М.А. Кича, В.А. Петров, И.Ю. Ожогин, В.Е. Господинов, Г.А. Родин

КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ГЕРМЕТИЧНЫХ ОБИТАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ НОРМАЛИЗАЦИИ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ПОСЛЕ ПОЖАРА И ПОЖАРОТУШЕНИЯ И ИННОВАЦИОННЫЕ ПУТИ РЕШЕНИЯ

3



Издательский дом «Сциентиа»

Санкт-Петербург
2023

Комплексная технология управления пожарной безопасностью герметичных обитаемых объектов

Монография

Под общей редакцией В. А. Петрова

В шести томах

Том 3

М. А. Кича, В. А. Петров,
И. Ю. Ожогин, В. Е. Господинов, Г. А. Родин

Проблемные вопросы нормализации воздушной среды после пожара и пожаротушения и инновационные пути решения

Издательский дом «Сциентиа»
Санкт-Петербург
2023

УДК 614.849+66.074
ББК 68.816
К63

Рецензенты:

Гузенберг Аркадий Самуилович — кандидат технических наук,
Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С. П. Королева;
Железняков Александр Григорьевич — кандидат технических наук,
Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С. П. Королева;
Петров Сергей Афанасьевич — доктор технических наук, профессор,
Военно-морская академия;
Романов Сергей Юрьевич — доктор технических наук,
Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С. П. Королева;
Саркисов Сергей Владимирович — доктор технических наук, профессор,
Военная академия материально-технического обеспечения.

К63 **Комплексная технология управления пожарной безопасностью герметичных обитаемых объектов** : монография : в 6 томах / под общ. ред. В. А. Петрова. — Санкт-Петербург : Сциентиа, 2023.

Т. 3 : Проблемные вопросы нормализации воздушной среды после пожара и пожаротушения и инновационные пути решения / М. А. Кича, В. А. Петров, И. Ю. Ожогин, В. Е. Господинов, Г. А. Родин. — 98 с.

ISBN 978-5-6050494-2-5. — doi:10.32415/scientia_978-5-6050494-2-5.

Цель настоящего исследования — обоснование инновационных способов нормализации воздушной среды подводных лодок, после пожара и пожаротушения в рамках концепции комплексной технологии управления пожарной безопасностью герметичных обитаемых объектов. В первой главе приводится аналитический обзор тенденций развития технологий нормализации воздушной среды подводных лодок, формирующейся при пожаре и пожаротушении. Во второй главе приводятся методы и устройства нормализации воздушной среды аварийного отсека. В третьей главе приводится обоснование перспективных устройств нормализации воздушной среды аварийного отсека в комплексной технологии управления пожарной безопасностью.

УДК 614.849+66.074
ББК 68.816

ISBN 978-5-6050494-2-5
doi:10.32415/scientia_978-5-6050494-2-5

© Коллектив авторов, 2023
© ООО ИД «Сциентиа», оформление, 2023

Оглавление

Введение. 5

1. Аналитический обзор тенденций развития технологий нормализации воздушной среды подводных лодок, формирующейся при пожаре и пожаротушении. 8
1.1. Анализ современных технологий нормализации воздушной среды после пожара и пожаротушения на подводных лодках флотов иностранных государств. 8
1.2. Анализ современных технологий нормализации воздушной среды после пожара и пожаротушения на подводных лодках Военно-Морского Флота Российской Федерации. 9
1.2.1. Аналитический обзор состава, природы и динамики образования вредных веществ при пожаре и применении различных систем и средств пожаротушения 9
1.2.2. Аналитический обзор исследований в области нормализации воздушной среды подводных лодок после пожара, выполненных до 2015 года 20
1.2.3. Оценка возможности использования штатных корабельных технических средств для нормализации воздушной среды подводных лодок после пожара. 23
Выводы по главе 1. 25

2. Практические методы и устройства нормализации воздушной среды аварийного отсека 27
2.1. Общий метод нормализации параметров воздушной среды после пожара и пожаротушения в комплексной технологии управления пожарной безопасностью и устройство для его осуществления 27
2.2. Метод и устройство нормализации воздушной среды аварийного отсека после пожара и пожаротушения системой азотного пожаротушения при снятии избыточного давления. 31

2.3. Основные технические решения и характеристики функциональных блоков узла очистки воздуха герметичного 40
2.3.1. Регулирующая арматура 40
2.3.2. Фильтр очистки воздуха от аэрозолей 45
2.3.3. Фильтр очистки воздуха от вредных химических веществ . . 51
2.3.4. Блок термокаталитической очистки воздуха от оксида углерода 59
2.4. Основные физико-химические показатели вновь разработанных неметаллических материалов для снаряжения фильтр-кассет узла очистки воздуха герметичного 73
Выводы по главе 2 77

3. Перспективные устройства нормализации воздушной среды аварийного отсека в комплексной технологии управления пожарной безопасностью 78
3.1. Обоснование требований к перспективному устройству нормализации воздушной среды аварийного отсека после пожара 78
3.2. Основные направления работ по разработке средств нормализации воздушной среды аварийного отсека после пожара 86
Выводы по главе 3 87

Заключение 88

Список сокращений 89

Список литературы 90

Введение

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации [1] и Федеральным законом о пожарной безопасности [2] на территории Российской Федерации функционирует система обеспечения пожарной безопасности, являющаяся совокупностью сил и средств, а также мер правового, организационного, экономического, социального и научно-технического характера, направленных на профилактику пожаров, их тушение и проведение аварийно-спасательных работ.

Пожар — один из наиболее часто встречающихся видов аварий герметичных обитаемых объектов — подводных лодок (ПЛ), космических обитаемых станций или специальных подземных сооружений.

Важным этапом борьбы с последствиями пожара является нормализация параметров воздушной среды, целью которой является обеспечение обитаемости и живучести объекта защиты.

Проблема нормализации воздушной среды ПЛ в подводном положении, без всплытия и вентилирования атмосферным воздухом, обусловлена необходимостью сохранения скрытности в боевых условиях, а также активным освоением ВМФ арктических районов, где в условиях подлёдного плавания возможность всплытия существенно ограничена.

Требования к установке на ПЛ систем нормализации воздушной среды после пожара в подводном положении содержится в основных нормативно-технических документах, в том числе, в документах по обеспечению химической безопасности и обитаемости [3].

Исследования различных способов нормализации воздушной среды аварийного отсека в подводном положении применительно к разным проектам ПЛ выполнялись начиная с 1980 года при выполнении НИР «Нормализация», ОКР «Доработка компрессоров типа ЭКСА-25 в целях использования их в системах нормализации газовоздушной среды после пожара…», диссертационных исследованиях представителей ВМФ и промышленности, однако, ни одно техническое решение так и не было реализовано, и единственным способом нормализации воздушной среды

после пожара, до настоящего времени, оставался способ вентилирования отсеков атмосферным воздухом после всплытия ПЛ.

Обеспечению возможности нормализации параметров воздушной среды ПЛ после пожара и пожаротушения способствует разработка и внедрение систем азотного пожаротушения (САП), реализация дифференцированного применения гипоксических нормобарических воздушных сред и предаварийного предпожарного регулирования содержания кислорода в воздушной среде, составляющих Комплексную технологию управления пожарной безопасностью (КТУПБ).

Технология КТУПБ предполагает существенное повышение пожарной безопасности за счёт применения совокупности инновационных технологий:

— создание дифференцированной по помещениям безопасной гипоксической нормобарической воздушной среды и поддержание её параметров в заданных пределах;

— контроль в нормальной обстановке параметров воздушной среды, предаварийный контроль источников пожарной опасности, контроль параметров пожарной сигнализации, аварийный и поставарийный контроль параметров воздушной среды;

— регулирование содержания кислорода и других параметров воздушной среды по сигналу от средств контроля при возникновении угрозы возгорания;

— применение объёмного и комплексного пожаротушения инертными газами в случае возгорания и пожара;

— восстановление (нормализацию) параметров воздушной среды после пожаротушения в подводном положении.

Одной из основных задач технологии КТУПБ является быстрая и эффективная нормализация параметров воздушной среды после пожара и пожаротушения без всплытия, что обеспечивается вследствие:

— относительно невысокого содержания вредных продуктов горения в воздушной среде ввиду возможности быстрого предупредительного регулирования или пожаротушения нейтральным газом азотом по сигналу от системы предаварийного контроля в помещениях с гипоксической средой;

— применения прогрессивных методов нормализации и технических средств для их осуществления на новых комплектующих изделиях и материалах, соответствующих перспективному научно-техническому уровню;

— высокого уровня автоматизации всех процессов нормализации воздушной среды с использованием специальных алгоритмов и непрерывного газового контроля параметров нормализуемой воздушной среды под управлением центрального процессора системы нормализации.

Цель настоящего исследования — обоснование инновационных способов нормализации воздушной среды подводных лодок, как наиболее представительного примера герметичных обитаемых объектов, после пожара и пожаротушения в рамках концепции комплексной технологии управления пожарной безопасностью герметичных обитаемых объектов.

В первой главе исследования приводится аналитический обзор тенденций развития технологий нормализации воздушной среды подводных лодок, формирующейся при пожаре и пожаротушении.

Во второй главе исследования приводятся практические методы и устройства нормализации воздушной среды аварийного отсека.

В третьей главе исследования приводится обоснование перспективных устройств нормализации воздушной среды аварийного отсека в комплексной технологии управления пожарной безопасностью.

1. Аналитический обзор тенденций развития технологий нормализации воздушной среды подводных лодок, формирующейся при пожаре и пожаротушении

1.1. Анализ современных технологий нормализации воздушной среды после пожара и пожаротушения на подводных лодках флотов иностранных государств

Согласно Монреальскому протоколу от 1989 года, во Франции, Германии, Японии, Великобритании и США в 1994 году прекратилось промышленное производство хладона 13В1 (зарубежное название — галон 1301), который являлся основным огнегасителем для стационарных систем пожаротушения на кораблях ВМС зарубежных государств с конца 1950-х годов. С учётом гарантийного срока эксплуатации (годности) хладона 13В1 в баллонах установок пожаротушения, который составляет 10 лет, можно было ожидать, что с 2004 года должна была начаться интенсивная замена стационарных установок пожаротушения на кораблях ВМС зарубежных государств. Однако в связи с сохранившимися возможностями по регенерации неиспользованного хладона этого не произошло. В то же время в различных иностранных государствах по-разному относятся к проблеме замены хладона в своих ВМС.

Так, флот Великобритании с учётом возможностей регенерации хладона 13В1 предполагает дальнейшее его использование.

В ВМС США также используют хладон 13В1, при этом в качестве средств пожаротушения имеют на борту пенные огнетушители, углекислотные и порошковые огнетушители. Замену хладона 13В1 предусматривают лишь на строящихся кораблях, где допускается возможность использования хладона 227еа. Предполагается, также, что в перспективе может быть использован огнегаситель, известный под маркой «*Novek* 1230». По информации разработчика, он полностью соответствует современным экологическим требованиям. Разработчик огнегасителя

Company 3*M* (США) сообщает, что его применение рекомендовано для морских систем. В то же время, согласно имеющейся информации, наиболее вероятно, что в будущем в ВМС США будут использовать системы с диспергированной водой.

ВМС Канады и Дании в перспективе также отдают предпочтение неразрушающим озон агентам. Однако замена хладона 13В1 хладоном 227еа или диспергированной водой (*Fine Water Spray*) при тушении пожаров предполагается только на строящихся кораблях. При этом кораблестроители этих государств столкнулись с проблемой значительного увеличения габаритных размеров систем пожаротушения.

Нормализация воздушной среды в отсеках ПЛ после пожаротушения перечисленными выше способами проводится после всплытия путём вентилирования атмосферным воздухом.

Информации о возможности нормализации воздушной среды отсеков после пожара в подводном положении ПЛ в ВМС зарубежных государств, как о комплексе мероприятий для восстановления химического состава и давления воздушной среды, на основе анализа доступных источников, не выявлено. Сообщается лишь о возможности решения отдельных аспектов этой проблемы. Так, в 1974 году в рамках исследований, проведённых Национальным исследовательским советом (США), было впервые предложено использование на ПС системы азотного пожаротушения. Вместо хладонов в качестве огнегасителя рекомендовалось применить подачу в аварийный отсек нетоксичного газа — азота [4].

1.2. Анализ современных технологий нормализации воздушной среды после пожара и пожаротушения на подводных лодках Военно-Морского Флота Российской Федерации

1.2.1. Аналитический обзор состава, природы и динамики образования вредных веществ при пожаре и применении различных систем и средств пожаротушения

Среди токсичных веществ, образующихся во время пожара, можно выделить оксид углерода, цианистый водород, бензол, сероводород,

а также акролеин, фтористые соединения (фтористый водород, фторфосген), формальдегид, диоксины и др. Кроме того, в воздушной среде сохраняется значительное количество огнегасителей, например, хладона 114В2 или хладона 227еа, продуктов их термического разложения, паров воды, азота.

Оксид углерода. Образуется при неполном сгорании углеродсодержащих газов, а также в случаях, когда диоксид углерода, будучи продуктом полного сгорания топлива, восстанавливается раскалённым углём.

Цианистый водород. Образуется при термическом разложении и пламенном горении азотсодержащих материалов, входящих в состав клеев, звукопоглотителей и одежды.

Ароматические углеводороды (типичный представитель — бензол). Являются составляющими летучих продуктов горения полимерных материалов как природного, так и синтетического происхождения.

Фосген. Источниками его образования может служить ряд хлорсодержащих полимерных материалов, входящих в состав кабеля, линолеума, системы гидравлики, электроизоляционных трубок.

Фторсодержащие соединения. Фтористый водород образуется при горении и термическом разложении фторсодержащих полимерных материалов, используемых в качестве электроизоляторов и прокладок, а также фторсодержащих веществ из состава хладоагентов и огнегасителей (хладон 134А, хладон 227еа, хладон 114В2).

Данные по литературным источникам о концентрации вредных веществ в воздушной среде аварийного помещения после пожара, локализованного с применением различных огнегасителей, приведены в таблице 1.1 [4]. Концентрации компонентов приведены в расчёте на нормальные условия. Концентрации огнегасителей приняты с учётом двукратной подачи.

Из приведённых данных следует, что состав воздушной среды в помещении после пожаротушения существенным образом зависит в том числе и от природы огнегасителя. В случае использования хладонов, воздушная среда, помимо большого количества самого огнегасителя, включает в себя также и продукты его термического разложения, такие

как бромистый водород, фторфосген, тетрафторэтилен. Если огнегаситель является азот, то концентрации вредных веществ несколько ниже, что объясняется разбавлением воздушной среды большим количеством инертного газа при тушении.

Таблица 1.1

Ориентировочный состав воздушной среды аварийного помещения после пожара в зависимости от типа применяемого огнегасителя

Наименование компонента и единица измерения	**Ориентировочное значение для огнегасителя**		
	Хладон 114В2	**Хладон 227еа**	**Азот**
Хладон 114В2, мг/м^3	до 440 000	–	–
Хладон 227еа, мг/м^3	–	до 1 120 000	–
Азот (объёмная доля), %	до 78	до 78	до 88
Оксид углерода, мг/м^3	15 000	6 700–15 000	400–8 000
Оксиды азота (в пересчёте на диоксид), мг/м^3	до 40	до 35	до 20
Сероводород, мг/м^3	до 10	до 8	до 6
Сернистый ангидрид, мг/м^3	до 50	до 45	до 30
Ароматические углеводороды (в пересчёте на бензол), мг/м^3	до 350	до 300	до 200
Хлористый водород, мг/м^3	до 50	до 45	до 30
Бромистый водород, мг/м^3	500–700	–	–
Цианистый водород, мг/м^3	10–100	8–80	6–60
Акролеин, мг/м^3	до 10	до 8	до 6
Фосген, мг/м^3	0,1–10	0,1–9	0,05–6
Фторфосген, мг/м^3	до 40	40–100	–
Тетрафторэтилен, мг/м^3	35–55	–	–
Аэрозоли твёрдые и жидкие (от 0,01 до 10 мкм), мг/м^3	85–100	85–100	46–100
Кислород (объёмная доля), %	17–19	16–18	12–13
Диоксид углерода (объёмная доля), %	до 6,7	до 6,1	4,7–6,0
Относительная влажность, %	85–100	85–100	46–100

В рамках диссертационных исследований Михеева В. А. и ряде НИОКР, выполненных АО «АСМ», произведено численное моделирование на программном комплексе «Витим» воздушной среды в первом и втором помещениях заказа «НАПЛ» и третьем и восьмом помещениях одного из перспективных проектов [5, 6] при пожаре и пожаротушении системой САП. Расчёты выполнялись для действительной горючей нагрузки, размещённой в помещениях объектов с учётом изменения скорости выгорания материалов и их кислородных индексов [7]. На заказе «НАПЛ» была проведена экспериментальная верификация полученных результатов при проведении натурного физического эксперимента по результатам наблюдения за содержанием кислорода, давлением и температурой воздушной среды в процессе и после работы системы САП. Результаты численного моделирования для помещений заказа «НАПЛ» показаны на рисунке 1.1.

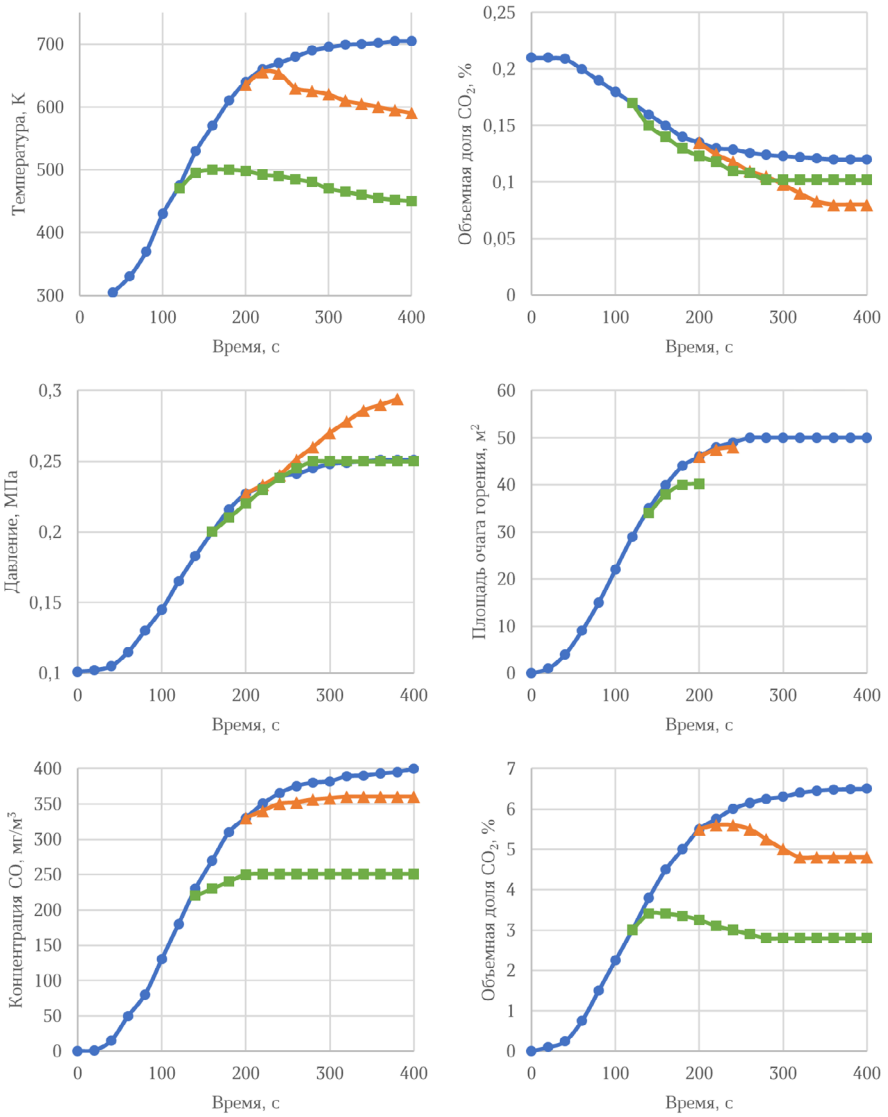
Из графиков, видно, что при естественном развитии пожара в загерметизированном отсеке, горючая нагрузка и кислород в воздушной среде обеспечат интенсивное горение с развитием очага пожара и интенсивным ростом температуры и давления в течение не менее 350 с, после чего, в результате выгорания кислорода, начнётся фаза снижения интенсивности пожара и его постепенное затухание.

В результате горения до выгорания, среднеобъемная температура в отсеке может повысится до плюс 220 °С, абсолютное давление до 0,25 МПа, размер очага пожара достигнет площади более 50 м^2, а содержания оксида и диоксида углерода достигнут значений 400 мг/м^3 и 7% соответственно, после чего будет происходить медленное остывание воздушной среды с понижением давления и накоплением оксида и диоксида углерода.

При своевременном и штатном срабатывании системы САП на 120 с от начала пожара, в случае однократной подачи огнегасителя, горение практически полностью прекращается на 160–180 с. Параметры воздушной среды в отсеке при тушении с 120 с составят:

— температура не более плюс 120 °С;

— абсолютное давление около 0,2 МПа, что обусловлено ростом давления в результате пожара (до 0,04 МПа избыточных) и ростом давления, связанным с подачей азота в отсек (до 0,055 МПа избыточных);



● — *при горении до выгорания;* ■ — *при пуске азота через 120 с после возгорания;* ▲ — *при пуске азота через 200 с после возгорания*

Рис. 1.1 — Результаты численного моделирования процессов при азотном пожаротушении в нормоксических средах для помещений заказа «НАПЛ»

— размер очага пожара на момент прекращения горения не более 40 м^2, что уже существенно меньше, чем при горении без пожаротушения;

— содержание оксида углерода около 250 мг/м^3 (160 мг/н-м^3) и диоксида углерода около 3%, что позволяет рассчитывать на возможность обеспечения быстрой нормализации параметров воздушной среды после пожаротушения в подводном положении;

— в случае сокращения времени подачи того же объёма огнегасителя до 60 с, при начале подачи через 120 с после возгорания, существенно снизятся содержания оксида и диоксида углерода, площадь очага горения, а также, незначительно, среднеобъемная температура.

