово, 2007. – С.87.

Министерство по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Донецкой Народной Республики
(МЧС ДНР)

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГОРНОСПАСАТЕЛЬНОГО ДЕЛА, ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И
ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ «РЕСПИРАТОР»
(НИИГД «РЕСПИРАТОР»)

УТВЕРЖДАЮ

Министр по делам гражданской
обороны, чрезвычайным ситуациям и
ликвидации последствий
стихийных бедствий,
генерал-лейтенант службы
гражданской защиты



А.А. Кострубицкий

02. 2020 г.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ

ПО ПОВЫШЕНИЮ РЕСУРСА РАБОТЫ
РЕГЕНЕРАТИВНОГО ПАТРОНА РЕСПИРАТОРА
С ХИМИЧЕСКИ СВЯЗАННЫМ КИСЛОРОДОМ

11814003

Директор
НИИГД «Респиратор»
МЧС ДНР, д-р техн. наук
В.Г.Агеев
2020 г.



2020



Осуществление горноспасательных работ в изолирующих дыхательных аппаратах – респираторах – в угольных шахтах связано со все усложняющимися горно-геологическими условиями. При этом длительность ведения, трудоемкость, сложность спасательно-восстановительных работ и наносимый ими ущерб здоровью горноспасателя постоянно растут. Особенно тяжело переносятся организмом человека высокие температура и влажность окружающего воздуха в замкнутом пространстве. В связи с углублением горных выработок и интенсификацией производства микроклимат в горных выработках становится нагревающим.

Ведение горноспасательных работ в респираторах в выработках с температурой воздуха, превышающей 40 °С, разрешается Уставом по организации и ведению горноспасательных работ ГВГСС МЧС ДНР только при выполнении работ по спасению людей или когда место работы находится вблизи от выработок со свежей струей и нормальной температурой воздуха (время выхода – не более 3 мин), а при задымленности не выше средней – не далее 10 м от свежей струи воздуха.

Применяемые в настоящее время в подразделениях ГВГСС МЧС ДНР изолирующие респираторы со сжатым кислородом типа Р-30 и химическим поглотителем известковым диоксида углерода (ХП-И) обладают температурно-влажностными параметрами вдыхаемого воздуха, способствующими накоплению тепла в организме человека, что может привести (в определенных условиях) к тепловому удару и весьма серьезным последствиям.

Использование в качестве источника воздуха для дыхания в респираторе химически связанного кислорода обеспечивает более комфортные тепловые параметры вдыхаемого воздуха, даже при высокой температуре окружающей среды. Степень комфортности дыхания в респираторе характеризуется эквивалентной температурой вдыхаемого воздуха, т.е. температурой, приведенной к 100 % относительной влажности при фактической температуре и влажности, замеренных на вдохе. В аппаратах с химически связанным

кислородом за счет низкой энтальпии (теплосодержания) вдыхаемого воздуха эквивалентная температура составляет 24 – 26 °С при температуре окружающей среды соответственно 25 и 40 °С. В респираторах со сжатым кислородом эквивалентная температура воздуха составляет 38 – 42 °С.

При выполнении физической работы одинаковой тяжести нагрузка на респираторщика, определяемая по выделению им диоксида углерода, на 20 – 30 % меньше в респираторе с химически связанным кислородом, чем в Р-30. В результате соответственно повышается работоспособность личного состава, особенно при выполнении работ в особо тяжелых условиях: нагревающем микроклимате, передвижении вверх по протяженным наклонным выработкам, лавам маломощных пластов, переноске пострадавших и др.

К достоинствам респиратора с химически связанным кислородом относятся: простота устройства, отсутствие сложных воздухоподающих редукторов, а также экономное расходование кислорода (защитной мощности), прямо пропорциональное физической нагрузке человека, продолжительные гарантийные сроки хранения, возможность длительного пребывания в состоянии ожидания использования при минимальных проверках готовности. При его применении исключается необходимость иметь дорогостоящее баллонно-компрессорное или криогенное хозяйство.

Кроме того восстановление физиологических функций в организме человека при использовании респиратора с химически связанным кислородом происходит в 5 – 6 раз быстрее, чем в респираторах со сжатым кислородом, благодаря высокой температуре в зоне химических реакций регенерации, обуславливающей «дожигание» всех продуктов метаболизма человека.

Принцип действия респиратора с химически связанным кислородом основан на выделении кислорода при взаимодействии регенеративного продукта, помещенного в регенеративный патрон, с влагой и диоксидом углерода выдыхаемого человеком воздуха.

Однако широкому внедрению респираторов с химически связанным кислородом препятствует высокая стоимость регенеративного продукта на основе надпероксида калия (ОКЧ). Даже кратковременное включение в респиратор с химически связанным кислородом приводит к необходимости замены регенеративного патрона.

В то же время опыт эксплуатации и экспериментальные исследования показывают, что эффективность использования регенеративного продукта составляет около 60 %. Поэтому повышение использования регенеративного ресурса сорбента (продукта) является актуальной задачей, решение которой позволит повысить безопасность ведения горноспасательных работ (благодаря более широкому внедрению аппаратов с химически связанным кислородом) и снизить материальные затраты (за счет возможности уменьшения количества используемого регенеративного продукта при сохранении того же времени защитного действия).

Повышение эффективности использования регенеративного продукта возможно разными конструктивными способами: уменьшением количества поступающих в регенеративный патрон влаги или диоксида углерода, изменением расположения клапана избыточного давления и др. Однако основной путь повышения эффективности использования регенеративного продукта – изменение конструкции регенеративного патрона, как основного конструктивного и функционального элемента респиратора.

В регенеративном патроне в зоне реакции развивается значительная температура (от 200 до 400 °С), в результате которой выделяющееся большое количество теплоты приводит к сильному нагреванию проходящего воздуха, самого регенеративного продукта и корпуса регенеративного патрона. В некоторых случаях чрезмерное разогревание регенеративного продукта может привести не только к его оплавлению, «спеканию», но и к термическому разложению.

Поэтому оптимизация процесса регенерации в основном достигается снижением степени «спекания» регенеративного продукта и уменьшением скорости выделения кислорода за счет снижения температуры в зоне реакции благодаря интенсификации отвода тепла от емкости с регенеративным продуктом или более равномерного распределения его по всей массе регенеративного продукта с помощью размещения в нем металлических теплогазораспределителей.

В ходе проведенной научно-исследовательской работы № 11814003 «Исследовать возможность повышения ресурса работы регенеративного патрона респиратора с химически связанным кислородом» разработаны предложения по возможному повышению ресурса работы регенеративного патрона респиратора и определены необходимые для этого технические характеристики конструктивных элементов регенеративного патрона.

В результате проведенной работы установлено:

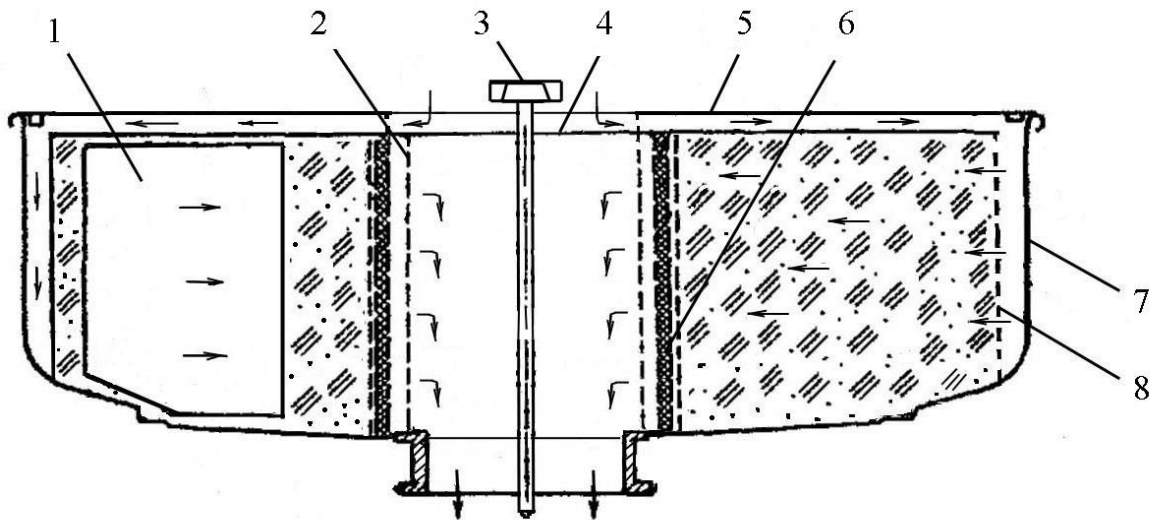
1 При разработке математических моделей регенеративных процессов в регенеративном патроне респиратора (созданных при помощи методов математической физики и численных методов матричной прогонки для краевых задач со смешанными краевыми условиями в безразмерном виде) выявлены различия в протекании данных процессов в патроне с развернутым слоем кислородсодержащего продукта («развернутая шихта»), в зависимости от направления газовой воздушного потока.