На рисунках 1.2–1.11 приведены результаты расчётов параметров воздушной среды для третьего помещения АПЛ.

Результаты расчётов свидетельствуют, что во всех случаях, при своевременном штатном срабатывании системы САП, концентрации образующихся вредных веществ существенно меньше, чем приведённые в таблице 1.1 при тушении огнегасителями систем ЛОХ (хладонами 114В2 или 227еа), что объясняется различными механизмами тушения, а также тем, что масштабные физические эксперименты по тушению комплексных модельных очагов пожара в герметичных помещениях выполнялись более 30 лет назад. За прошедшее время были разработаны и стали применяться в оборудовании ПЛ новые материалы с более высоким кислородным индексом, которые позволили существенно снизить пожарную нагрузку и генерацию вредных веществ во время пожара.

Разница почти в три раза в расчётных значениях концентрации оксида углерода для заказов «НАПЛ» (выше — 240 мг/м^3 по сравнению с 80 мг/м^3) и АПЛ при тушении со 120 с объясняется более высокой удельной пожарной нагрузкой в сравниваемых помещениях на заказе «НАПЛ» и существенно меньшим объёмом воздуха в них.

Аналитический обзор состава, природы и динамики образования вредных веществ при пожаре и применении различных систем и средств пожаротушения свидетельствует об актуальности проведения исследований состава воздушной среды эксплуатирующихся и строящихся ПЛ, формирующейся при пожаре и применении различных систем и средств пожаротушения. При этом имеющиеся данные могут использоваться

при обосновании технических требований к перспективным средствам нормализации в качестве ориентиров.

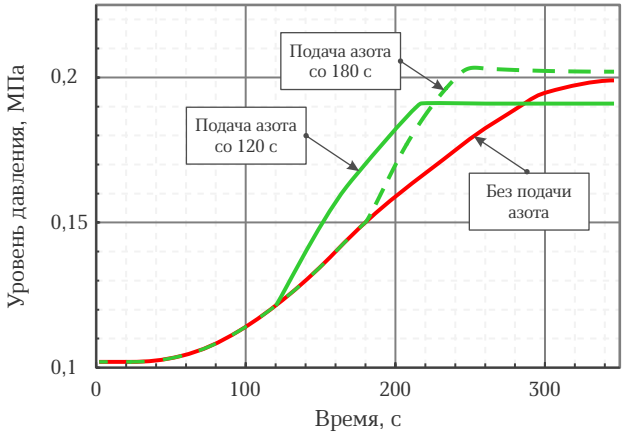


Рис. 1.2 — Графики изменения во времени среднего уровня давления при «пожаре» в пом. № 3 при начальной объёмной доле кислорода 21 %

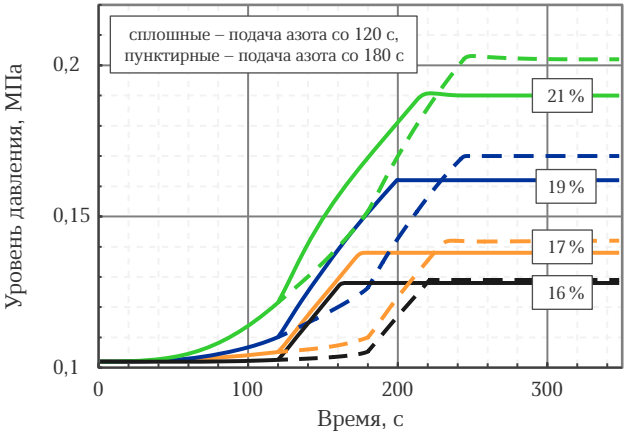


Рис. 1.3 — Графики изменения во времени среднего уровня давления при «пожаре» в пом. № 3 при различной начальной объёмной доле кислорода

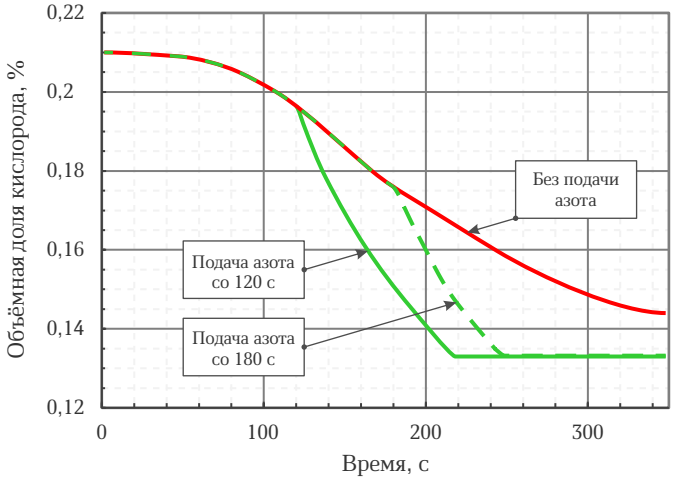


Рис. 1.4 — Графики изменения во времени объёмной доли кислорода при «пожаре» в пом. № 3 при начальной объёмной доле кислорода 21 %

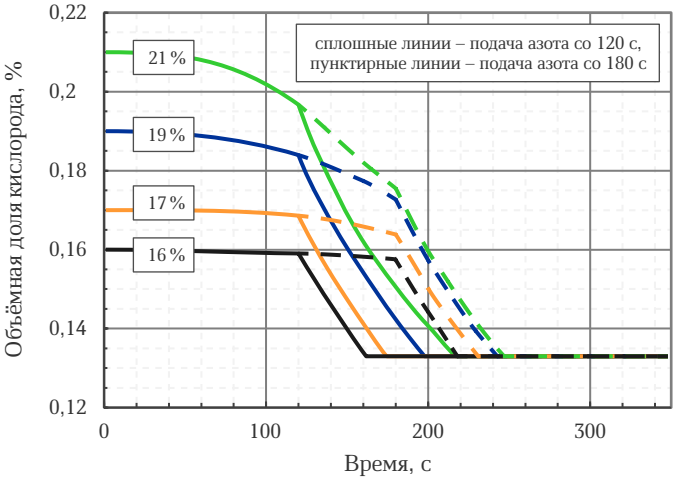


Рис. 1.5 — Графики изменения во времени объёмной доли кислорода при «пожаре» в пом. № 3 при различной начальной объёмной доле кислорода

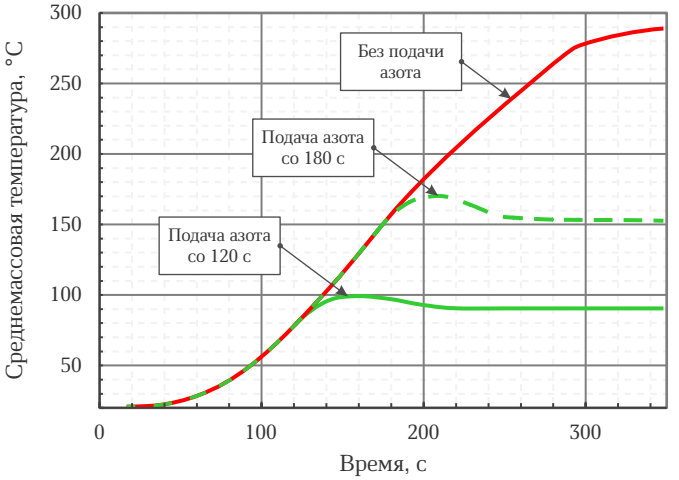


Рис. 1.6 — Графики изменения во времени среднемассовой температуры при «пожаре» в пом. № 3 при начальной объёмной доле кислорода 21 %

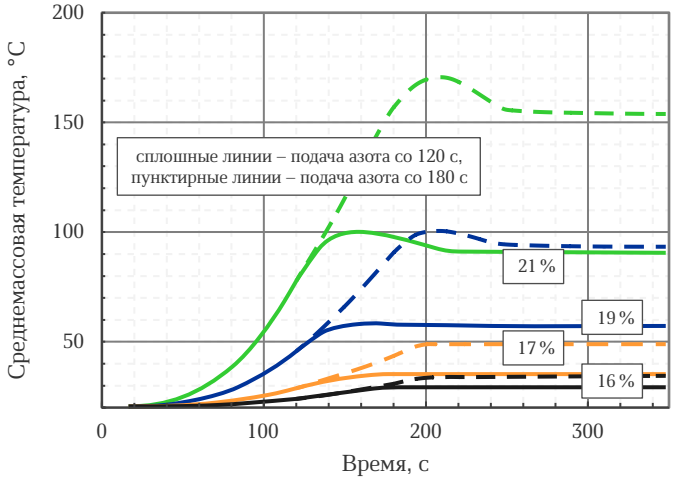


Рис. 1.7 — Графики изменения во времени среднемассовой температуры при «пожаре» в пом. № 3 при различной начальной объёмной доле кислорода

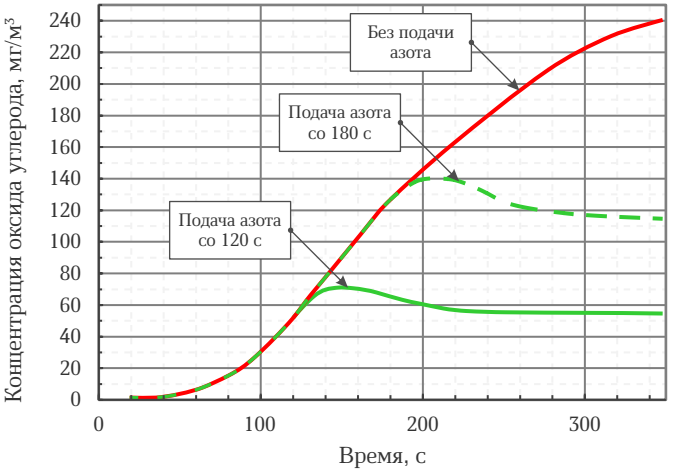


Рис. 1.8 — Графики изменения во времени средней концентрации оксида углерода при «пожаре» в пом. № 3 при начальной объёмной доле кислорода 21 %

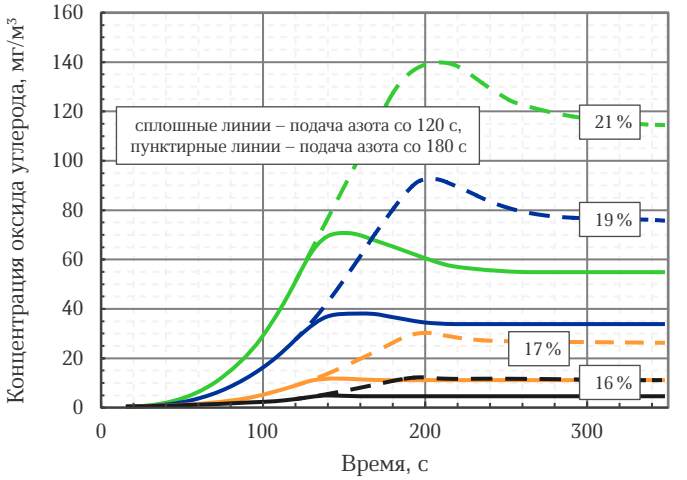


Рис. 1.9 — Графики изменения во времени количества средней концентрации оксида углерода при «пожаре» в пом. № 3 при различной начальной объёмной доле кислорода

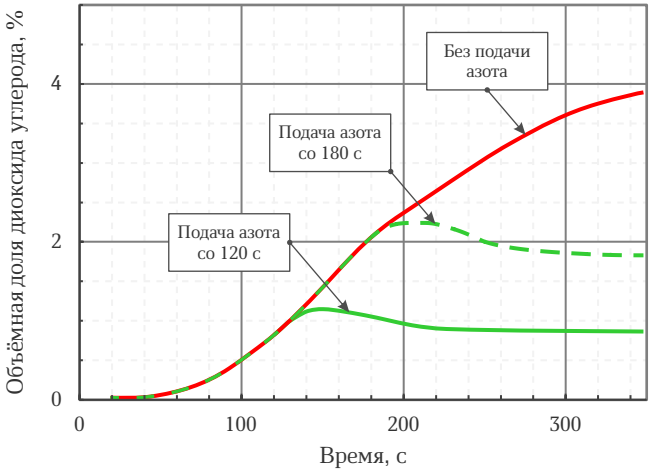


Рис. 1.10 — Графики изменения во времени объёмной доли диоксида углерода при «пожаре» в пом. № 3 при начальной объёмной доле кислорода 21 %

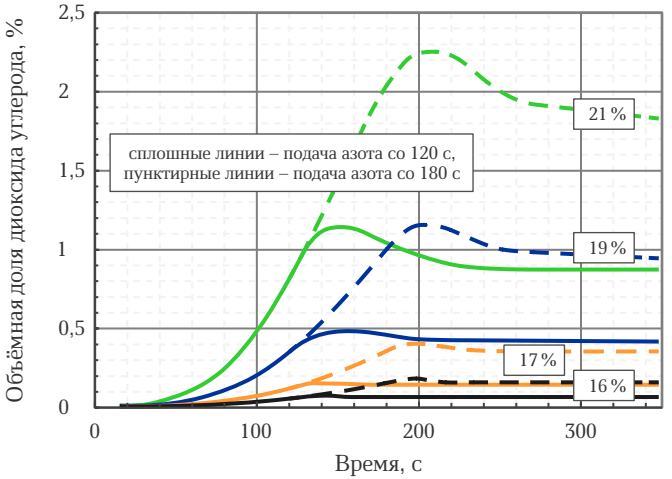


Рис. 1.11 — Графики изменения во времени объёмной доли диоксида углерода при «пожаре» в пом. № 3 при различной начальной объёмной доле кислорода

1.2.2. Аналитический обзор исследований в области нормализации воздушной среды подводных лодок после пожара, выполненных до 2015 года

Исследования различных методов нормализации воздушной среды аварийных ПЛ, находящихся в подводном положении, выполнялись постоянно, начиная с 1980-х годов. В зависимости от природы применяемого огнегасителя эти исследования до 2015 года проводились в двух основных направлениях [4].

Первое направление исследований включает работы, в которых предприняты попытки проведения нормализации после тушения пожаров хладоном 114В2. В нормальных условиях этот хладон является жидкостью. При срабатывании системы ЛОХ давление в помещении при тушении пожара повышается незначительно.

В ОКР «Ботник» (ЭНИТИ, г. Электросталь, 1983 г.) решались задачи очистки воздуха от продуктов, образующихся в результате горения материалов аварийного отсека, от хладона 114В2 и продуктов его терморазложения путём использования средств очистки воздуха. В результате выполненной ОКР была разработана рециркуляционная установка УОФ производительностью 200 м^3/ч. Установка состоит из крепящихся на рамах воздухоохладителя, влагоотделителя, электровентилятора, ёмкости для конденсата, воздуховодов, запорной и регулирующей арматуры и фильтров. Очистка от аэрозолей осуществлялась на фильтрующем материале. Поскольку хладон 114В2 имеет способность относительно хорошо сорбироваться, его извлекали из воздушного потока с помощью активированного угля, оксид углерода окислялся низкотемпературным катализатором, а очистка от других примесей осуществлялась химическими поглотителями. Фильтры позволяли очищать воздух от хладона 114В2 и оксида углерода на 2–3 порядка до концентраций 200 и 150 мг/м^3 соответственно, а также от продуктов горения и термического разложения, образующихся в результате пожара. Общий объём устройств, предназначенных для очистки помещения в 1000 м^3 за время около 16 ч, составляет 15,8 м^3, масса — 3,2 т, а энергопотребление —

4 кВт. По результатам был разработан и принят на снабжение комплект средств аварийной очистки.

Последующие проработки бюро-проектантов показали невозможность размещения указанной выше установки УОФ из-за её больших массы и габаритов. С целью снижения массогабаритных характеристик оборудования были предприняты попытки использования штатных корабельных средств для выделения основной массы хладона 114В2 из воздушной среды, подлежащей нормализации. При проведении исследований была показана необходимость существенных доработок компрессора, связанных с увеличением объёмов водомаслоотделителя и созданием дополнительного блока очистки продувочного воздуха. В этом случае, с учётом доработок, общий объём установки, предназначенной для очистки помещения в 1000 м^3 за время около 16 ч, составил бы, примерно, 6,5 м^3, масса — 2,4 т, а энергопотребление — 204 кВт. Как следует из приведённых данных, использование штатных корабельных средств позволяет существенно снизить массогабаритные характеристики установки для процесса нормализации, но при этом повышается её энергопотребление. Указанные предложения так и не были реализованы на практике.

Второе направление исследований включает группу работ по поиску средств нормализации воздушной среды после пожара, выполненных в связи с внедрением системы объёмного пожаротушения с использованием хладона 227еа, отличающегося от хладона 114В2 по физико-химическим характеристикам. Это привело к тому, что помимо задач очистки воздуха при нормализации пришлось решать также и задачу снятия избыточного давления, создаваемого подачей огнегасителя.

В исследованиях АО «СПМБМ «Малахит», проведённых в 2005 и 2019 годах, с учётом ранее полученных результатов, процесс нормализации воздушной среды предполагалось осуществлять путём использования средств очистки воздуха в комплексе с другими имеющимися или вновь разработанными корабельными средствами. В ходе работ, выполненных бюро в 2005 году, помимо специальных средств очистки воздуха, были подробно рассмотрены возможности общекорабельных систем: водоотливной, воздуха высокого давления, вентиляции и кондиционирования. В качестве наиболее эффективного способа нормализа-

ции воздушной среды был принят комбинированный способ удаления загрязнённого воздуха штатным компрессором ВВД за борт и восполнения относительно чистым воздухом из запасов системы ВВД до достижения содержания вредных веществ не выше уровней максимально допустимых концентраций (для времени воздействия от 1 до 2 ч). Затем предполагалась доочистка воздуха по замкнутому циклу в штатных или специальных фильтрах очистки воздуха.

Сравнительный анализ результатов, полученных в ходе проработки, показывает, что осуществление процесса нормализации воздушной среды с помощью системы для сброса загрязнённой воздушной среды за борт совместно со средствами очистки воздуха по сравнению, например, с абсорбционными методами с использованием жидких поглотителей, при близких значениях объёма, существенно снижает массу дополнительно размещаемых на корабле средств.

Вариант нормализации, рассмотренный АО «СПМБМ «Малахит», из-за ограниченных возможностей системы ВВД, применим только к отсекам объёмом до 500 м^3 (это является основным недостатком рассматриваемого метода). Поэтому оценки массогабаритных характеристик комплекса устройств для нормализации атмосферы помещения в 1000 м^3 могут носить только гипотетический характер. С учётом доработок общий объём комплекса устройств составил бы около 19 м^3, масса — до 14 т, а энергопотребление — 200 кВт.

В 2019 году специалистами АО «СПМБМ «Малахит» была рассмотрена возможность создания комплекса устройств, позволяющего проводить нормализацию атмосферы в помещениях объёмом не менее 1000 м^3 при условии ограниченного количества сжатого воздуха из системы ВВД и при сохранении ранее достигнутых массогабаритных характеристик. Предложенная схема нормализации воздушной среды включала следующие процессы: вентилирование, сжатие, охлаждение, доочистка от хладона, доочистка от оксида углерода и других примесей. В разработанную схему вместо штатного компрессора дополнительно было предложено ввести турбокомпрессор, создающий избыточное давление до 0,6 МПа, турбодетандер (машина, устроенная подобно турбокомпрессору и позволяющая охлаждать газ при расширении с совер-

шением внешней работы), холодильную машину и ёмкости для сбора грязного хладона. Поскольку основные введённые элементы схемы являются вновь разрабатываемым оборудованием, определиться с массогабаритными характеристиками комплекса устройств можно лишь приблизительно, путём сравнения с устройствами-аналогами. Можно ожидать, что с учётом доработок общий объём комплекса устройств будет составлять около 17,6 м^3, масса — 13,3 т, а энергопотребление — 167 кВт.

Таким образом, к настоящему времени не разработано эффективных и приемлемых по массе и габаритам средств нормализации воздушной среды ПЛ после пожара в подводном положении при тушении объёмным способом с применением в качестве огнегасителя хладонов. Основным способом решения вопроса нормализации остаётся всплытие и вентилирование атмосферным воздухом.

1.2.3. Оценка возможности использования штатных корабельных технических средств для нормализации воздушной среды подводных лодок после пожара

На ПЛ ВМФ широко используется процесс обработки, передачи и хранения воздуха. Для этого предназначены ряд корабельных систем и средств: система снятия давления, система вентиляции и кондиционирования, система воздуха высокого давления, система регенерации и очистки воздуха и др. Перечисленные системы предназначены для обеспечения обитаемости и функционирования ПЛ в штатных условиях эксплуатации.

В 2017 году в рамках СЧ ОКР шифр «Паспортизация-ПМ» оценена принципиальная возможность использования штатных средств очистки воздуха (фильтров ФМШ с кассетами ФК-У2, фильтров ФМК с кассетами ФК-П и др.) для нормализации воздушной среды герметичных обитаемых объектов после пожара и пожаротушения системой САП (по компонентам газового состава). При этом штатные кассеты, используемые в составе фильтров или агрегата АОВ-2,5 (рисунок 1.12), для обеспечения эксплуатации в аварийных условиях, должны быть модернизирова-

ны по диапазону температур очищаемого воздуха, герметичности фильтров, составу шихты и качеству фильтровальной бумаги [8].

Существенным недостатком применения штатных средств очистки с кассетами ФК-У2 является низкая динамическая активность механической смеси ТУ 6–16–2128–86 (смесь купрамита ФП и катализатора К-4), применяемой в кассетах ФК-У2 и ФК-УФ. Так, для обеспечения очистки 2000 м^3, загрязнённой продуктами горения воздушной среды, необходимо использование 160 ед. кассет ФК-У2 с объёмом шихты порядка 1300 дм^3.



Рис. 1.12 — Агрегат АОВ-2,5

Это обусловлено тем, что в штатных условиях эксплуатации в воздушной среде до 80 % массы вредных веществ составляют углеводороды, в аварийных же условиях, после пожара и пожаротушения, содержится большое количество неорганических вредных веществ. Для эффективной адсорбции неорганических вредных веществ на активных углях требуется их модификации легирующими добавками, позволяющими увеличить суммарную динамическую активность в 30 и более раз [9].

Вместе с тем, применение кассет с модифицированным поглотителем в штатных условиях нецелесообразно в связи с существенным увеличением стоимости поглотителя и его токсичными свойствами.

Таким образом, использование штатных корабельных технических средств для нормализации воздушной среды ПЛ после пожара может быть целесообразно только на заключительном этапе нормализации для доочистки воздушной среды.

Выводы по главе 1

В отечественном современном кораблестроении задача нормализации воздушной среды на ПЛ после пожара и пожаротушения в подводном положении является актуальной и ей уделяется большое внимание. Проработки различных способов нормализации в подводном положении для военно-морских сил иностранных флотов и ВМФ выполнялись периодически на протяжении нескольких последних десятилетий.

Имеющиеся данные о параметрах воздушной среды после пожара и пожаротушения для ПЛ первых поколений могут использоваться при обосновании технических требований к перспективным средствам нормализации в качестве ориентиров. При этом целесообразно проведение новых модельных исследований состава воздушной среды после пожара и пожаротушения для проектируемых ПЛ в связи с применением новых материалов, оборудования и систем пожаротушения.

Разработанные до настоящего времени методы и устройства нормализации воздушной среды ПЛ после пожара и пожаротушения системами типа ЛОХ в подводном положении, не нашли практического применения ввиду их низкой эффективности и больших массы и габаритов. Основным способом решения вопроса нормализации остаётся всплытие и вентилирование атмосферным воздухом.

Использование штатных корабельных средств для нормализации воздушной среды ПЛ после пожара целесообразно только на заключительном этапе нормализации для доочистки воздушной среды. В связи со свойствами применяемых при их изготовлении материалов, они не могут полностью заменить специализированные средства очистки.

Вопросы нормализации воздушной среды в настоящее время практически могут быть решены применительно к объектам с системами САП в составе технологии КТУПБ. В связи с этим развитие и внедрение систем САП и технологии КТУПБ должно быть приоритетным.

2. Практические методы и устройства нормализации воздушной среды аварийного отсека

2.1. Общий метод нормализации параметров воздушной среды после пожара и пожаротушения в комплексной технологии управления пожарной безопасностью и устройство для его осуществления

Общий метод нормализации параметров воздушной среды после пожара и пожаротушения в комплексной технологии управления пожарной безопасностью и устройство для его осуществления относится к области живучести объектов, пожаробезопасности, химической безопасности, обитаемости, химической технологии и может быть применён при ликвидации последствий возгораний и пожаров в герметичных помещениях обитаемых космических, подводных и подземных объектов, таких как орбитальные станции, подводные лодки, бункеры и др., где предусматривается применение систем пожаротушения азотом, аргоном или другими инертными газами и их смесями, а также инергеном, порошками, тонкораспыленной водой, *Novec* 1230 и другими, не содержащими хладоны, огнегасителями.

Предлагаемый метод реализуется следующим образом: снижение давления в аварийном помещении, получившегося в результате пожара и пожаротушения, до нормального, производится путём свободного перетока ГВС или с помощью побудителя расхода, в другое — неаварийное герметичное помещение по трубопроводу и, далее, через узел нормализации, производящий очистку от дыма, аэрозолей, ВХВ, окисление оксида углерода до диоксида углерода и нормализацию температуры ГВС. Поступившая через узел нормализации в неаварийное герметичное помещение ГВС очищается от диоксида углерода штатной системой регенерации воздуха, которая, кроме того, добавляет необходимое количество кислорода. Давление ГВС в неаварийном помещении воз-

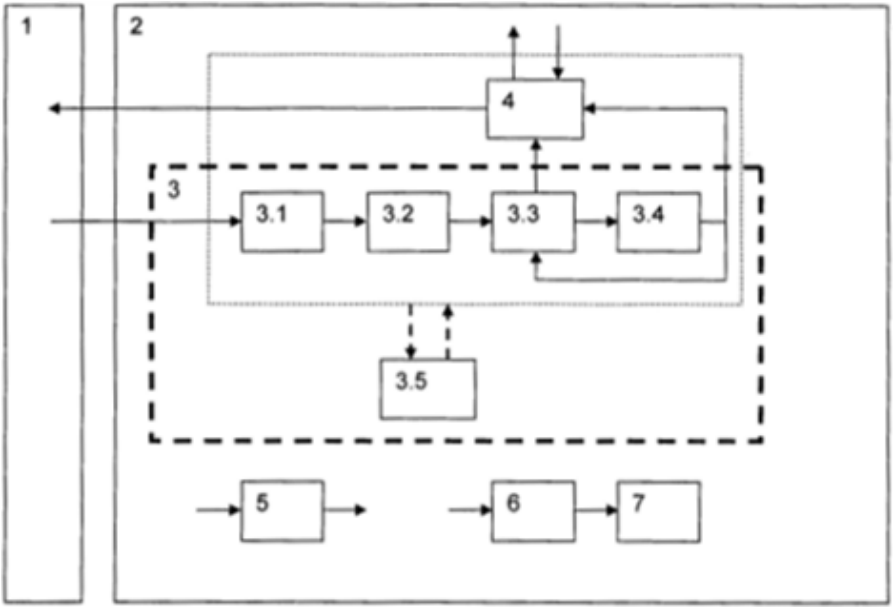
растает, поэтому его избыток компримируется компрессором в баллоны ВВД. Когда давление в аварийном помещении достигает нормального значения или близкого к нему, включением побудителя расхода производится либо забор ГВС по трубопроводу из аварийного помещения и, после прохождения ею узла нормализации по всем параметрам, кроме содержания диоксида углерода и кислорода, ГВС возвращается обратно в аварийное помещение через другой трубопровод, либо производится возврат в аварийное помещение из неаварийного полностью очищенной ГВС. Процесс нормализации ГВС аварийного помещения продолжается до достижения заданного уровня её параметров. Описанный способ нормализации параметров ГВС эффективен после пожара и пожаротушения азотом, аргоном, инергеном, тонкораспыленной водой, сухой водой, порошками, смесями инертных газов и другими, не содержащими хладоны, огнегасителями.

Устройство для нормализации параметров ГВС герметичных помещений обитаемых объектов после пожара и пожаротушения включает узел нормализации, блок управления расходом ГВС, штатную систему регенерации, переборочные трубопроводы, компрессор, баллоны ВВД.

Узел нормализации в общем случае состоит из блока нормализации температуры ГВС, блока очистки ГВС, блока теплообмена, блока термокаталитической очистки ГВС, блока контроля и управления технологическим процессом, воздуховодов. Структурная схема устройства нормализации параметров воздушной среды после пожара и пожаротушения в перспективной комплексной технологии управления пожарной безопасностью приведена на рисунке 2.1.

В качестве блока нормализации температуры ГВС целесообразно применить теплообменный аппарат с жидким теплоносителем. Кроме того, часть тепла может сниматься при адиабатическом расширении нормализуемой ГВС при её выходе из аварийного отсека с повышенным давлением в другой герметичный отсек с нормальным давлением ГВС через блок нормализации температуры. Конструктивно блок частично или полностью может быть вне узла нормализации.

Блок очистки ГВС конструктивно может быть выполнен как фильтр или блок фильтров, состоящий из корпуса и сменных кассет, включаю-



1 — Герметичное аварийное помещение, ГВС которого подлежит нормализации; 2 — Герметичное неаварийное помещение, в котором размещён узел нормализации; 3 — Узел нормализации (3.1 — Блок нормализации температуры ГВС; 3.2 — Блок очистки ГВС; 3.3 — блок теплообмена; 3.4 — Блок термокаталитической очистки ГВС; 3.5 — Блок контроля и управления технологическим процессом); 4 — Блок управления расходом ГВС; 5 — Штатная система регенерации; 6 — Компрессор; 7 — Баллоны высокого давления (воздуховоды и трубопроводы условно не показаны)

Рис. 2.1 — Структурная схема устройства нормализации параметров воздушной среды после пожара и пожаротушения в комплексной технологии управления пожарной безопасностью

щих противоаэрозольные полотна для грубой и тонкой очистки из полиэстера, стекловолокна или других материалов, активированный уголь, а также поглотители кислых газов на основе активных углей, а равно силикагелей, алюмогелей, цеолитов или др. носителей.

Блок теплообмена включает электрический нагреватель ГВС и охладитель очищенной ГВС или рекуперационный теплообменник.

В качестве блока термокаталитической очистки ГВС используется фильтр или блок фильтров, состоящий из корпуса и сменных кассет, включающих низкотемпературный катализатор окисления оксида углерода с температурой функционирования, как правило, не более 200 °С.

Для блока контроля и управления технологическим процессом очистки ГВС используются средства как автоматического, так и ручного управления, необходимые средства измерения параметров ГВС и устройства нормализации (датчики температуры, давления, расходомеры, манометры, амперметры, индикаторы), средства преобразования сигналов первичных преобразователей в сигналы управления. Конструктивно блок частично или полностью может быть объединён с другими блоками узла нормализации.

В качестве блока управления расходом ГВС используется конструкция, включающая в себя: побудитель расхода ГВС, вентилятор или блок вентиляторов; распределительное устройство; арматуру редуцирования — газовый редуктор, либо регулируемый дроссель, или распределительный блок нерегулируемых дросселей. Конструктивно блок частично или полностью может быть объединён с блоками узла нормализации.

Нормализация параметров ГВС осуществляется следующим образом (рисунок 2.1): ГВС, подлежащая нормализации, поступает из аварийного помещения 1 по трубопроводу путём свободного перетока или с помощью побудителя расхода блока управления расходом ГВС 4 в узел нормализации 3, где производится нормализация её температуры на блоке 3.1, отчистка от аэрозолей и других продуктов горения (кроме оксида и диоксида углерода) на блоке очистки ГВС 3.2, нагрев в блоке теплообмена 3.3, до температуры, необходимой для требуемой эффективности очистки ГВС от оксида углерода, которая далее производится в блоке термокаталитической очистки ГВС 3.4, далее непосредственно, либо через блок теплообмена 4.3, если требуется её охлаждение, направляется блоком управления расходом ГВС 4 в неаварийное помещение 2, где производится её нормализация по параметрам содержания диоксида углерода и кислорода штатной системой регенерации 5 и компримируется компрессором 6 в баллоны ВВД 7, а после того как давление в аварийном помещении достигает нормальных значений или близких к ним, об-

ратно в аварийное помещение 1, образуя замкнутый цикл нормализации, продолжающийся до достижения заданного уровня параметров ГВС. В процессе функционирования узла нормализации 3 и блока управлением расходом ГВС 4 осуществляется контроль и управление режимами их функционирования блоком контроля и управления технологическим процессом 3.5 и (или) оператором.

Описанный способ нормализации параметров газовоздушных сред герметичных помещений обитаемых объектов и устройство для его осуществления, позволяют:

— производить нормализацию ГВС после применения пожаротушения азотом, аргоном или другими инертными газами и их смесями, а также инергеном, порошками, тонкораспыленной водой и сухой водой;

— очищать воздух от большого числа продуктов горения, находящихся в ГВС в высокой концентрации, опасных для жизни и здоровья людей;

— производить нормализацию ГВС по температуре.

Результаты исследований, приведённые в параграфе, зарегистрированы в Федеральной службе по интеллектуальной собственности [10].

2.2. Метод и устройство нормализации воздушной среды аварийного отсека после пожара и пожаротушения системой азотного пожаротушения при снятии избыточного давления

Первый практический метод и техническое средство для его осуществления разработаны в ходе выполнения СЧ ОКР «Создание герметичного узла очистки воздуха» шифр «Узел ПМ», в рамках которой в 2020 году завершено создание узла очистки воздуха герметичного АСДЕ.061438.001 ТУ (комплекса УОВ). Изделия в количестве трёх комплектов установлены на одном из действующих современных заказов [11, 12].

Разработчик технического задания и Головной исполнитель работы АО «ЦКБ МТ «Рубин».

Разработчик изделия: АО «АСМ». Главный конструктор — начальник отдела разработки средств очистки ГВС Кича М. А. Научный

руководитель — кандидат технических наук, исполнительный директор Петров В. А.

Председатель межведомственной комиссии — начальник отдела АО «ЦКБ МТ «Рубин» Михеев В. А.

Разработанный метод нормализации воздушной среды аварийного отсека заключается в регулируемом снятии давления аварийного помещения путём подачи из него загрязнённой продуктами горения воздушной среды в смежное неаварийное помещение через узел очистки воздуха, в котором ГВС последовательно очищается от вредных веществ:

— аэрозолей с жидкими и твёрдыми частицами;

— паро- и газообразных вредных веществ;

— оксида углерода.

Принципиальная схема УОВ, реализующего метод нормализации воздушной среды, приведена на рисунке 2.2.

УОВ состоит из четырёх функциональных блоков (рисунки 2.2 и 2.3):

— регулирующая арматура УОВ-РА, обеспечивающая управление расходом ГВС через УОВ;

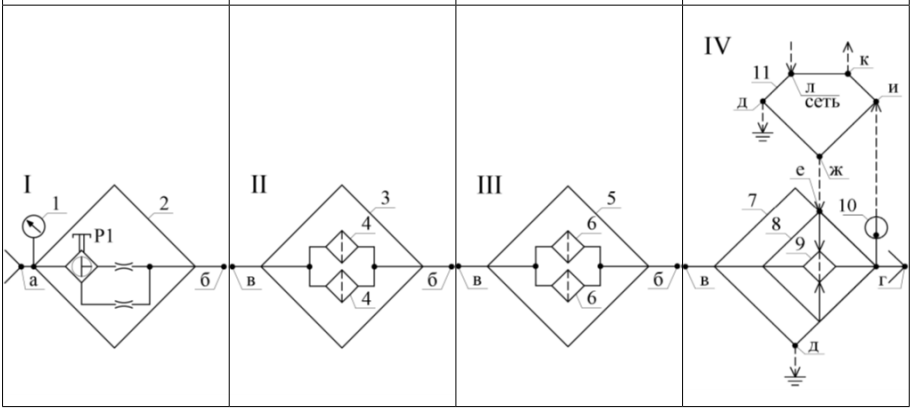
— фильтр очистки воздуха от аэрозолей УОВ-ФА, обеспечивающий очистку ГВС от аэрозолей с жидкими и твёрдыми частицами;

— фильтр очистки воздуха от ВХВ УОВ-ВХВ, обеспечивающий очистку ГВС от паро- и газообразных вредных веществ;

— блок термокаталитической очистки воздуха УОВ-ФТК, обеспечивающий очистку ГВС от оксида углерода.

Перепуск очищаемой воздушной среды между аварийным помещением и помещением, оборудованным УОВ, осуществляется в процессе выравнивания давления между ними через трубопровод снятия давления (ТСД). Избыточное давление в аварийном помещении создаётся в результате пожара и работы системы пожаротушения САП.

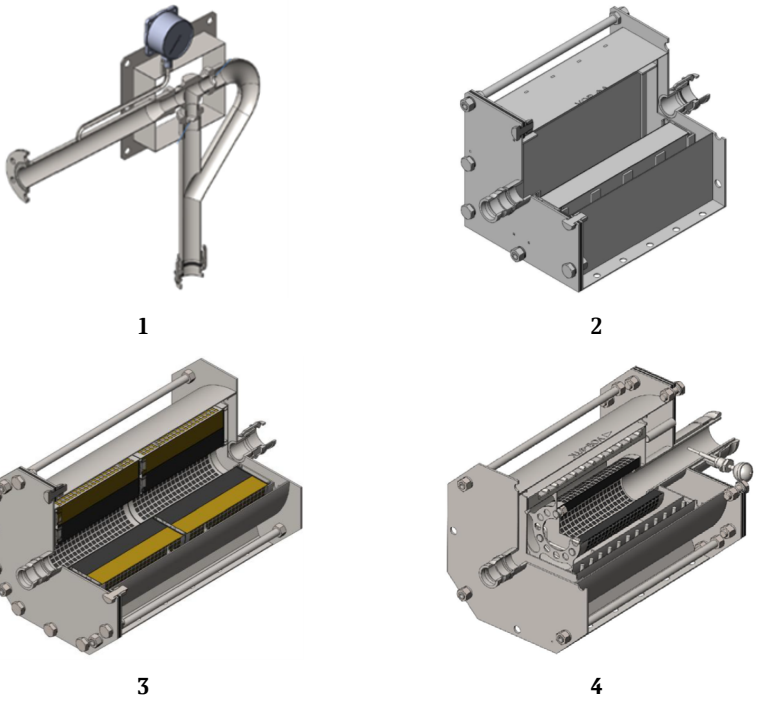
Обеспечение, поддержание и регулирование расхода очищаемой воздушной среды через УОВ осуществляется с помощью регулирующей арматуры УОВ-РА при наличии избыточного давления в ТСД на входе в УОВ. Контроль избыточного давления осуществляется по манометру входного давления МП100Кр, установленному на входе УОВ-РА.

Узел очистки воздуха герметичный УОВ			
Регулирующая арматура с манометром входного давления	Фильтр очистки воздуха от аэрозолей	Фильтр очистки воздуха от ВХВ	Блок термокаталитической очистки воздуха от оксида углерода
УОВ-РА	УОВ-ФА	УОВ-ВХВ	УОВ-ФТК
			

1 — Манометр показывающий корабельный (МП 100Кр);
2 — Регулирующая арматура (УОВ-РА);
3 — Корпус фильтра очистки воздуха от аэрозолей (УОВ-ФА);
4 — Кассета фильтра очистки воздуха от аэрозолей (УОВ-ФКА);
5 — Корпус фильтра очистки воздуха от ВХВ (УОВ-ВХВ);
6 — Кассета фильтра очистки воздуха от ВХВ (УОВ-ФКВ);
7 — Корпус фильтра термокаталитической очистки (УОВ-ФТК);
8 — Кассета фильтра термокаталитической очистки (УОВ-ФКТ);
9 — Нагреватель электрический (УОВ-НЭ).
10 — Термопреобразователь сопротивления (ТСП/1–8040);
11 — Пульт управления (УОВ-ПУ)

а — точка подключения входного патрубка УОВ-РА к фланцу выпуска ТСД;
б, в — точки подключения выходных и входных патрубков к соединительным воздуховодам (для переносного исполнения, регулирующая арматура и воздуховоды снабжаются быстросъёмными заглушками, для стационарного — глухими демонтируемыми фланцами);
г — точка выпуска очищенной воздушной среды (корпус УОВ-ФТК снабжается быстросъёмной заглушкой);
д — клемма под винт заземления;
е — разъём электропитания УОВ-НЭ;
ж — разъём электроснабжения УОВ-НЭ;
и — разъём для подключения ТСП/1–8040 к УОВ-ПУ;
к — разъём для подключения резервного канала ТСП/1–8040 к внешним системам контроля;
л — разъём для подключения к сети заказа

Рис 2.2 — Принципиальная схема УОВ



1 — Регулирующая арматура (УОВ-РА); 2 — Фильтр очистки воздуха от аэрозолей (УОВ-ФА); 3 — Фильтр очистки воздуха от ВХВ (УОВ-ВХВ); 4 — Фильтр блока термокаталитической очистки воздуха от оксида углерода (УОВ-ФТК)

Рис. 2.3 — Внешний и внутренний вид функциональных блоков УОВ

Соединение фильтров УОВ между собой и подключение их к регулирующей арматуре осуществляется через соединительные воздуховоды.

Принудительный нагрев очищаемой воздушной среды, необходимый для повышения эффективности очистки и стабилизации процесса, осуществляется установленным в фильтр УОВ-ФТК электрическим нагревателем УОВ-НЭ при подаче на него электропитания. Управление принудительным нагревом (подача и снятие питания) осуществляется с помощью пульта управления УОВ-ПУ по данным термопреобразова-

теля сопротивления ТСП/1–8040, установленного на выходе фильтра УОВ-ФТК.

Электропитание на нагреватель подаётся от пульта управления по силовому жгуту. Значение параметра «Температура ГВС в фильтре» измеряется термопреобразователем и передаётся на пульт управления по сигнальному жгуту.

В состоянии готовности к применению УОВ загерметизирован — клапан УОВ-РА закрыт, на патрубки с быстроразъёмными соединениями установлены герметичные заглушки. Включение и выключение УОВ осуществляется вручную на месте его эксплуатации.

Основные технические, аэродинамические и энергетические характеристики УОВ приведены в таблице 2.1 и на рисунке 2.4.

Регулирующая арматура (УОВ-РА) предназначена для обеспечения, поддержания и регулирования расхода очищаемой ГВС через УОВ (производительности УОВ). Принцип работы арматуры заключается в прохождении потока очищаемой ГВС через дроссель (дроссели) с фиксированной площадью проходного сечения (максимальной пропускной способностью при заданном перепаде давления). Наличие двух дросселей обеспечивает три основных режима работы [13].