Исследование процессов тепло- и массопереноса при помощи математического моделирования позволило определить преимущество регенеративного патрона с «развернутой шихтой» с центростремительным направлением газовой воздушного потока над патроном с центробежным направлением. Регенеративные патроны первого типа согласно математической модели обеспечивают более равномерную отработку продукта, меньшее его «спекание», длительное время защитного действия.

2 Изменение направления газозвдушного потока потребовало разработки новой конструкции регенеративного патрона. Во время экспериментальных исследований измененной конструкции регенеративного патрона определены оптимальные параметры существующих конструктивных элементов и необходимость внедрения новых.

При этом отработывались форма регенеративного патрона, способ расположения продукта в нем, деление массы продукта на отдельные зоны и др.

НИИГД «Респиратор» разработана усовершенствованная конструкция макетного образца регенеративного патрона (рисунок 1), в которой осуществлено центростремительное (от периферии к центру) движение газозвдушного потока.



1 – пластина теплогазораспределителя; 2 – центральная перфорированная трубка; 3 – винт; 4 – внутренняя крышка; 5 – наружная крышка; 6 – центральная обечайка с противопылевым фильтром; 7 – корпус регенеративного патрона; 8 – перфорированная обечайка

Рисунок 1 – Усовершенствованный макетный образец регенеративного патрона

В данном патроне убраны зазоры (воздуховодные пути) и противопылевые фильтры, расположенные между корпусом 7 и перфорированной обечайкой 8. Ликвидация данных структур позволила заполнить данное пространство

регенеративным продуктом. Габаритные размеры макетного образца регенеративного патрона при этом не увеличились после дополнения его конструкции внутренней крышкой 4.

3 Установлено экспериментальными исследованиями на экспериментальном и макетном образцах регенеративного патрона, что основным элементом, улучшающим работу продукта, является теплогазораспределитель – металлическая деталь со сплошными перфорированными пластинами – который обеспечивает лучшее распределение выделяющегося тепла и регенерируемого воздуха по слоям регенеративного продукта и отвод избытка тепла на корпус регенеративного патрона.

Разработанная форма теплогазораспределителя в виде радиальных пластин создает оптимальные условия для протекания хемосорбционных, диффузионных, тепловых и аэродинамических процессов, поскольку такая форма обеспечивает равномерный доступ ламинарного воздушного потока ко всему объему регенеративного продукта.

Наилучшие результаты испытаний макетного образца регенеративного патрона (с направлением движения газоздушного потока от периферии к центру) получены со следующей конструкцией теплогазораспределителя: теплогазораспределитель состоит из 12 металлических сплошных полос размером 50×55 мм и при наличии установленной по периферии зигованной сетчатой обечайки с карманами (рисунок 2).