Фильтр очистки воздуха от аэрозолей (УОВ-ФА) предназначен для очистки ГВС от аэрозолей с жидкими и твёрдыми частицами. Метод очистки — механическая фильтрация на стекловолокнистых материалах.

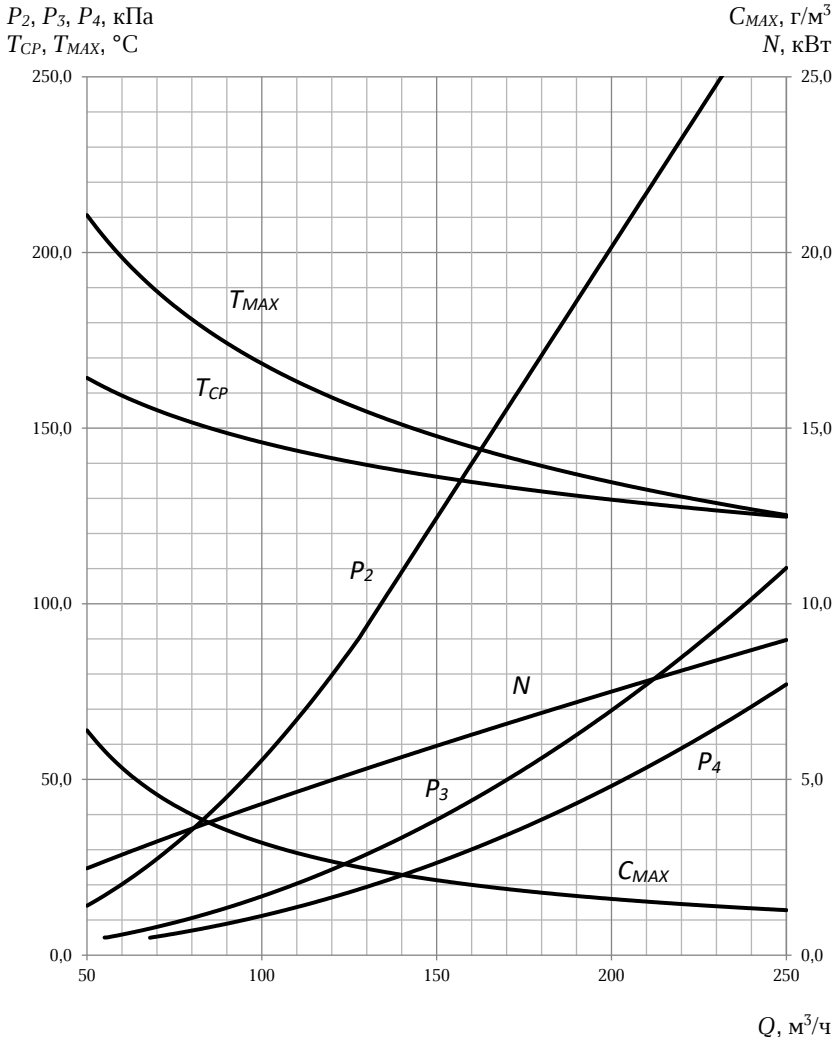
Фильтр очистки воздуха от ВХВ (УОВ-ВХВ) предназначен для очистки ГВС от ароматических углеводородов, фтористого водорода, галогенов, цианистого водорода, оксидов азота и фосгена. Метод очистки — сорбция и хемосорбция на поглотителях с угольной основой, в том числе на активных углях, модифицированных фуллеренами. Применение активных углей, модифицированных фуллеренами, позволяет производить глубокую очистку ГВС в условиях высокой температуры и влажности [14–18].

Блок термокаталитической очистки воздуха от оксида углерода (фильтр и пульт управления) (УОВ-ФТК) предназначен для нагрева и очистки ГВС от оксида углерода. Метод очистки — каталитическое

Таблица 2.1

Основные технические характеристики УОВ

Наименование параметра	Значение параметра
1. Номинальная производительность по воздуху, $м^3/ч$	200 ± 20
2. Действительная производительность по воздуху, $м^3/ч$	от 40 до 250
3. Аэродинамическое сопротивление, кПа	
— режим 1 (прогрев)	$200\ ^{+35}_{-20}$
— режим 2	$200\ ^{+35}_{-20}$
— режим 3	$70\ ^{+15}_{-15}$
— режим 4	$50\ ^{+10}_{-10}$
4. Ориентировочная концентрация компонента на выходе, $мг/м^3$, не более	
— аэрозоли (твёрдые и жидкие от 0,01 до 10 мкм)	1,5
— ароматические углеводороды (в пересчёте на бензол)	0,3
— галогены (в пересчёте на хлористый водород)	6
— оксиды азота (в пересчёте на диоксид)	1,5
— оксид углерода	15
— фосген	0,03
— фтористый водород	0,6
— цианистый водород	0,9
5. Температура очищенной ГВС, °С	
— при номинальной производительности	130 ± 30
— при минимальной действительной производительности	160 ± 60
6. Мощность электропотребления максимальная, кВт, не более	11
7. Масса снаряжённого изделия без упаковки и воздуховодов, кг, не более	320
8. Назначенный ресурс по объёму очищаемой ГВС (без замены сменных фильтрующих кассет), $м^3$	2000



Q — производительность по воздуху; P_2, P_3, P_4 — избыточное давление на входе (режимы 2–4); T_{CP} — средняя температура ГВС на выходе; T_{MAX} — максимальная температура ГВС на выходе; N — мощность тепловыделения; C_{MAX} — максимально допустимый порог концентрации оксида углерода на входе

Рис. 2.4 — Аэродинамические и энергетические характеристики УОВ

окисление до диоксида углерода на гранулированных палладиевых катализаторах (γ-Al_2O_3).

Применение описанного метода обеспечивает очистку ГВС аварийного помещения с параметрами ГВС, указанными в таблице 2.2.

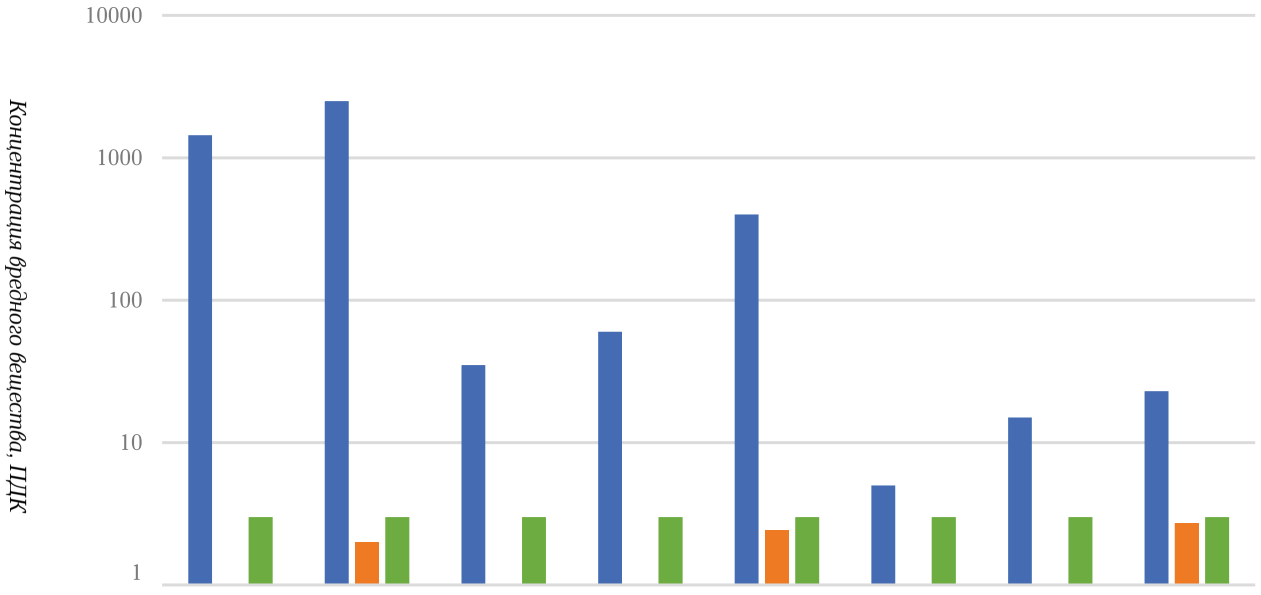
Таблица 2.2

Параметры ГВС, очищаемой УОВ

Наименование параметра	**Значение параметра**
1. Температура, °С	от 20 до 70
2. Относительная влажность, %	от 40 до 70
3. Давление избыточное, кПа	от 3,75 до 235
4. Максимальная концентрация компонента, мг/м^3	
— аэрозоли (твёрдые и жидкие от 0,01 до 10 мкм)	720
— ароматические углеводороды (в пересчёте на бензол)	170
— галогены (в пересчёте на хлористый водород)	50
— оксиды азота (в пересчёте на диоксид)	20
— оксид углерода	от 1400 до 6000
— фосген	0,05
— фтористый водород	2
— цианистый водород	5

На рисунке 2.5 показаны результаты модельных экспериментальных исследований эффективности УОВ по очистке воздушной среды при моделировании её состава после пожара и пожаротушения по отдельным веществам. Значения начальных и конечных концентраций веществ на диаграмме приведены в долях ПДК, установленных для ПЛ.

Представленный метод и устройство для его осуществления позволяют решить отдельные вопросы нормализации воздушной среды аварийного отсека после пожара и пожаротушения, определённые в параграфе 2.1 настоящей монографии.



	Аэрозоли (твёрдые и жидкие от 0,01 до 10 мкм)	Ароматические углеводороды (в пересчёте на бензол)	Галогены (в перечете на хлористый водород)	Оксиды азота (в пересчёте на диоксид азота)	Оксид углерода	Фосген	Фтористый водород	Цианистый водород
Исходная	1440	2500	35	60	400	5	15	23
При очистке	0,1	2	0,1	0,2	2,4	0,5	0,5	2,7
Нормы сброса	3	3	3	3	3	3	3	3

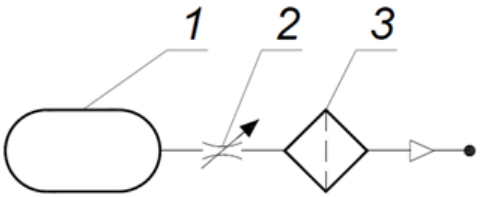
Рис. 2.5 — Результаты модельных экспериментальных исследований эффективности УОВ по очистке воздушной среды

2.3. Основные технические решения и характеристики функциональных блоков узла очистки воздуха герметичного

2.3.1. Регулирующая арматура

Средства регулируемого снятия давления предназначены для снижения давления воздушной среды до требуемого уровня и обеспечения заданной производительности по воздуху при снятии давления.

Указанные средства могут применяться для обеспечения работы локальных средств очистки воздуха (СОВ) объектов, в которых очищаемая воздушная среда находится под избыточным давлением, а её переток осуществляется за счёт перепада давления между объектом защиты и помещением, в котором установлены СОВ (рисунок 2.6).



1 — объект, в котором очищаемая воздушная среда находится под избыточным давлением; 2 — средство регулируемого снятия давления; 3 — средство очистки воздуха

Рис. 2.6 — Схема локальной очистки воздуха

Это обусловлено тем, что аэродинамическое сопротивление фильтров очистки воздуха невелико и, как правило, характеризуется величиной от 0,5 до 6 кПа, тогда как начальное избыточное давление в объекте может достигать 220 кПа, например, при использовании системы САП. При таком перепаде давления производительность СОВ будет существенно превышать номинальную, что выходит за рамки допустимых условий их эксплуатации.

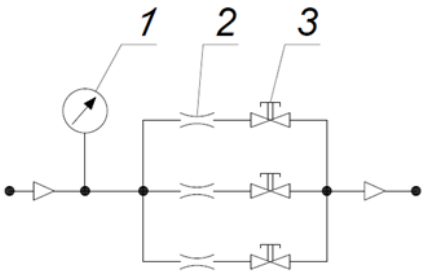
Для регулируемого снятия давления в самых различных областях промышленности широко применяются газовые редукторы и регулято-

ры расхода газа. Однако применение данных средств в рассматриваемых объектах имеет ряд существенных недостатков:

— ограниченный срок службы, обусловленный потерей эластичности основного элемента — мембраны;

— низкая стойкость к воздействию аэрозолей при их наличии в очищаемой воздушной среде в значительных количествах.

Для решения данной проблемы наиболее предпочтительным является использование регулирующей арматуры, принципиальная схема которой приведена на рисунке 2.7.



1 — манометр избыточного давления; 2 — дроссель; 3 — клапан

Рис. 2.7 — Принципиальная схема регулирующей арматуры

В предлагаемой конструкции снижение давления между входом и выходом изделия обеспечивается дросселем (дросселями) с фиксированной площадью проходного сечения (пропускной способностью при заданном перепаде давления). Площадь проходного сечения дросселя устанавливается расчётным способом и уточняется при калибровке изделия на предприятии-изготовителе (путём подбора из комплекта сменных элементов).

При использовании двух дросселей с различной площадью проходного сечения может быть реализовано до трёх режимов снятия давления, при трёх — до семи, а при четырёх — до 15-ти. Выбор режима осуществляется в зависимости от показаний манометра избыточного давления вручную оператором или автоматически пультом управления.

В качестве основной технологии регулируемого снижения давления при разработке комплекса УОВ принята технология с использованием регулирующей арматуры с двумя дросселями, одним трехходовым краном с Т-портом и манометром показывающим корабельным МП-100Кр-250–2,5.

Применение данной технологии обеспечивает требуемую производительность при снятии давления от 40 до 250 $м^3$/ч, подтверждённую на этапе разработки расчётом, а в последствие испытаниями макета комплекса УОВ. При этом, продолжительность снятия давления при свободном объёме аварийного помещения 1000 $м^3$ составляет:

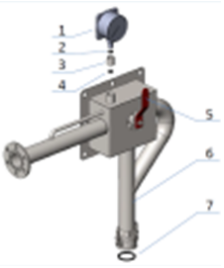
— при снимаемом давлении 195 кПа — 12:50 чч:мм;

— при снимаемом давлении 65 кПа — 4:25 чч:мм.

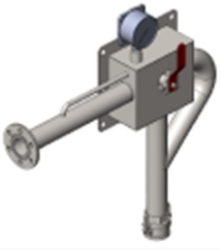
Регулирующая арматура (УОВ-РА) предназначена для обеспечения, поддержания и регулирования расхода очищаемой ГВС через комплекс УОВ (производительности УОВ). Принцип работы арматуры заключается в прохождении потока очищаемой ГВС через дроссель (дроссели) с фиксированной площадью проходного сечения (максимальной пропускной способностью при заданном перепаде давления). Наличие двух дросселей обеспечивает три основных режима работы.

Внешний вид и устройство арматуры УОВ-РА показан на рисунке 2.8.

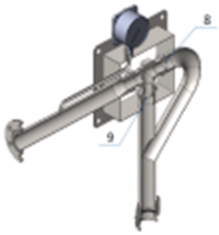
Каркас УОВ-РА моноблочный из маломагнитной нержавеющей стали, имеет корпус распределительного устройства прямоугольной формы, на фронтальной стороне которого размещена лицевая панель с рукояткой распределительного клапана, а на верхней стороне устанавливается манометр входного давления МП-100Кр. Герметичность установки манометра в требуемой ориентации, а также защита его от аэрозолей очищаемой ГВС обеспечивается с помощью штуцера, уплотнительного кольца и фильтрующей прокладки. В выходных патрубках распределительного клапана (кран шаровый Т-порт) установлены дроссели предельного и рабочего давлений. Каркас имеет входной патрубок с фланцевым соединением и выходной патрубок с фланцевым или быстроразъёмным соединением.



2.8.1 Схема сборки



2.8.2 Внешний вид

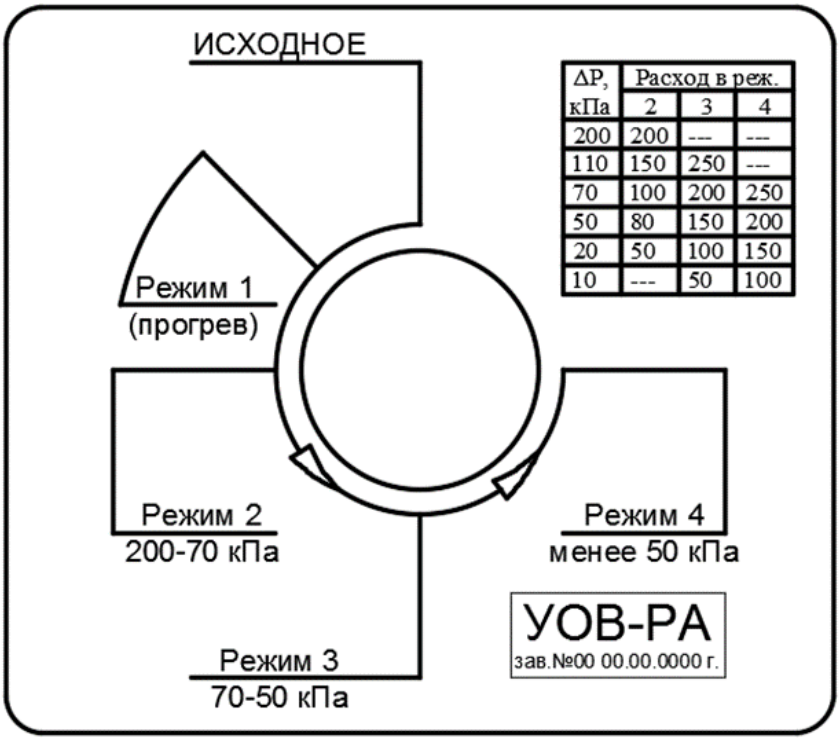


2.8.3 Конструкция

Условные обозначения:

Поз.	Наименование	Назначение	Примечание
1	Манометр входного давления МП-100Кр	Визуальный контроль измеряемого параметра для своевременного переключения режимов сброса давления	
2	Уплотнительное кольцо	Герметичная установка манометра в требуемой ориентации и защита манометра от аэрозолей очищаемой ГВС	Подлежит плановой замене из состава ЗИП-О
3	Штуцер		
4	Фильтрующая прокладка		Подлежит плановой замене из состава ЗИП-О
5	Рукоятка регулирующей арматуры	Ручное переключение режимов сброса давления поворотом рукоятки в требуемое и указанное на лицевой панели положение	В составе каркаса
6	Каркас	Обеспечение возможности соединения составных частей и элементов регулирующей арматуры в единую конструкцию и присоединения УОВ-РА к трубопроводу снятия давления и к УОВ-ФА (через воздуховод)	
7	Уплотнительное кольцо (выходного патрубка)	Обеспечение герметичности при соединении патрубка с металлорукавом (только для переносного исполнения УОВ)	Подлежит плановой замене из состава ЗИП-О
8	Дроссель предельного давления	Обеспечение номинальной производительности при избыточном давлении 200 кПа	В составе каркаса
9	Дроссель рабочего давления	Обеспечение номинальной производительности при избыточном давлении 70 кПа	В составе каркаса

Рис. 2.8 — Внешний вид и устройство арматуры УОВ-РА



ΔP, кПа	Расход в реж. 2	3	4
200	200	---	---
110	150	250	---
70	100	200	250
50	80	150	200
20	50	100	150
10	---	50	100

Рис. 2.9 — Внешний вид панели арматуры УОВ-РА

Входной патрубок УОВ-РА соединён с выпуском ТСД, герметичность соединения обеспечивается прокладкой из паронита. Выходной патрубок УОВ-РА через воздуховод соединён с входным патрубком фильтра УОВ-ФА

Принцип работы УОВ-РА заключается в прохождении потока очищаемой ГВС через определённый режимом сброса давления дроссель (дроссели) с фиксированной площадью проходного сечения (максимальной пропускной способностью при заданном перепаде давления).

Режимы устанавливаются путём поворота рукоятки регулирующей арматуры УОВ-РА против часовой стрелки в соответствующее положение. На лицевой панели УОВ-РА (рисунок 2.9) обозначено пять положений рукоятки регулирующей арматуры:

— исходное положение «ИСХОДНОЕ» — клапан УОВ-РА закрыт;
— «Режим 1 (прогрев)» — клапан УОВ-РА открыт частично;
— «Режим 2» — клапан УОВ-РА открыт (направление потока очищаемой ГВС — через дроссель предельного давления);
— «Режим 3» — клапан УОВ-РА открыт (направление потока очищаемой ГВС — через дроссель рабочего давления);
— «Режим 4» — клапан УОВ-РА открыт (направление потока очищаемой ГВС — через дроссели предельного и рабочего давлений).

Режим 1 (прогрев) применяется при включении УОВ для обеспечения пониженной производительности, необходимой для оперативного прогрева фильтра УОВ-ФКТ до рабочей температуры.

Режимы 2–4 применяются в соответствии с аэродинамическими характеристиками УОВ. Для обеспечения оптимальной производительности УОВ и минимального времени сброса давления при значениях избыточного давления на входе УОВ:

— от 200 до 70 кПа — применяется «Режим 2»;
— от 70 до 50 кПа — применяется «Режим 3»;
— менее 50 кПа — применяется «Режим 4».

2.3.2. Фильтр очистки воздуха от аэрозолей

Для очистки от аэрозолей (пыли и туманов) используют различные методы — сухие, мокрые и электрические. В основе работы сухих аппаратов лежат гравитационные, инерционные и центробежные механизмы осаждения или фильтрационные механизмы. В мокрых пылеуловителях осуществляется контакт запылённых газов с жидкостью. При этом осаждение происходит на капли, на поверхность газовых пузырей или на плёнку жидкости. В электрофильтрах отделение заряженных частиц аэрозоля происходит на осадительных электродах.

Выбор метода и аппарата для улавливания аэрозолей в первую очередь зависит от дисперсного состава пылевых частиц (см. таблицу 2.3). Например, сухие способы очистки эффективны для улавливания крупных частиц (более 5 мкм), мокрые — для улавливания тонкодисперсных пылей или туманов [19, 20].

Таблица 2.3

Аппараты улавливания аэрозолей для различного размера частиц очищаемой воздушной среды

Аппараты	Размер частиц, мкм
Пылеосадительные камеры	От 40 до 1000
Циклоны диаметром от 1 до 2 м	От 20 до 1000
Циклоны диаметром 1 м	От 5 до 1000
Скрубберы	От 20 до 100
Тканевые фильтры	От 0,9 до 100
Волокнистые фильтры	**От 0,05 до 100**
Электрофильтры	**От 0,01 до 10**

При фильтровании воздушная среда проходит через фильтрующие материалы, пропускающие газ, но задерживающие аэрозольные частицы. Фильтры служат для улавливания весьма тонких фракций аэрозолей (менее 1 мкм) и характеризуются высокой эффективностью.

На эффективность фильтрации основное влияние оказывают диаметр частиц, диаметр волокон, скорость фильтрации. Труднее всего улавливаются частицы от 0,1 до 0,5 мкм.

Фильтрующие перегородки противоаэрозольных фильтров весьма разнообразны по своей структуре, но в основном они состоят из волокнистых или зернистых элементов и условно подразделяются на следующие типы [21]:

— гибкие пористые перегородки;

— тканевые материалы из природных, синтетических или минеральных волокон;

— нетканые волокнистые материалы (войлоки, клеёные и иглопробивные материалы, бумага, картон, волокнистые маты);

— ячеистые листы (губчатая резина, пенополиуретан, мембранные фильтры);

— полужёсткие пористые материалы — слои волокон, стружка, вязаные сетки, расположенные на упорных устройствах или зажатые между ними;

— жёсткие пористые перегородки — зернистые материалы (пористая керамика или пластмасса, спечённые или спрессованные порошки металлов, пористые стёкла, углеграфитовые материалы и др.);

— волокнистые материалы (сформированные слои из стеклянных и металлических волокон);

— металлические сетки и перфорированные листы.

Использование волокнистых материалов в качестве специальных фильтров для улавливания аэрозольных частиц практически наиболее выгодно.

Фильтры для очистки воздуха, в зависимости от эффективности действия — фильтрующей способности, разделяют на 3 класса (таблица 2.4):

— грубой очистки (улавливают частицы размером более 10 мкм);

— тонкой очистки (диаметр улавливаемых частиц более 1 мкм);

— «абсолютные» фильтры высокой очистки.

Фильтры тонкой очистки (высокоэффективные или абсолютные фильтры) предназначены для улавливания с очень высокой эффективностью (более 99%) в основном субмикронных частиц из воздушной среды с низкой входной концентрацией (менее 1 мг/м^3) и скоростью фильтрования менее 10 см/с. Фильтры применяют для улавливания особо токсичных частиц, а также для ультратонкой очистки воздушной среды.

Из-за присутствия в воздушной среде аэрозолей широкого дисперсного состава от 0,01 до 10 мкм и высокой концентрации порядка 720 мг/м^3 необходима ступенчатая очистка от аэрозолей на фильтрующих материалах (если доля частиц менее 0,05 мкм составляет не более 0,2% от общего количества аэрозолей) или использование электрофильтра (если доля частиц менее 0,05 мкм составляет более 0,2% от общего количества аэрозолей).

В качестве предфильтра может быть использована фильтровальная кассета или картриджный фильтр (патронный), предназначенные для

Таблица 2.4

Классификация фильтров и области их применения

Степень очистки	Класс фильтра	Эффективность очистки	Применение
Грубая	*G*1	менее 65	Фильтры грубой очистки, используемые в помещениях и процессах с низкими требованиями к чистоте воздуха. Предварительная очистка в системах вентиляции и центрального кондиционирования. Применяются при эксплуатации компрессоров, холодильных машин в условиях большой запылённости.
	*G*2	65–80	
	*G*3	80–90	
	*G*4	более 90	
Тонкая	*F*5	40–60	Фильтры тонкой очистки воздуха в системах кондиционирования и вентиляции. Очистка циклового воздуха газотурбинных агрегатов. Применяются в качестве фильтров второй ступени очистки (доочистки). Используются в больничных палатах, административных зданиях, гостиницах, при производстве продуктов питания, лекарств, в электронной, мясомолочной промышленности и т.п.
	*F*6	60–80	
	*F*7	80–90	
	*F*8	90–95	
	*F*9	более 95	
Высокоэффективная (*HEPA*)	*H*10	85	Фильтры абсолютной очистки применяются для чистых зон, чистых помещений. В фармацевтической и электронной промышленности, в качестве «финишных» фильтров, для решения проблем санитарии, гигиены и микроклимата в лечебных учреждениях (операционные); на АЭС; при производстве продуктов питания (бродильные отделения), лекарств и т.п.
	*H*11	95	
	*H*12	99,5	
	*H*13	99,95	
	*H*14	99,995	
Сверхвысокая (*ULPA*)	*U*15	99,9995	Фильтры окончательной очистки воздуха в помещениях с самыми высокими требованиями к чистоте воздуха
	*U*16	99,99995	
	*U*17	99,999995	
	*U*18	99.9999995	

очистки воздуха от мелкодисперсных аэрозолей до 15 г/м^3. Фильтрующий материал — полиэстер. Класс очистки — *F*9.

В качестве фильтра тонкой очистки могут быть использованы картриджные фильтры типа ЦФВ с эффективностью очистки от 95% до 99,9%, фильтр аэрозольный ФАП-200 с эффективностью очистки от 99,9% до 99,99%, картриджные фильтры ФВКарт.

В качестве основной технологии очистки воздушной среды от аэрозолей, при разработке комплекса УОВ, была принята технология с использованием двухступенчатой очистки полиэстером толщиной 20 мм класса *F*5 площадью фильтрации 0,27 м^2 и фильтровальной бумагой класса *H*14 площадью фильтрации 7,2 м^2 [22].

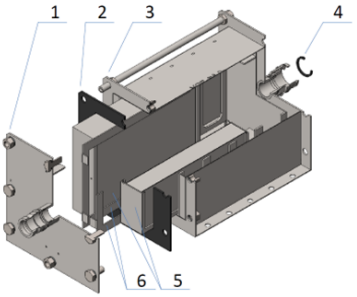
Применение данной технологии обеспечивает требуемую эффективность очистки (не менее 99,8%) и пылеемкость (не менее 1,44 кг) при максимальной производительности порядка 200 м^3/ч, подтверждённые на этапе разработки расчётом, а в последствие испытаниями в составе фильтра очистки воздуха от аэрозолей (УОВ-ФА).

Фильтр очистки воздуха от аэрозолей (УОВ-ФА) предназначен для очистки ГВС от аэрозолей с жидкими и твёрдыми частицами. Метод очистки — механическая фильтрация на стекловолокнистых и полимерных материалах.

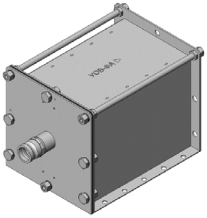
Внешний вид и устройство фильтра УОВ-ФА показан на рисунке 2.10.

Корпус фильтра прямоугольной формы из маломагнитной нержавеющей стали, имеет съёмную крышку. На внутренней стороне крышки располагается резиновая прокладка, которая обеспечивает герметичность прилегания крышки к корпусу при затяжке её гайками. Корпус имеет входной и выходной патрубки с фланцевыми или быстроразъёмными соединениями.

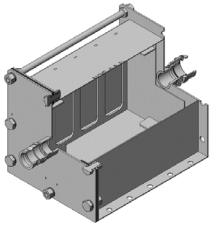
Фильтр УОВ-ФА снаряжается двумя сменными фильтрующими кассетами УОВ-ФКА (рисунок 2.11), фиксируемыми с помощью монтажного комплекта корпуса — двух рамок прижимных, обеспечивающих герметичное прилегание кассет к корпусу.



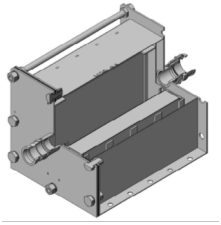
2.10.1 Схема сборки



2.10.2 Внешний вид



2.10.3 Конструкция

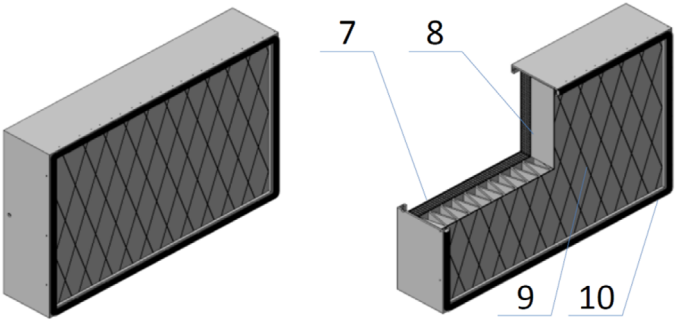


2.10.4 Конструкция в сборе

Условные обозначения:

Поз.	Наименование	Назначение	Примечание
1	Крышка корпуса	Обеспечение возможности соединения составных частей фильтра в единую герметичную конструкцию и присоединения её к УОВ-РА и к УОВ-ВХВ (через воздуховоды)	В составе корпуса
2	Прокладка уплотнительная		В комплектности корпуса. Подлежит плановой замене из состава ЗИП-О
3	Корпус с комплектом крепежа		
4	Уплотнительное кольцо (выходного патрубка)	Обеспечение герметичности при соединении патрубка с металлорукавом (только для переносного исполнения УОВ)	Подлежит плановой замене из состава ЗИП-О
5	Сменные фильтрующие кассеты УОВ-ФКА	Выполнение целевой функции при применении УОВ по назначению	Подлежат плановой и внеплановой замене по отдельному заказу
6	Рамки прижимные	Обеспечение герметичного прилегания кассет УОВ-ФКА к корпусу УОВ-ФА	В комплектности корпуса

Рис. 2.10 — Внешний вид и устройство фильтра УОВ-ФА



7 — Предфильтр из полиэстера; 8 — Микротонкое гофрированное стекловолокно; 9 — Металлическая сетка; 10 — Уплотнение

Рис. 2.11 — Кассета УОВ-ФКА (450х300х95 мм)

Входной и выходной патрубки фильтра УОВ-ФА через воздуховоды соединены с выходным патрубком регулирующей арматуры УОВ-РА и входным патрубком фильтра УОВ-ВХВ соответственно.

2.3.3. Фильтр очистки воздуха от вредных химических веществ

Очистка воздуха от паров и газов вредных веществ осуществляется, как правило, методами сорбции, хемосорбции и катализа (таблица 2.5).

Ароматические углеводороды — легко адсорбируются активными углями. По результатам предварительных исследований при температуре воздушной среды 20 °С, относительной влажности 75 %, концентрации паров бензола 170 мг/м^3 и скорости потока 1 л/мин·см^2 динамическая активность гидрофобного поглотителя, полученного на основе активированного угля марки СКТ-6А модифицированного фуллеренами, составляет 62 мг/г.

При увеличении температуры очищаемой воздушной среды до 70 °С динамическая активность поглотителя снижается на 40 % и составляет порядка 37 мг/г.

Таблица 2.5

Основные методы поглощения вредных веществ

Метод поглощения	Химическая природа вредных веществ	Поглощающие вещества
Гидролиз и нейтрализация продуктов гидролитического разложения	Все кислые вредные вещества: свободные галоиды, кислоты, ангидриды и галоидангидриды кислот, галоидированные простые эфиры, сложные эфиры, алифатические галоидированные арсины и тиоэфиры	Вода, едкие щёлочи, гидраты оснований, щелочные соли слабых кислот, аммиак и амины
Нейтрализация	Основные вредные вещества: аммиак, амины и гидразины	Кислоты, кислые соли сильных кислот, соли слабых оснований и сильных кислот
Комплексообразование	Синильная кислота и её производные: аммиак, амины и гидразины	Гидраты окислов и соли тяжёлых металлов
Окисление и нейтрализация продуктов окисления	Все вредные вещества, обладающие окслительно-востановительными свойствами: галоидированные простые эфиры, альдегиды, тиоэфиры, мышьяковистые соединения, окись углерода, синильная кислота и цианистые соединения, окислы азота, сероводород и ряд вредных веществ, содержащих серу	Перекиси: водорода, щелочных и щелочноземельных металлов; кислоты и соли, легко отдающие кислород; кислород воздуха в присутствии катализаторов
Восстановление	Свободные галоиды и хлорпикрин	Соли сероводородной, серноватистой кислот; закисные соли некоторых тяжёлых металлов

Предварительные исследования показали, что при увеличении влажности очищаемой воздушной среды динамическая активность гидрофобного поглотителя снижается только на 18 %, что при необходимости минимизации массогабаритных параметров разрабатываемых фильтров обеспечивает несомненное преимущество применения гидрофобного поглотителя на основе активного угля, модифицированного фуллеренами.

Для удаления бензола в концентрациях до 170 мг/м^3 из очищаемой воздушной среды объёмом 2000 м^3 потребуется порядка 9,2 кг гидрофобного поглотителя.

Диоксид азота — присутствует в газах в виде двух находящихся в равновесии соединений: собственно диоксида азота и его димера. При температурах ниже 25 °С в смеси оксидов преобладает димер диоксида азота, а при более высоких — диоксид азота.

Диоксид азота в форме димера имеет характер ангидрида и при взаимодействии с водой образует смесь двух кислот:

$$N_2O_4 + H_2O = HNO_3 + HNO_2$$

Поскольку с основаниями азотная и азотистая кислота дают достаточно прочные соли, для поглощения окислов азота лучше использовать водные основания или щелочные химические поглотители.

В связи с тем, что при применении катализаторов селективной очистки необходимо использование аммиака, очистку воздушной среды от оксидов азота предпочтительнее проводить с использованием хемосорбента [23, 24].

При проведении поглощения диоксида азота химическим поглотителем температура воздушной среды не должна превышать 70 °С из-за возможности разогрева угля, что может привести к возгоранию.

На слое активированного угля диоксид азота может восстанавливаться до окиси азота (II). При контакте с химическим поглотителем диоксид азота может поглощаться по реакции:

$$NO_2 + NO + K_2CO_3 = 2KNO_2 + CO_2$$

С учётом того, что стехиометрическая ёмкость поглотителя используется примерно на 85 %, динамическая активность химического поглотителя по диоксиду азота составляет порядка 17 мг/г.

Для удаления диоксида азота в концентрациях до 20 мг/м^3 из очищаемой воздушной среды объёмом 2000 м^3 потребуется порядка 2,4 кг химического поглотителя по типу ВК-АВЕ.

Диоксид серы и хлористый водород — вещества кислого характера. Для удаления веществ с выраженными кислотными свойствами широко используются адсорбционные методы с применением твёрдых химпоглотителей на основе известняка, доломита, извести, в частности, активные угли, пропитанные карбонатом калия [25].

Поглотитель кислых газов ПКГ-1 (на основе активного угля из торфа СКТ-6А ТУ 6–16–2333–79) используется для снаряжения средств за-

щиты органов дыхания. Кроме поглощения аварийно-химических опасных веществ ингаляционного действия кислого характера (диоксид серы, хлористый водород, фтористый водород и т.п.), он поглощает и опасные вещества нейтрального характера (хлор, фтор, гидрид серы и т.п.), а также отравляющие вещества (циан водорода, хлорциан, фосген и т.п.). Поэтому применение его для снаряжения фильтра для поглощения кислых газов, при возможном присутствии примесей нейтрального характера и отравляющих веществ, предпочтительнее.

Поглощение диоксида серы на химическом поглотителе происходит вследствие химического взаимодействия с карбонатом калия, входящим в его состав, по реакции:

$$K_2CO_3 + H_2O + 2SO_2 = 2KHSO_3 + CO_2\uparrow$$

Стехиометрическая ёмкость поглотителя, в составе которого содержится минимум 6% карбоната калия, по диоксиду серы составляет 60 мг/г.

По паспортным данным время защитного действия поглотителя по диоксиду серы составляет не менее 30 мин, с учётом условий проведения испытаний поглотителя, его динамическая активность составляет 50 мг/г, то есть стехиометрическая ёмкость используется ориентировочно на 85%.

Для удаления диоксида серы в концентрациях до 85 мг/м^3 из очищаемой воздушной среды объёмом 2000 м^3 потребуется порядка 3,4 кг химического поглотителя по типу ВК-АВЕ или ПКГ-1.

Взаимодействие хлористого водорода и карбоната калия идёт по реакции:

$$K_2CO_3 + 2HCl = 2KCl + CO_2\uparrow + H_2O$$

Аналогично поглощению диоксида серы стехиометрическая ёмкость по хлористому водороду составляет 32 мг/г, с учётом того, что степень использования стехиометрической ёмкости в динамических условиях по диоксиду серы составила 85%, динамическая ёмкость поглотителя по хлористому водороду составляет порядка 27 мг/г.

Для удаления хлористого водорода в концентрациях до 50 мг/м^3 из очищаемой воздушной среды объёмом 2000 м^3 потребуется порядка 3,7 кг химического поглотителя.

Бромистый водород — как и хлористый водород, обладает ярко выраженными кислотными свойствами. Поэтому многие основания и соли слабых кислот могут использоваться для его поглощения.

Взаимодействие бромистого водорода и карбоната калия протекает по реакции:

$$K_2CO_3 + 2HBr = 2KBr + CO_2\uparrow + H_2O$$

Стехиометрическая ёмкость по бромистому водороду составляет 70 мг/г, с учётом того, что степень использования стехиометрической ёмкости в динамических условиях составляет 85%, динамическая ёмкость поглотителя по бромистому водороду составляет порядка 60 мг/г.

Для удаления бромистого водорода в концентрациях до 240 мг/м^3 из очищаемой воздушной среды объёмом 2000 м^3 потребуется порядка 8 кг химического поглотителя по типу ВК-АВЕ или ПКГ-1.

Фтористый водород — проявляет свойства слабой кислоты, характерной особенностью которой является способность образовывать комплексные соединения с фтористыми металлами. Фтористые соли щелочных металлов, меди и цинка нерастворимы. На этом основан принцип поглощения фтористого водорода:

$$K_2CO_3 + 2HF = 2KF + CO_2\uparrow + H_2O$$

Для удаления фтористого водорода в концентрациях до 2 мг/м^3 из очищаемой воздушной среды объёмом 2000 м^3 потребуется порядка 0,3 кг химического поглотителя по типу ВК-АВЕ или ПКГ-1.

Цианистый водород (синильная кислота) — слабая кислота и малостойкое соединение. Наиболее устойчивыми из простых цианидов являются соли меди, серебра и ртути. Закисная соль меди является наиболее прочной и образуется по реакции:

$$Cu^+ + HCN = CuCN + H^+$$

Также возможна реакция:

$$K_2CO_3 + 2HCN = 2KCN + CO_2\uparrow + H_2O$$

Для удаления цианистого водорода в концентрациях до 5 мг/м^3 из очищаемой воздушной среды объёмом 2000 м^3 потребуется порядка 0,5 кг химического поглотителя по типу ВК-АВЕ или ПКГ-1.

Фосген (хлорангидрид уксусной кислоты) — легко вступает в реакцию с водой:

$$COCl_2 + H_2O = 2HCl + CO_2$$

Углекислые соли также способны вступать в реакцию с фосгеном:

$$COCl_2 + 3K_2CO_3 + H_2O = 2KCl + 4KHCO_3$$

На этих реакциях основано поглощение фосгена. Помимо этого, фосген может поглощаться активированным углём.

Для удаления фосгена в концентрациях до 0,05 мг/м^3 из очищаемой воздушной среды объёмом 2000 м^3 потребуется порядка 0,2 кг химического поглотителя по типу ВК-АВЕ или ПКГ-1.

В качестве основной технологии очистки воздушной среды от органических и неорганических вредных веществ при разработке комплекса УОВ была принята технология с использованием двухступенчатой очистки шихтой вновь разрабатываемого гидрофобного поглотителя (активного угля, модифицированного фуллеренами) объёмом шихты 16 дм^3 и химическим поглотителем ВК-АВЕ (активного угля, модифицированного легирующими добавками) объёмом шихты 26 дм^3 [26].

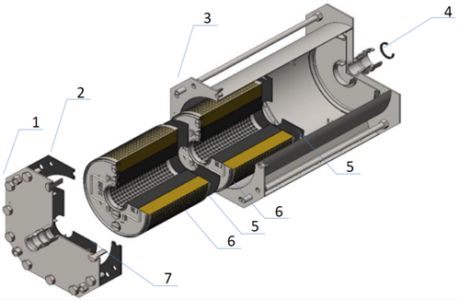
Применение данной технологии обеспечивает требуемую динамическую ёмкость и ресурс 2000 м^3 при максимальной производительности порядка 200 м^3/ч, подтверждённые на этапе разработки расчётом, а в последствие:

— испытаниями комбинированной шихты по методике МИ 02068479–48–2017 «Методика определения защитной мощности фильтра поглотителя по газам и парам органических, химически опасных и отравляющих веществ», разработанной ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет) («СПбГТИ (ТУ)»);

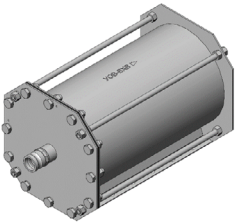
— испытаниями в составе фильтра очистки воздуха от ВХВ (УОВ-ВХВ) на газодинамической установке ГДУ, специально разработанной для моделирования воздушной среды аварийного помещения после применения системы САП [27].