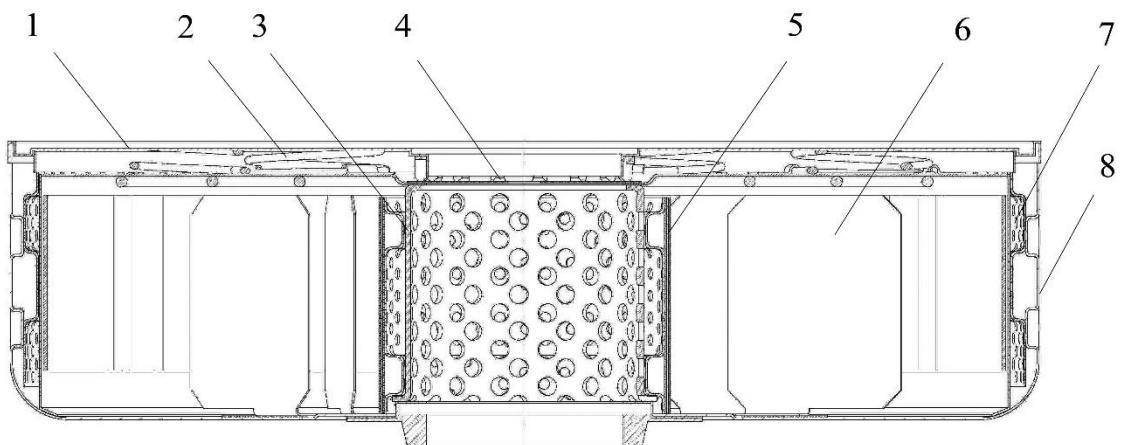
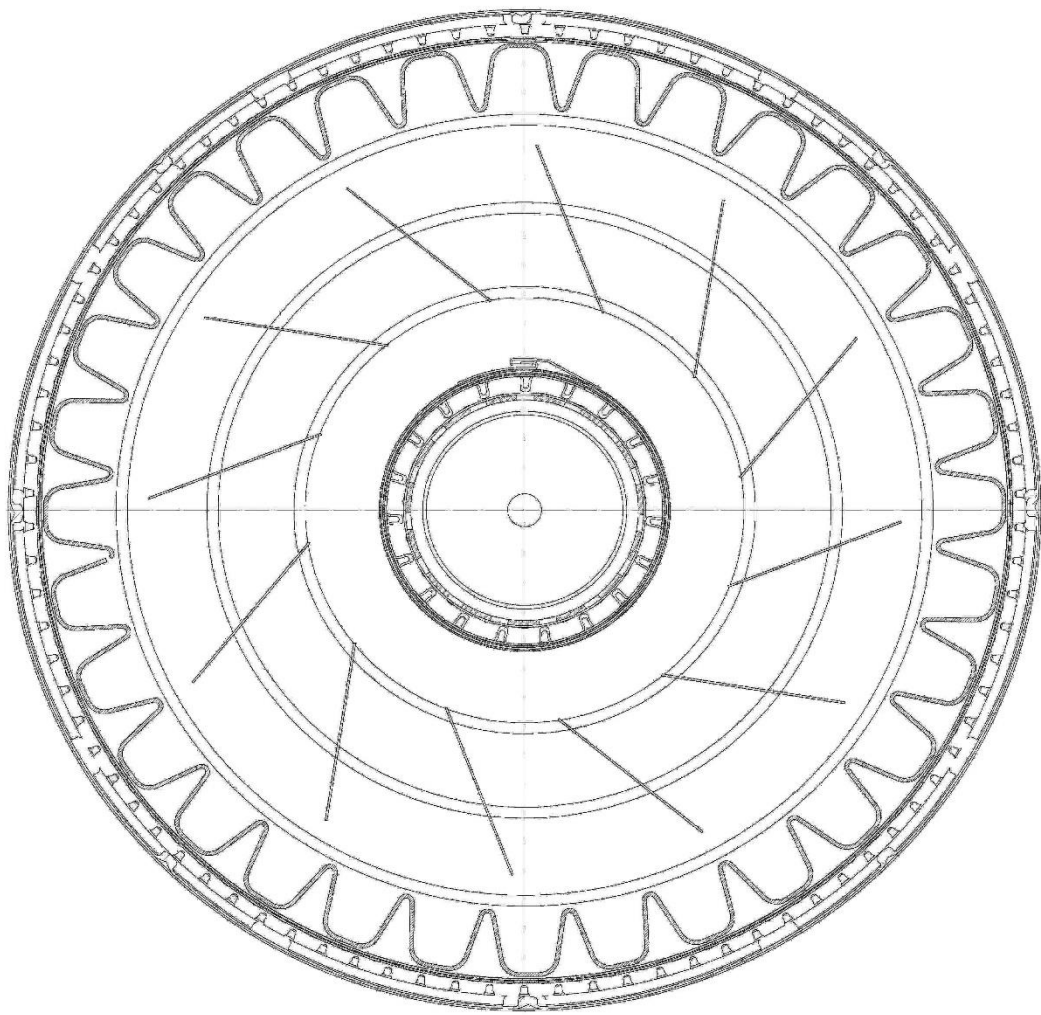
Рисунок 2 – Элементы теплогазораспределителя усовершенствованного макетного образца регенеративного патрона респиратора

Экспериментальными исследованиями подтверждено, что такая конструкция теплогазораспределителя обеспечивает равномерное распределение воздушного потока и обуславливает разделение массы регенеративного продукта на отдельные участки, защищая его от единовременного спекания в единый массив, тем самым снижая интенсивность процессов регенерации и удлиняя их. При меньшем количестве регенеративного продукта, равного 2,2 кг вместо 2,5 кг, время защитного действия составило 190 – 240 мин при норме не менее 120 мин.