Фильтр очистки воздуха от ВХВ (УОВ-ВХВ) предназначен для очистки ГВС от ароматических углеводородов, фтористого водорода, галогенов, цианистого водорода, оксидов азота и фосгена. Метод очистки — сорбция и хемосорбция на активных углях, модифицированных фуллеренами и оксидами металлов [14].

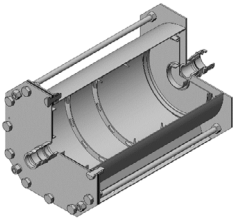
Внешний вид и устройство фильтра УОВ-ВХВ показан на рисунке 2.12.



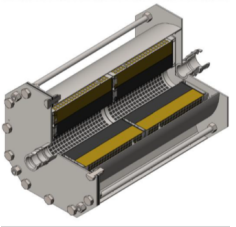
2.12.1 Схема сборки



2.12.2 Внешний вид



2.21.3 Конструкция



2.12.4 Конструкция в сборе

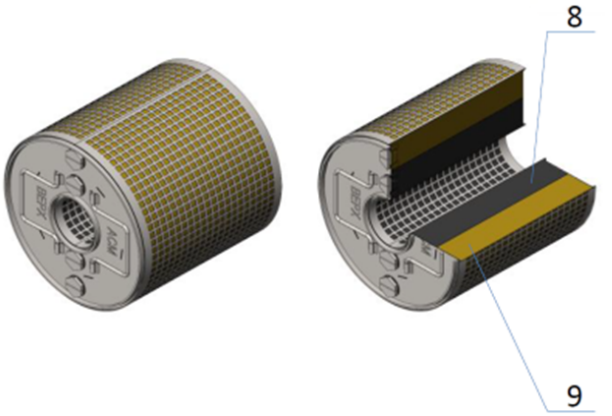
Условные обозначения:

Поз.	Наименование	Назначение	Примечание
1	Крышка корпуса	Обеспечение возможности соединения составных частей фильтра в единую герметичную конструкцию и присоединения её к УОВ-ФА и к УОВ-ФТК (через воздуховоды)	В составе корпуса
2	Прокладка уплотнительная		В комплектности корпуса. Подлежит плановой замене из состава ЗИП-О
3	Корпус с комплектом крепежа		
4	Уплотнительное кольцо (выходного патрубка)	Обеспечение герметичности при соединении патрубка с металлорукавом (только для переносного исполнения УОВ)	Подлежит плановой замене из состава ЗИП-О
5	Сменные фильтрующие кассеты УОВ-ФКВ	Выполнение целевой функции при применении УОВ по назначению	Подлежат плановой и внеплановой замене по отдельному заказу
6, 7	Прокладки уплотнительные (комплект)	Обеспечение герметичного прилегания кассет УОВ-ФКА к корпусу УОВ-ФА	В комплектности корпуса. Подлежат плановой замене из состава ЗИП-О и внеплановой из комплектности УОВ-ФКВ

Рис. 2.12 — Внешний вид и устройство фильтра УОВ-ВХВ

Корпус фильтра цилиндрической формы из маломагнитной нержавеющей стали, имеет съёмную крышку. На внутренней стороне крышки располагается резиновая прокладка, которая обеспечивает герметичность прилегания крышки к корпусу при затяжке её гайками. Корпус имеет входной и выходной патрубки с фланцевыми или быстроразъёмными соединениями.

Фильтр УОВ-ВХВ снаряжается двумя сменными фильтрующими кассетами УОВ-ФКВ (рисунок 2.13), фиксируемыми с применением монтажного комплекта — трёх прокладок уплотнительных, обеспечивающих герметичное прилегание кассет к корпусу и друг к другу.



8 — Гидрофобный поглотитель объёмом 8 дм³; 9 — Химический поглотитель ВК-АВЕ объёмом 13 дм³

Рис. 2.13 — Кассета УОВ-ФКВ (315×D320 мм)

Входной и выходной патрубки фильтра УОВ-ВХВ через воздуховоды соединены с выходным патрубком фильтра УОВ-ФА и входным патрубком фильтра УОВ-ФТК соответственно.

Линии тока газа в проектной модели фильтра очистки воздуха от ВХВ, полученные на этапе разработки комплекса УОВ, приведены на рисунке 2.14.

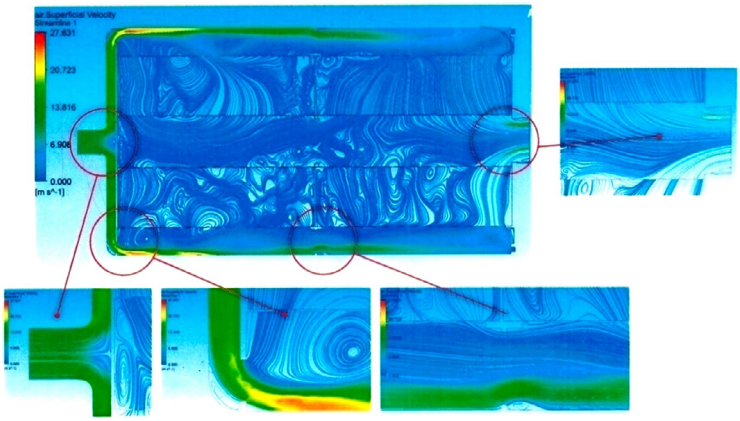


Рис. 2.14 — Линии тока газа в проектной модели фильтра очистки воздуха от ВХВ

2.3.4. Блок термокаталитической очистки воздуха от оксида углерода

Известные катализаторы окисления оксида углерода можно разделить на три основные группы:

— содержащие благородные металлы (*Pt*, *Pd*, *Ru*, *Ir*);

— состоящие из оксидов металлов IV периода (активность снижается в ряду: $Co_3O_4 > CuO > MnO_2 > NiO > Fe_2O_3 > Cr_2O_3 > CeO_2$);

— смешанные, включающие оксиды и металлы платиновой группы (*CuO-Pd*; MnO_2-*CuO-Pd*; MnO_2-Co_3O_4-*Pd*).

В настоящее время доказано, что наиболее высокой активностью, а следовательно, и более низкими температурами зажигания характеризуются металлы платиновой группы (*Pt* > *Pd* > *Ru* > *Ir*), нанесённые на пористые носители: γ-Al_2O_3, силикагель.

Наиболее активной из этой группы является платина. Однако, учитывая, что при комнатной температуре на воздухе поверхность платины покрыта адсорбированными молекулами и/или атомами кислорода, то для реализации её высоких каталитических свойств необходимо предварительно очищать её в ультравакууме или нагревать свыше 150 °C, либо обрабатывать водородом непосредственно перед началом эксплуатации. Для активации платины наиболее часто используют первый или последний способ.

Поэтому более надёжным и стабильным в процессе окисления оксида углерода в тех случаях, когда предэксплуатационное активирование платины не рационально, является палладий, который требует только однократного восстановления (формиатом натрия или водородом) при получении катализатора, и в дальнейшей работе отсутствует необходимость очистки его поверхности от сорбированного кислорода.

В качестве пористого носителя катализаторов в процессах окисления оксида углерода широко используется γ-Al_2O_3, обладающий развитой пористой структурой, высокой термостабильностью и стойкостью к капельной воде, способствующий также дополнительной диспергации палладия на атомы. Другой оксидный носитель — силикагель — отличает низкая водостойкость, и при нанесении палладия путём пропитки раствором хлорида палладия гранулы силикагеля разрушаются вследствие высоких внутренних напряжений, возникающих при этом.

Для повышения активности, длительности работы и ядостойкости используют приёмы модифицирования носителя путём введения как каталитически активных оксидов (например, Co_3O_4, CuO), так и облегчающих диффузию O^{2-} (CeO_2) в структуре γ-Al_2O_3. Кроме того, наличие в составе катализатора оксидов кобальта и меди, возглавляющих ряд активности оксидов в реакции окисления оксида углерода, позволяет уменьшить концентрацию палладия без снижения эксплуатационных показателей, а присутствие оксида церия — повышает сероустойчивость катализатора. Следовательно, введение в состав носителя (γ-Al_2O_3) модификаторов двойного назначения может привести к значительному смещению процесса окисления оксида углерода в область более низких температур.

В качестве перспективных катализаторов исследованы блочные катализаторы сотовой структуры (рисунок 2.15) [28–31] и сферические (гранулированные) Pd-Al_2O_3-катализаторы с палладием, внесённым пропиткой носителей раствором хлорида палладия с последующим его восстановлением (без перевода в оксидную форму) формиатом натрия [32, 33]. Последний, являясь восстановителем средней силы, способствует формированию на поверхности пор носителя высокодисперсной пал-



Рис. 2.15 — Типовой вид блочного катализатора сотовой структуры

ладиевой черни, устойчивой к пассивации при контакте с кислородом воздуха.

Предварительные исследования показали, что при необходимости минимизации массогабаритных параметров разрабатываемых фильтров, несомненное преимущество имеют сферические (гранулированные) катализаторы.

В качестве основной технологии очистки воздушной среды от оксида углерода при разработке комплекса УОВ была принята технология с использованием одноступенчатой термокаталитической очистки шихтой вновь разрабатываемого гранулированного катализатора на основе γ-Al_2O_3 с содержанием палладия порядка 60 г (объём шихты 4 дм^3, высота слоя шихты 30 мм). Отказ от использования легирующих добавок обусловлен их высокой токсичностью с учётом отраслевых санитарно-эпидемиологических норм [34].

Применение данной технологии обеспечивает требуемую эффективность очистки и ресурс 2000 м^3 при максимальной производительности порядка 200 м^3/ч, подтверждённые на данном этапе исследования

расчётом, а в последствие испытаниями в т.ч. на газодинамической установке ГДУ.

Стойкость катализатора к воздействию концентраций отравляющих веществ (цианистого водорода, хлористого водорода, фтористого водорода, диоксида азота), подтверждалась испытаниями при совместной работе с комбинированной шихтой гидрофобного и химического поглотителей в условиях, моделирующих работу блока термокаталитической очистки воздуха от оксида углерода, проведённые на базе ФГБОУ ВО «СПбГТИ (ТУ)».

Для обеспечения работы блока термокаталитической очистки от оксида углерода температура очищаемой воздушной среды на катализаторе должна быть не менее 100 °С.

Реакция окисления оксида углерода до диоксида экзотермическая — проходит с выделением тепла, однако начальные концентрации очищаемого компонента недостаточно велики, чтобы обеспечить самостоятельный разогрев катализатора до требуемой температуры.

Наиболее доступным ресурсом для обеспечения принудительного нагрева очищаемой воздушной среды на ПЛ является электричество.

В качестве перспективных электронагревательных элементов исследованы керамические и трубчатые электронагреватели. Трубчатые электронагреватели (ТЭН) при этом рассмотрены с оребрением и без, однорядные и многорядные, в шахматных и коридорных пучках. Для экономии электроэнергии рассмотрена возможность дополнительного использования противоточных рекуператоров.

С учётом технико-экономической целесообразности и необходимости применения отечественной элементной базы, использование ТЭН практически наиболее выгодно.

Правильный выбор ТЭН (мощность, диаметр) и условий их размещения (форма расстановки, площадь сечения воздуховода) на сегодня является проблемой.

Предприятия, производящие ТЭН, а также их дистрибьюторы, несмотря на качественную рекламу своих услуг по подбору оборудования, как правило, не имеют в штате специалистов, способных произвести расчёт количественного и качественного набора ТЭН, обеспечивающего

необходимую температуру флюида на режимах, предусмотренных технической документацией. Таким образом, данная задача полностью возлагается на разработчика технологии.

Наиболее точный расчёт нагрева флюида и параметров ТЭН, при которых он происходит в установившемся режиме, позволяет обеспечить безопасное применение ТЭН, а также наименьшие массогабаритные параметры изделия при выполнении им заданных функций.

Необходимый расчёт выполнен с учётом общепринятых методов [35–39] и уточнён при проведении ряда экспериментальных исследований. В ходе проведённых исследований установлено также достоверное отличие отношений коэффициентов теплоотдачи (конвективного теплообмена) рядов ТЭН в коридорных пучках с литературными данными [40].

Существенным недостатком применения ТЭН является низкое сопротивление изоляции между электрической цепью и корпусом (для общепромышленного исполнения по ГОСТ 13268-88 не менее 1 МОм), что требует дополнительных проектных проработок в обеспечение требуемого сопротивления изоляции изделия в целом.

Помимо электронагревательных элементов разрабатываемая технология нагрева очищаемой воздушной среды требует использования средств автоматического поддержания требуемой температуры (термометров и средств автоматики). Это обусловлено непостоянством в процессе снятия давления таких параметров как производительность и температура нагреваемой воздушной среды. В зависимости от значений данных параметров, требуемая мощность нагрева составляет от 0,9 до 11 кВт.

В качестве перспективных средств автоматического поддержания требуемой температуры рассмотрены общепромышленные ПИД-регуляторы (по типу ПЛК-63) и вторичные преобразователи ПВ-02 системы МСК (с релейным двухпозиционным управлением). Поиск по каталогу продукции для федеральных государственных нужд ПИД-регуляторов не выявил.

В ходе экспериментальных исследований установлено, что:

— общепромышленные ПИД-регуляторы (k – 2, Ti — 40, Td — 0, период ШИМ — 2 с, температура уставки 100 °С) обеспечивают стабильное поддержание температуры в блоке термокаталитической очистки

от оксида углерода не менее 100 °С. Максимальная амплитуда колебания температуры на установившемся режиме составляет ±2 °С;

— вторичные преобразователи ПВ-02 системы МСК (температура уставки 130 °С) обеспечивают стабильное поддержание температуры в блоке термокаталитической очистки от оксида углерода не менее 100 °С. Максимальная амплитуда колебания температуры на установившемся режиме составляет ±30 °С при номинальной производительности и ±60 °С при минимальной производительности.

Предварительные экспериментальные исследования по возможности доработки вторичного преобразователя ПВ-02.8 с вводом нового исполнения ПВ-02.8-ПИД не привели к положительным результатам.

В качестве основной технологии нагрева очищаемой воздушной среды при разработке комплекса УОВ была принята технология с использованием 12 последовательно и перпендикулярно установленных по направлению потока нагреваемой воздушной среды гладких трубчатых электронагревателей ТЭН 82 *А* 10/0,75 *N* 220 ГОСТ 13268-88 в канале шириной 30 мм, термопреобразователя сопротивления ТСП/1–8040 и комплекта электротехнических изделий, обеспечивающих двухпозиционное релейное управление по данным от термопреобразователя сопротивления ТСП/1–8040 (подачу и снятие электропитания). При этом, ТЭНы должны быть изогнуты по рисунку 2.16 и подключены по схеме «звезда» с изолированной нейтралью (в каждой ветке по 4 параллельно подключённых ТЭНа).

Выбор в пользу двухпозиционного релейного управления вместо ПИД-управления был обусловлен ограничением на использование компонентной базы общепромышленного исполнения. Отказ от использования противоточных рекуператоров обусловлен ограничением массогабаритных параметров изделия.

Применение данной технологии обеспечивает требуемую температуру в фильтре термокаталитической очистки воздуха от оксида углерода (не менее 100 °С) и максимальную температуру поверхностей ТЭН (не более 1000 °С) при максимальной производительности до 250 м^3/ч, подтверждённые на этапе разработки расчётом, а в последствие испыта-

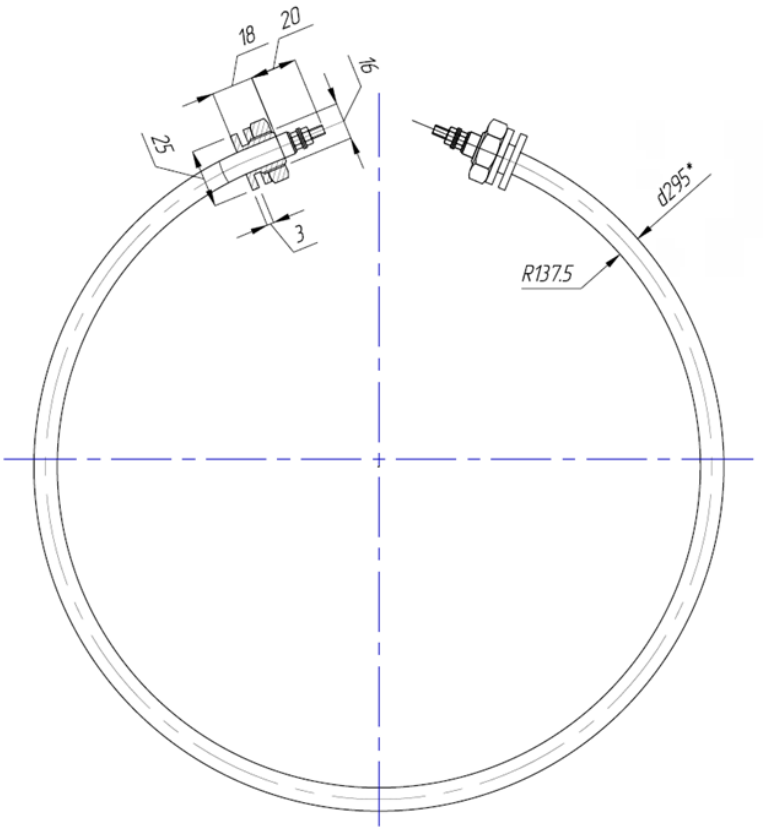
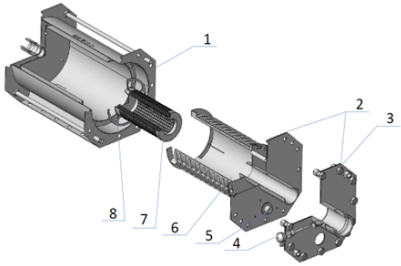


Рис. 2.16 — Форма трубчатого электронагревателя ТЭН 82 А 10/0,75 N 220 ГОСТ 13268-88, принятая для технологии нагрева воздушной среды, очищаемой от оксида углерода

ниями в составе блока термокаталитической очистки воздуха от оксида углерода (УОВ-ФТК) на газодинамической установке ГДУ.

Блок термокаталитической очистки воздуха от оксида углерода (фильтр и пульт управления) (УОВ-ФТК) предназначен для нагрева и очистки ГВС от оксида углерода. Метод очистки — каталитическое окисление до диоксида углерода на гранулированных палладиевых катализаторах (γ-Al_2O_3).

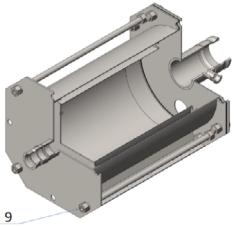
Внешний вид и устройство фильтра УОВ-ФТК показан на рисунке 2.17.



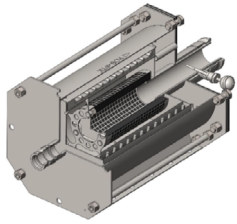
2.17.1 Схема сборки



2.17.2 Внешний вид



2.17.3 Конструкция



2.17.4 Конструкция в сборе

Условные обозначения:

Поз.	Наименование	Назначение	Примечание
1	Корпус с комплектом крепежа	Обеспечение возможности соединения составных частей фильтра в единую герметичную конструкцию и присоединения её к УОВ-ВХВ (через воздуховод)	В составе корпуса
2	Прокладки уплотнительные		В комплектности корпуса Подлежит плановой замене из состава ЗИП-О
3	Крышка корпуса		В составе корпуса
4	Термопреобразователь сопротивления ТСП/1–8040	Измерение температуры очищаемой ГВС в фильтре	
5	Кабельный разъём электропитания УОВ-НЭ	Подключение УОВ-НЭ к пульту управления УОВ-ПУ через силовой жгут	В составе УОВ-НЭ
6	Нагреватель электрический УОВ-НЭ	Нагрев очищаемой ГВС	
7	Сменная фильтрующая кассета УОВ-ФКТ	Выполнение целевой функции при применении УОВ по назначению	Подлежат плановой и внеплановой замене по отдельному заказу
8	Опорный фланец со стопорными вилками	Фиксация УОВ-ФКТ в нагревателе электрическом	В комплектности корпуса
9	Клемма защитного заземления	Подключение винта заземления М6	В составе корпуса

Рис. 2.17 — Внешний вид и устройство фильтра УОВ-ФТК

Корпус фильтра цилиндрической формы из маломагнитной нержавеющей стали, имеет съёмную крышку с отверстием под разъём электропитания. На внутренних сторонах крышки и корпуса располагаются две резиновые прокладки, которые обеспечивают герметичность прилегания крышки и корпуса к нагревателю электрическому УОВ-НЭ при его установке в фильтр и затяжке крышки гайками. Корпус имеет входной патрубок с фланцевым или быстроразъёмным соединением и выходной патрубок с быстроразъёмным соединением. На цилиндрической поверхности выходного патрубка устанавливается термопреобразователь сопротивления ТСП/1–8040, герметичность установки которого обеспечивается медной прокладкой одиночного комплекта ЗИП к ТСП/1–8040.

Нагреватель УОВ-НЭ (рисунок 2.18) имеет каркас из маломагнитной нержавеющей стали, на который установлено 12 шт. несъёмных ТЭН (электронагреватель трубчатый по ГОСТ 13268-83), подключённых по схеме «звезда» с изолированной нейтралью. Выводы контактных стержней ТЭН проложены через продольный кабель-канал и подключены к приборному разъёму «СЕТЬ 2» на торцевой стороне УОВ-НЭ. Кабель-канал и штепсельный разъём залиты термостойким герметиком [41, 42].

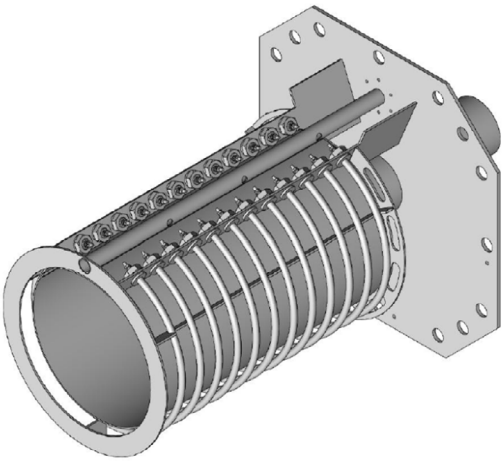


Рис. 2.18 — Нагреватель электрический УОВ-НЭ

На корпуса УОВ-ФТК и УОВ-НЭ нанесены предупредительные надписи, идентифицирующие их взаимное расположение при стыковке:

— маркировка корпуса УОВ-ФТК содержит предупредительную надпись: «Кабель-каналом «УОВ-НЭ» СЮДА!»

— маркировка УОВ-НЭ содержит предупредительную надпись: «ВНИМАНИЕ!!! Ориентировать СТРОГО по маркировке УОВ-ФТК»

Фильтр УОВ-ФКТ снаряжается одной сменной фильтрующей кассетой УОВ-ФКТ с шихтой порядка 4 дм^3 гранулированного палладиевого катализатора на основе оксида алюминия (рисунок 2.19), устанавливаемой в нагреватель УОВ-НЭ и фиксируемой в нём с помощью монтажного комплекта корпуса — опорного фланца и двух стопорных вилок. Внутренние габариты УОВ-НЭ позволяют вместо кассеты УОВ-ФКТ устанавливать блочные катализаторы (4 блока 100×*D*250 мм).

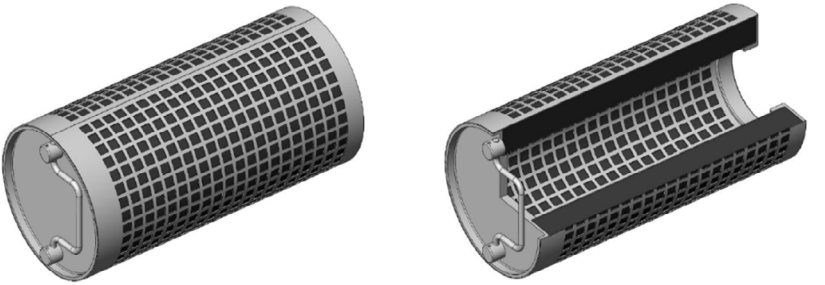


Рис. 2.19 — Кассета УОВ-ФКТ (327×D160 мм)

Входной патрубок фильтра УОВ-ФТК через воздуховод соединён с выходным патрубком фильтра УОВ-ВХВ.

Приборный разъём «СЕТЬ 2» и электрические выводы ТСП/1–8040 подключены к пульту управления УОВ-ПУ через силовой и сигнальный жгуты соответственно. Ответный кабельный разъём силового жгута изготовлен с использованием монтажного комплекта и залит термостойким герметиком по типу «Виксинт У-1–18» (ТУ 38.303–04–04–90).

Заземление фильтра — через клемму под винт заземления М6, расположенную на корпусе фильтра со стороны входного патрубка, а ТСП/1–8040 — по экрану сигнального жгута через пульт управления.

При работе фильтра температура поверхности ТЭН не превышает 500 °С, а корпуса фильтра не превышает 50 °С. Внутренняя поверхность корпуса, а также зона контактных стержней ТЭН и кабель-канала обдуваются ненагретой очищаемой ГВС, исключая их перегрев.

Конструкция фильтра обеспечивает интенсивное конвективное охлаждение ГВС в фильтре (в зоне установки ТСП/1–8040) до температуры ниже 100 °С через выходной патрубок УОВ-ФТК при резкой полной потере давления на входе в УОВ (при отсутствии производительности).

Степень защиты электрооборудования фильтра, обеспечиваемая оболочками, от проникновения твёрдых предметов и от проникновения воды, обеспечивается с установленной заглушкой выходного патрубка.

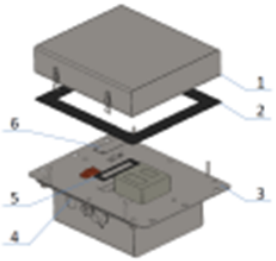
Давление струи газа на выходе из УОВ при номинальной производительности — не более 0,2 кПа.

Пульт управления (рисунок 2.20) обеспечивает электроснабжение фильтра УОВ-ФТК с периодичностью и в режимах, необходимых для поддержания температуры ГВС в фильтре на требуемом уровне.

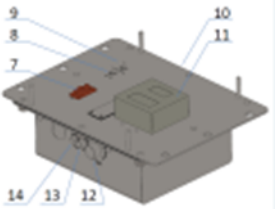
Корпус пульта управления УОВ-ПУ прямоугольной формы из маломагнитной нержавеющей стали, на лицевой панели имеет дисплей (экран) и органы ручного управления, а также съёмную крышку клеммной колодки. За лицевой панелью с верхней стороны корпуса расположен приборный разъём электропитания УОВ «СЕТЬ», с нижней — приборные разъёмы «ТЭН», «ТСП» и «Резерв», а также клемма защитного заземления.

Сведения, идентифицирующие возможные положения органов ручного управления УОВ-ПУ, наименование приборных разъёмов и номера контактов клеммной колодки, параметры сети электропитания и степень защиты по ГОСТ 14254-2015 обозначены на корпусе маркировкой (рисунок 2.21).

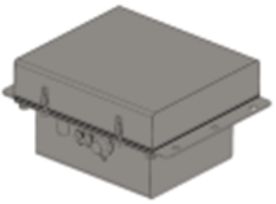
Приборный разъём «СЕТЬ» с помощью монтажного комплекта присоединён к фидеру распределительного щита заказа, а приборные разъёмы «ТЭН» и «ТСП» — к фильтру УОВ-ФТК через силовой и сигнальный жгуты соответственно (с заземлением экрана сигнального жгута через контакт разъёма). Приборный разъём «Резерв» подключается к внешним средствам контроля при необходимости. Ответные



2.20.1 Схема сборки



2.20.2 Внешний вид



2.20.3 Внешний вид в сборе

Условные обозначения:

Поз.	Наименование	Назначение
1	Крышка	Защита органов управления и других элементов пульта управления от механических повреждений, а также воздействия воды, влажных агрессивных сред и пыли при нахождении УОВ в выключенном состоянии (степень защиты IP54). Прокладка подлежит плановой замене из состава ЗИП-О
2	Прокладка уплотнительная	
3	Пульт управления без крышки	Выполнение целевой функции при применении УОВ по назначению
4	Клемма защитного заземления	Подключение винта заземления М6
5	Прокладка уплотнительная	Защита клеммной колодки, предназначенной для проверки целостности электрических цепей при техническом обслуживании, от механических воздействий, а также воздействия воды, влажных агрессивных сред и пыли
6	Крышка клеммной колодки с комплектом барашковых гаек	
7	Автомат защиты	Тепловая защита и защита от короткого замыкания в электрических цепях УОВ, а также изоляция от сети электроснабжения заказа при нахождении УОВ в выключенном состоянии
8	Тумблер «Нагрев ГВС»	Включение и выключение принудительного нагрева очищаемой ГВС при нахождении пульта управления во включённом состоянии
9	Тумблер «Режим»	Выбор режима терморегулирования («Прогрев» или «Работа»)
10	Приборная вилка	Разъём «СЕТЬ» для подключения к сети электроснабжения заказа
11	Преобразователь вторичный	Преобразование данных от ТСП/1–8040 в сигнал управления, а также отображение контролируемого параметра на средства визуализации (экран)
12	Приборная вилка	Разъём «ТЭН» для электроснабжения нагревателя электрического
13	Приборная вилка	Разъём «ТСП» для подключения ТСП/1–8040
14	Приборная вилка	Разъём «Резерв» для вывода информации о температуре на выходе из УОВ на внешние системы контроля

Рис. 2.20 — Внешний вид и устройство пульта управления УОВ-ПУ

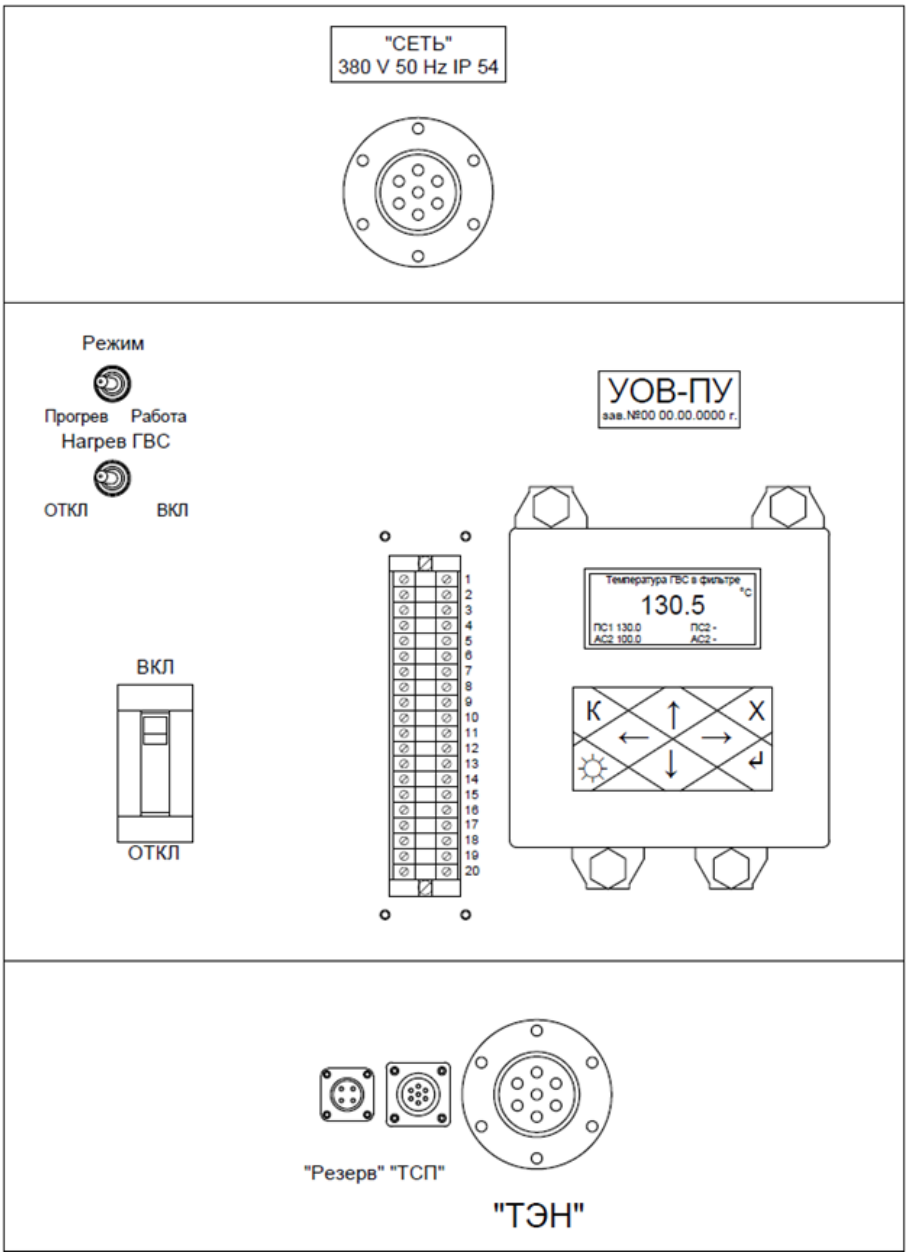


Рис. 2.21 — Маркировка панели УОВ-ПУ и его приборных разъёмов

кабельные разъёмы изготовлены с использованием монтажного комплекта и залиты термостойким герметиком по типу «Виксинт У-1–18» (ТУ 38.303–04–04–90).

Заземление пульта управления — через клемму под винт заземления М6, расположенную на корпусе.

В состоянии готовности к применению лицевая панель закрыта съёмной крышкой, которая крепится к корпусу через резиновую прокладку на четырёх регулируемых натяжных замках. Включение и выключение пульта управления производится переключением встроенного автомата защиты (АК50Б-3МГ ОМ2, 50 Гц, 20 А, 6 *In*) в положение «ВКЛ» и «ОТКЛ» соответственно.

Схема электрическая принципиальная, поясняющая принцип работы УОВ-ПУ и блока УОВ-ФТК в целом, показана на рисунке 2.22.

Принцип работы УОВ-ПУ заключается в обеспечении электроснабжения фильтра УОВ-ФТК (принудительного нагрева) при открытых ключах (твердотельных реле) электрической цепи, обеспечивающей электроснабжение нагревателя УОВ-НЭ. Закрытие ключей и прекращение электроснабжения фильтра УОВ-ФТК происходит при разрыве внутренней цепи управления, который осуществляется автоматически и, при необходимости, вручную. Автоматическое отключение/возобновление электроснабжения фильтра УОВ-ФТК осуществляется в зависимости от значения параметра «Температура ГВС в фильтре» и выбранного режима применения, определяющего уставки срабатывания.

Режимы устанавливаются путём переключения тумблера «Режим» в соответствующее положение. На лицевой панели УОВ-ПУ обозначено два положения тумблера «Режим»:

— «Прогрев» — электроснабжение фильтра УОВ-ФТК производится при значении параметра «Температура ГВС в фильтре» до 130 °С;

— «Работа» — электроснабжение фильтра УОВ-ФТК производится при значении параметра «Температура ГВС в фильтре» от 100 °С до 130 °С.

При отключённом электроснабжении фильтра УОВ-ФТК нагрев очищаемой ГВС продолжается по инерции в допустимых пределах.

Значение параметра «Температура ГВС в фильтре» отображается на экране пульта управления.

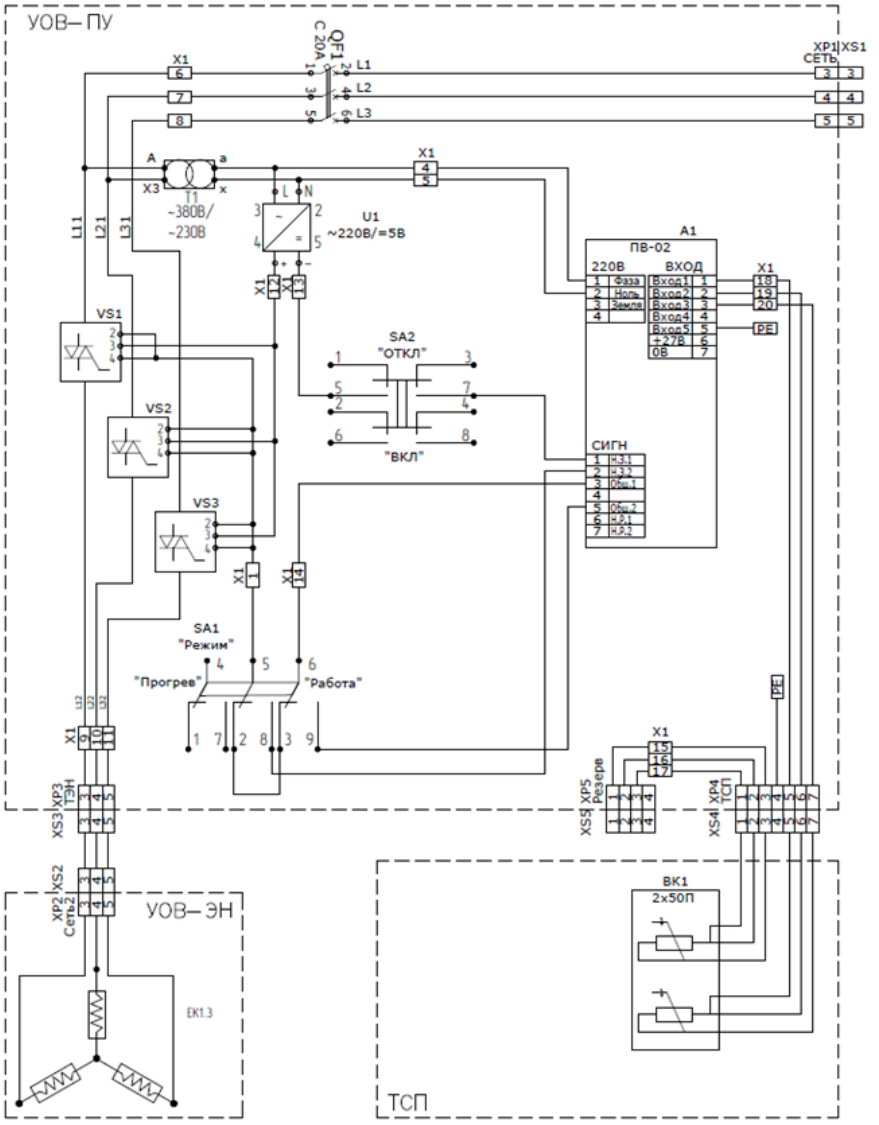


Рис. 2.22 — Схема электрическая принципиальная блока УОВ-ФТК

Режим «Прогрев» применяется при включении УОВ (а также, при необходимости, при переключении режимов сброса давления) для оперативного прогрева фильтра УОВ-ФКТ до рабочей температуры и установившегося в допустимом диапазоне колебания значения параметра «Температура ГВС в фильтре».

Режим «Работа» применяется при установившемся в допустимом диапазоне колебании значения параметра «Температура ГВС в фильтре» и обеспечивает автоматическое отключение электроснабжения фильтра УОВ-ФТК при резкой полной потере давления на входе в УОВ (при отсутствии производительности), а также при выполнении функции «нулевой» защиты при потере (более чем на 10 мин) и возобновлении электропитания УОВ.

Ручное отключение/возобновление принудительного нагрева очищаемой ГВС (без прерывания возможности контроля параметра «Температура ГВС в фильтре») обеспечивается в любом режиме применения положением тумблера «Нагрев ГВС»:

— «ОТКЛ» — электроснабжение фильтра УОВ-ФТК не производится;

— «ВКЛ» — электроснабжение фильтра УОВ-ФТК производится автоматически в соответствии с выбранным режимом.

Степень защиты электрооборудования пульта управления, обеспечиваемая оболочками, от проникновения твёрдых предметов и от проникновения воды обеспечивается с закрытой крышкой.

2.4. Основные физико-химические показатели вновь разработанных неметаллических материалов для снаряжения фильтр-кассет узла очистки воздуха герметичного

При выполнении СЧ ОКР шифр «Узел-ПМ» в рамках частных технических заданий выполнены две НИОКР по расширению области применения химического поглотителя ВК-АВЕ ТУ 2165–290–05795731–2007 и разработке новых неметаллических материалов — гидрофобного поглотителя ТУ 20.59.54–464–02068479–2017 и катализатора БК-Г1 АЮВ 0.005.230 ТУ.

Гидрофобный поглотитель ТУ 20.59.54–464–02068479–2017 предназначен для сорбции органических примесей из влажных газовоздушных сред, представляет собой гранулы цилиндрической формы, полученные путём модифицирования гранулированного активированного угля марки СКТ-6 (ТУ 6–16–233–2015) смесью фуллеренов с последующей термической обработкой. Применяется для поглощения органических веществ из влажного воздуха и снаряжения средств защиты. Физико-химические показатели материала приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6

Физико-химические показатели поглотителя ТУ 20.59.54–464–02068479–2017

Наименование показателя	**Норма**	**Метод контроля**
Фракционный состав, % Массовая доля остатка на сите: — № 28, не более — № 20, не более — № 15, не менее — № 10, не более — № 5, не более — на поддоне, не более	 1,0 12,0 75,0 10,0 1,5 0,5	ГОСТ 16187-70
Прочность при истирании, %, не менее	70	ГОСТ 16188-70
Массовая доля влаги, %, не более	5,0	ГОСТ Р 55956–2014
Насыпная плотность, г/дм^3	от 370 до 480	ГОСТ 16190-70
Суммарный объём пор по воде, см^3/г, не менее	0,8	ГОСТ 17219-71
Динамическая активность, мг/г, не менее — по бензолу — по декану	 40 60	по ТУ
Степень гидрофобности, не менее	0,45	по ТУ
Массовая доля фуллеренов, %	от 0,003 до 0,005	по ТУ

Разработчик материала: ФГБОУ ВО «СПбГТИ (ТУ)». Руководитель темы — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой химии и технологии материалов и изделий сорбционной техники Самонин В. В.

Катализатор БК-Г1 АЮВ 0.005.230 ТУ предназначен для окисления оксида углерода до диоксида углерода при очистке газовоздушной среды в составе каталитического фильтра. Катализатор изготавливается по технологической инструкции АЮВ 25101.00042 ТИ в виде гранул чёрного цвета (возможны включения гранул темно-серого цвета) от 0,8 до 2,0 мм с массовой долей палладия (2,1 ± 0,3) %, нанесённого на носитель — оксид алюминия. Физико-химические показатели материала приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7

Физико-химические показатели катализатора БК-Г1 АЮВ 0.005.230 ТУ

Наименование показателя	**Норма**	**Метод контроля**
Фракционный состав, % Массовая доля остатка на сите: — № 20, не более — № 8, не менее — на поддоне, не более	 8 90 2	ГОСТ 16187-70
Прочность при истирании, %, не менее	80	ГОСТ 16188-70
Массовая доля влаги, %, не более	5,0	по ТУ
Насыпная плотность, кг/дм^3	0,75 ± 0,09	ГОСТ 16190-70
Степень очистки ГВС от оксида углерода при исходной концентрации оксида углерода (1400 ± 100) мг/м^3, относительной влажности ГВС (65 ± 15) %, времени контакта (55 ± 5) мс, температуре ГВС (130 ± 3) °С, продолжительности испытания 10 ч, %, не менее	99,3	по ТУ
Компонентный состав (массовая доля), % — палладий — оксид алюминия	 2,1 ± 0,3 остальное	по ТУ

Разработчик материала: ФГБОУ ВО «СПбГТИ (ТУ)». Руководитель темы — доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой общей химической технологии и катализа Власов Е. А., а впоследствии — кандидат технических наук, доцент Постнов А. Ю.