Радиальное направление движения газовой смеси обеспечивало также и низкое сопротивление дыханию.

4 Таким образом, изменение направления движения газовой смеси вместе с определенными изменениями конструкции теплогазораспределителя и других конструктивных внутренних элементов патрона позволило увеличить время защитного действия регенеративного патрона с одновременным уменьшением массы регенеративного продукта.

5 Разработаны рабочие чертежи на опытный образец регенеративного патрона новой усовершенствованной конструкции регенеративного патрона респиратора с химически связанным кислородом (рисунки 3, 4).



1 – наружная крышка, 2 – пружина, 3 – центральная перфорированная трубка, 4 – внутренняя крышка, 5 – противопоылевой фильтр, 6 – теплогазораспределитель, 7 – перфорированная обечайка, 8 – корпус регенеративного патрона.

Рисунок 3 – Усовершенствованная конструкция регенеративного патрона

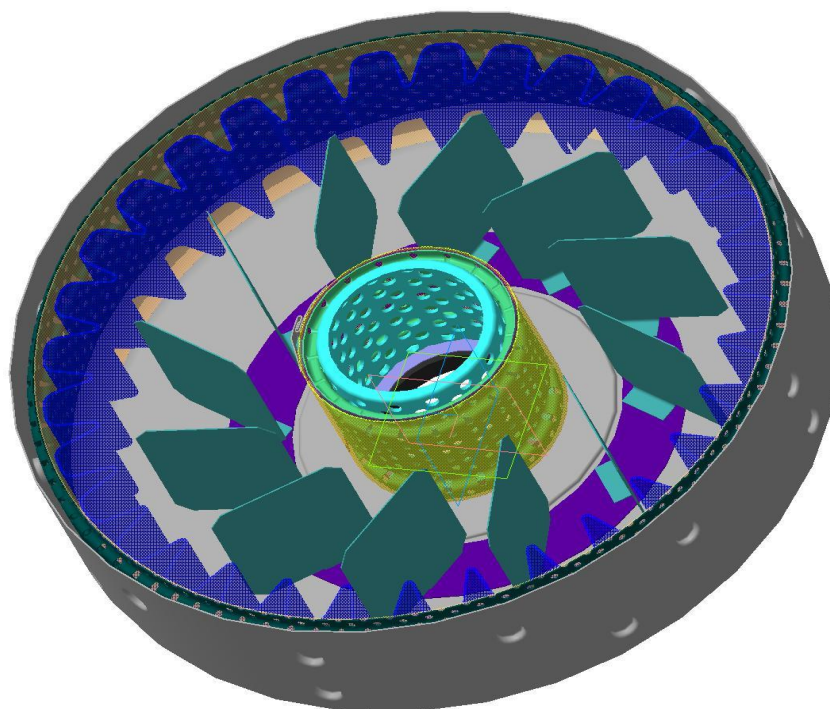


Рисунок 4 – Усовершенствованная конструкция регенеративного патрона в аксонометрической проекции

6 Исследования, выполненные в НИИГД «Респиратор», проводились с химическим продуктом, получаемым при расщеплении регенеративных патронов к респиратору с химически связанным кислородом типа РХС, изготовленных в разные годы: 15 – 30 лет назад. Для усреднения качества продукта проводились его смешивание из разных патронов с последующим химическим анализом. Поэтому для подтверждения возможности увеличения времени защитного действия регенеративных патронов новой усовершенствованной конструкции с центростремительным направлением движения газоздушного потока и химическим продуктом, выпускаемым в настоящее время, необходимо изготовление опытной партии регенеративного патрона респиратора в заводских условиях с последующими испытаниями и подконтрольной эксплуатацией.