Выводы по главе 2

Предложенный общий метод нормализации параметров газовоздушной среды герметичных помещений обитаемых объектов после пожара и пожаротушения и устройство для его осуществления позволяет:

— производить нормализацию ГВС после применения пожаротушения азотом, аргоном или другими инертными газами и их смесями, а также инергеном, порошками, тонкораспыленной водой и сухой водой;

— очищать от большого числа продуктов горения, опасных для жизни и здоровья людей, находящихся в ГВС в высокой концентрации;

— производить нормализацию ГВС по температуре.

Метод нормализации воздушной среды аварийного отсека ПЛ после пожара и пожаротушения системой САП при снятии избыточного давления с использованием узла очистки воздуха герметичного (комплекса УОВ) позволяет решить задачу нормализации воздушной среды аварийного отсека после пожара и пожаротушения в подводном положении. Комплекс УОВ установлен на ПЛ «Белгород».

3. Перспективные устройства нормализации воздушной среды аварийного отсека в комплексной технологии управления пожарной безопасностью

3.1. Обоснование требований к перспективному устройству нормализации воздушной среды аварийного отсека после пожара

В настоящее время единственным в ВМФ средством очистки воздуха отсеков ПЛ после пожара является комплекс «УОВ», разработанный в период с 2016 по 2020 гг. АО «АСМ» по заказу АО «ЦКБ МТ «Рубин» для проектов, оснащённых системой САП.

Существующий комплекс УОВ не в полной мере реализует общий метод нормализации в рамках реализации КТУПБ вследствие:

— невозможности очистки ГВС, находящейся в аварийном помещении, после снятия давления;

— низкой производительности, при которой снятие давления с помещения объёмом 1000 м^3 и очистка ГВС может занимать до 14 ч (при снимаемом избыточном давлении 0,2 МПа);

— высокой температуры ГВС на выходе из изделия;

— высокой шумности при производительности свыше 100 м^3/ч;

— высокой трудоёмкости технического обслуживания.

Характеристики комплекса «УОВ» и требования к перспективным комплексам очистки — рециркуляционному комплексу РУОВ «Смерч» и перспективной системе «Ураган» — приведены в таблице 3.1.

Работы по разработке комплекса «Смерч» приостановлены после выполнения этапа технического проектирования ввиду приостановки проектирования заказа, в рамках которого он разрабатывался.

Анализ материалов разработок и экспериментальных исследований и испытаний УОВ и РУОВ, требований КТУПБ и обеспечения нор-

Таблица 3.1

Сравнительные характеристики штатных, разрабатываемых и предполагаемых к разработке средств нормализации и очистки воздуха герметичных обитаемых объектов

Наименование параметра	Значение параметра для		
	комплекса «УОВ»	комплекса «РУОВ»	системы «Ураган»
Стадия жизненного цикла	серийный выпуск	разработка приостановлена	предполагается к разработке
Работа в режиме снятия давления	да	да	да
Работа в режиме рециркуляции	нет	да	да
Производительность по воздуху	от 40 до 250 м³/ч	от 600 до 1000 м³/ч	от 400 до 800 м³/ч
Средний ресурс до планового технического обслуживания	–	–	10 ч или 6000 м³
Назначенный ресурс до планового технического обслуживания	2000 м³	5000 м³	–
Автоматический контроль параметров ГВС аварийного помещения (давление, температура, производительность, концентрация ВХВ — оксид углерода, ароматические углеводороды, сажа)	только температура	только температура	да
Расчёт прогнозируемой длительности снятия давления	отсутствует	отсутствует	автоматический
Расчёт прогнозируемой длительности нормализации при работе совместно со средствами очистки воздуха	отсутствует	отсутствует	автоматический
Контроль технического состояния системы и средств очистки воздуха, работающих совместно с ней	отсутствует	отсутствует	автоматический
Управление изделием	ручное	ручное	ручное / дистанционное
Потребляемая мощность	не более 11 кВт	не более 45 кВт	не более 25 кВт

Продолжение таблицы 3.1

Наименование параметра	Значение параметра для		
	комплекса «УОВ»	**комплекса «РУОВ»**	**системы «Ураган»**
Температура воздуха на выходе	(130 ± 30) °С (при 200 м³/ч) (160 ± 60) °С (при 40 м³/ч)	не более 120 °С	(65 ± 5) °С
Совместимость с перспективными многоцелевыми средствами очистки воздуха	нет	нет	да

мализации ГВС на ПЛ в подводном положении, позволяет актуализировать требования к разработке системы РУОВ «Ураган»:

— управление работой комплекса должно осуществляться в автоматическом и ручном режимах на месте его эксплуатации, что требует создания средств для контроля параметров аварийной очищаемой ГВС, поступающей на очистку, и её параметров в процессе технологического цикла очистки;

— должен быть предусмотрен контроль технического состояния изделия и входящих в него средств очистки воздуха;

— необходимо снизить температуру эффективной очистки ГВС;

— необходимо снизить высокую трудоёмкость применения и технического обслуживания изделия;

— необходимо снизить шумность при работе.

Реализация этих требований позволит:

— наиболее полно использовать ресурс в условиях неопределённости параметров ГВС аварийного помещения в конкретной аварийной ситуации;

— использовать комплексы при концентрациях оксида углерода выше 2000 мг/м³, то есть в случае неуспешного тушения пожара на начальных его стадиях, длительного развития аварии;

— производить замену кассет в процессе эксплуатации, исходя из реальной отработки.

Также это позволит расширить применение РУОВ для других герметичных обитаемых объектов (в специальных сооружениях, объектах гражданской обороны) после привязки без необходимости глубокой модернизации [43].

Целесообразно ещё раз подчеркнуть, что речь идёт о комплексах и системах, осуществляющих нормализацию и очистку воздуха герметичных обитаемых объектов после пожаротушения без применения в качестве огнегасителя фреонов (хладонов).

Система РУОВ «Ураган» предназначена для нормализации ГВС герметичных обитаемых объектов свободным объёмом до 2000 м^3 после пожара и пожаротушения герметизацией, системой САП или комплексной системой пожаротушения, сочетающей газовое и пожаротушение тонкодисперсной водой. Параметры нормализуемой ГВС аварийного помещения приведены в таблице 3.2.

Нормализация ГВС по температуре, содержанию кислорода и диоксида углерода, а также осушка воздуха и его доочистка от вредных веществ до установленных норм обитаемости осуществляется штатными средствами объектов защиты, в том числе с возможностью использования унифицированных многофункциональных фильтр-кассет.

Максимальная температура ГВС после нормализации для базового исполнения системы определяется заданной при запуске системы уставкой (от 50 °С до 70 °С) и температурой ГВС до нормализации.

Концентрации компонентов ГВС после нормализации являются одновременно и средними концентрациями компонентов очищенной ГВС при работе системы «Ураган» в режиме снятия давления.

Диапазон контроля по углероду (саже) прият с учётом обеспечения требований безопасности — необходимости контроля концентрации выдуваемой, в случае неисправности системы, пыли сорбента/химического поглотителя, содержащего вредные вещества-присадки (медь, хром и др.).

Предполагается, что система «Ураган» сможет осуществлять нормализацию ГВС того помещения, в котором находится, либо того, с которым соединена воздуховодами или трубопроводами снятия давления

Таблица 3.2

Параметры ГВС герметичных обитаемых объектов после пожара до нормализации и после нормализации системой «Ураган»

Наименование параметра	Значение параметра		Диапазон контроля встроенными средствами контроля (норма точности)
	до нормализации	после нормализации	
Давление ГВС (избыточное), кПа, не более	220	10	от 2,5 до 250 (±1,0)
Температура ГВС, °С	от 20 до 70	не более 70	от 0 до 100 (±0,05)
Относительная влажность ГВС (приведённая к давлению), %	от 50 до 98	не более 98	–
Объёмная доля компонента ГВС, %:			
— кислород	от 10 до 18	от 10 до 18	–
— азот	от 80 до 90	от 80 до 90	–
— диоксид углерода	не более 2	не более 2	–
Концентрация компонента ГВС (приведённая к температуре 20 °С и давлению 101,3 кПа), мг/м^3, не более:			
— ароматические углеводороды (в пересчёте на бензол)	170	0,3	от 0,05 до 5 (±50 %)
— аэрозоли твёрдые и жидкие (от 0,01 до 10 мкм)	720	1,5	от 0,025 до 2,5 (±50 %) по углероду (саже)
— оксид углерода	15 000	15	от 3 до 30 000 (±50 %)
— диоксид азота	40	1,5	–
— хлористый водород	50	2	–
— цианистый водород	5	0,9	–

(ТСД). Суммарное расчётное аэродинамическое сопротивление подающего и принимающего ТСД должно быть не более 5 кПа.

Состав перспективной системы в зависимости от варианта исполнения приведён в таблице 3.3, принципиальная схема — на рисунке 3.1.

Система «Ураган» должна определять прогнозируемую длительность снятия давления до установленного значения, а также прогнози-

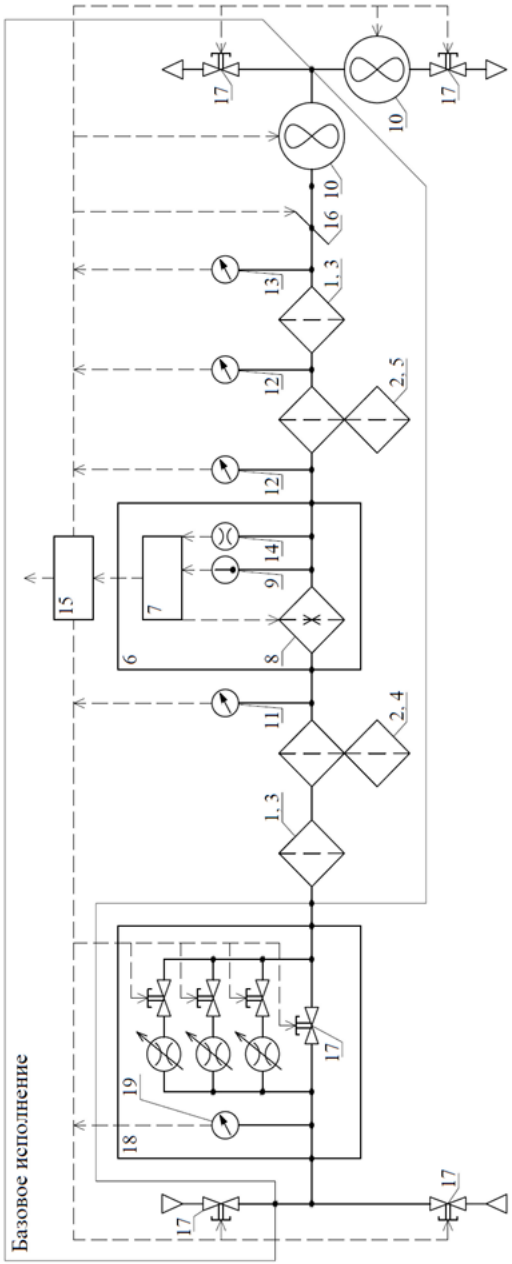


Рис. 3.1 — Принципиальная схема перспективной системы «Ураган» (нумерация позиций в соответствии с таблицей 3.3)

руемую длительность нормализации ГВС аварийного помещения при работе в режиме рециркуляции (для опытного образца — до концентраций оксида углерода на входе и выходе системы 15 мг/м^3, для серийного образца — до установленных значений для конкретного заказа). Параметр должен определяться и уточняться в процессе работы системы с отображением информации на встроенном дисплее.

Таблица 3.3

Комплектность перспективной системы очистки воздуха герметичных обитаемых объектов «Ураган»

Наименование изделия	**Количество на исполнение**	
	«Ураган»	**«Ураган-К»**
1. Фильтр воздушный ФВУм-6	2	2
2. Фильтр воздушный ФВУм-12	2	2
3. Фильтр-кассета ФК-АМ	12	12
4. Фильтр-кассета ФК-УМ	12	12
5. Фильтр-кассета ФК-ПМ	12	12
6. Электронагреватель воздушный канальный ЭНВКм	1	1
7. Модуль ПИД-управления ЭНВКм	1	1
8. Модуль нагревательный ЭНВКм (комплект)	1	1
9. Термопреобразователь сопротивления	1	1
10. Электровентилятор РСС 6,3/63–1.1.1	1	2
11. Газоанализатор ГСА-Б	1	1
12. Газоанализатор ГСА-СО	2	2
13. Газоанализатор ГСА-С	1	1
14. Расходомер	1	1
15. Модуль управления	1	1
16. Заслонка регулируемая с электроприводом	1	1
17. Клапан с электроприводом	2	5
18. Агрегат газораспределительный	–	1
19. Манометр избыточного давления электронный	–	1

Продолжение таблицы 3.3

Наименование изделия	Количество на исполнение	
	«Ураган»	«Ураган-К»
Комплект электромонтажный	1*	1*
Комплект воздуховодов	1*	1*
Имитатор аэродинамического сопротивления СОВ	4*	4*
Имитатор аэродинамического сопротивления ТСД	–	2*
Ящик укладочный маломагнитный ЯУм-2	**	**
Комплект программного обеспечения	1	1
Комплект эксплуатационной документации	1	1
Комплект ЗИП одиночный	1	1

** необходимость поставки оговаривается при заказе;*
*** по отдельному заказу.*

Требования надёжности и стойкости к внешним воздействующим факторам определяются при разработке тактико-технических требований к системе. При этом предполагается, что:

— средний ресурс системы в условиях испытаний должен быть не менее 20 000 м^3 (по объёму ГВС, приведённому к температуре 20 °С и давлению 101,3 кПа), в т.ч. без непосредственного технического обслуживания — не менее 6 000 м^3;

— ресурс системы в условиях эксплуатации должен определяться по техническому состоянию модулем управления по сигналам от встроенных средств газового контроля;

— ресурс электрооборудования системы должен быть не менее 100 ч, в т.ч. без непосредственного технического обслуживания — не менее 10 ч;

— наработка ресурса должна фиксироваться с учётом замены составных частей и комплектующих изделий модулем управления и отображаться на встроенном дисплее.

— среднее время замены фильтр-кассет должно быть не более 30 мин;

— после боевой эксплуатации система и её комплектующие подлежат капитальному ремонту или утилизации.

Отдельное внимание следует уделить необходимости разработки методов и средств подтверждения основных тактико-технических характеристик системы (эффективности очистки и ресурса). В настоящее время уровень стандартизации средств очистки воздуха для объектов коллективной защиты, в т.ч. методов оценки их качества не соответствуют современному научно-техническому уровню, универсальных средств контроля эффективности и ресурса средств очистки воздуха нет [43–46].

3.2. Основные направления работ по разработке средств нормализации воздушной среды аварийного отсека после пожара

Создание перспективных средств нормализации воздушной среды герметичных обитаемых объектов после пожара и пожаротушения при рециркуляции газовоздушной среды аварийного помещения и при регулируемом снятии давления с аварийного помещения требует предварительного проведения научно-исследовательских и опытно конструкторских работ по отдельным направлениям, в рамках которых целесообразно выполнить:

1) математический и физический эксперименты по моделированию пожара в герметичном отсеке с моделированием вариантов очага пожара и горения, применения различных средств пожаротушения;

2) обоснование тактико-технических требований к перспективным комплексам и системам нормализации;

3) разработку новых материалов и устройств, включая [47]:

— разработку катализатора для окисления оксида углерода (прототипы — АК-62, АК-62В, РК-562), химического поглотителя на основе активных углей, модифицированных фуллеренами (прототипы — гидрофобный поглотитель ТУ 20.59.54–464–02068479–2018 и поглотитель ВК-АВЕ ТУ 2165–290–05795731–2007) и высокоэффективного фильтрующего материала (прототипы — фильтровальные материалы *HEPA*);

— средств контроля в очищаемой ГВС содержания ароматических углеводородов, оксида углерода и углерода, избыточного давления;

— клапана с электроприводом в вариантах исполнения для установки на трубопроводы *DN*25 и *DN*100;

— комплектующих изделий электронагревателя воздушного канального — ПИД-регулятора (прототипы — ПЛК-63 и ЧГП-РТ), трубчатого электронагревателя (прототип — ТЭН по ГОСТ 13268-88), датчика температуры с низкой инерционностью и датчика расхода сжатого газа;

— электровентилятора РСС 6,3/63–1.1.1 в литом корпусе со встроенным магнитным пускателем (прототип — центробежный вентилятор *Elektror HRD* 2/4*T*);

— установки газодинамической для проверки аэродинамического сопротивления, а также эффективности и ресурса очистки по оксиду углерода, диоксиду азота, бензолу и контрольному аэрозолю *DEHS*/ДОС, ресурса (пылеемкости) по технической саже (прототип ГДУ по АСДЕ.441372.001 ТО).

Выводы по главе 3

Создание перспективного рециркуляционного узла нормализации воздушной среды аварийного отсека после пожара и пожаротушения требует проведения комплексных работ по исследованию состава воздушной среды эксплуатирующихся и строящихся подводных лодок, формирующейся при пожаре, и применении различных систем и средств пожаротушения, создания новых материалов (сорбентов, катализаторов, фильтровальной ткани) и комплектующих изделий (унифицированных многофункциональных фильтр-кассет, газоанализаторов, датчиков давления и расхода, газораспределительной арматуры, ПИД-регуляторов).

Заключение

Совокупность целевых работ по разработке и внедрению новых неметаллических материалов с повышенным кислородным индексом, средств предаварийного предпожарного контроля, гипоксических сред для ряда энергетически ёмких помещений, систем регулирования воздушной среды или пожартушения нейтральным или инертным газом, создала условия для возможности реализации эффективного узла очистки и нормализации параметров воздушной среды аварийного отсека после пожара и пожаротушения в подводном положении, без всплытия и вентилирования атмосферным воздухом.

Головной образец УОВ установлен на заказе ПЛ «Белгород». Разработка УОВ явилась первым шагом в замыкании технологического цикла в новой комплексной технологии управления пожарной безопасностью герметичных обитаемых объектов.

Совершенствование УОВ должно вестись в направлении уточнения требований к нему, в том числе в результате экспериментальных исследований горения модельного очага, имитирующего пожарную нагрузку заказов, и создании рециркуляционного узла нормализации.

За значительный вклад в создание узла очистки воздуха герметичного УОВ авторы выражают признательность: Авакяну А. С., Алексееву А. В., Бородиной М. А., Бочарову А. В., Вишневецкой Т. А., Власову Е. А., Волковой Ю. С., Воробьеву Д. В., Григорьеву А. М., Дубнякову И. В., Земляному А. В., Зуйкову А. С., Карасеву В. С., Кирьянову Р. Л., Куданову Я. В., Кузнецову Д. В., Майорову И. В., Мальгинову А. В., Мальцевой Н. В., Михайленко В. С., Михееву В. А., Олли М. И., Палькову Р. В., Половинкиной О. Н., Постнову А. Ю., Прокофьеву А. В., Родину В. Г., Ротэрмелю А. Р., Самонину В. В., Смолину А. А., Спиридоновой Е. А., Стародубцеву Е. Л., Хрыловой Е. Д. и Шевченко А. В.

Список сокращений

ВВД — воздух высокого давления
ВМФ — Военно-Морской Флот
ВХВ — вредные химические вещества
ГВС — газовоздушная среда
КТУПБ — Комплексная технология управления пожарной безопасностью
НИОКР — научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы
ОКР — опытно-конструкторская работа
ПЛ — подводная лодка
САП — система азотного пожаротушения
СОВ — средство очистки воздуха
СЧ ОКР — составная часть ОКР
ТСД — трубопровод снятия давления
ТЭН — трубчатый электронагреватель

Список литературы

1. Указ Президента РФ от 01.01.2018 № 2 «Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года». Собрание законодательства Российской Федерации, 2. 08.01.2018, ст. 411.
2. Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ (ред. от 29.12.2022) «О пожарной безопасности», Кодексы и Законы Российской Федерации 2007–2022, © ZAKONRF.INFO.
3. Родин, Г. А. Определение аварийных параметров источников химической опасности / Г. А. Родин, А. В. Морозов // Вестник МАНЭБ. — 2018. — Т. 23, № 1. — С. 20–24.
4. Современное состояние и перспективы развития средств нормализации атмосферы отсеков ПЛ после пожара в подводном положении: Аналитический обзор / Б. Л. Храмов, С. А. Петров, А. Г. Пузанов [и др.] // НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ. — 2021. — № 20(234). — 23 с.
5. Выполнение проектных проработок по повышению пожаробезопасности заказа: Отчёт о составной части ОКР «АСМ–СМ», этап 2 часть 2/Гл. конструктор Петров В. А. — Санкт-Петербург: АО «АСМ», 176 с., 2015.
6. Разработка эффективных режимов и алгоритмов регулирования гипоксической газовоздушной среды в нормальной, предаварийной, аварийной и поставарийной обстановках: Отчёт о составной части ОКР «Среда-СМ» / Научн. рук. Иванов А. О. — Санкт-Петербург: АО «АСМ», 2018.
7. Применение воздушных сред с пониженным содержанием кислорода для обеспечения пожарной безопасности герметичных обитаемых объектов / В. А. Петров, А. О. Иванов, М. А. Каширин, В. А. Михеев // Безопасность жизнедеятельности. — 2018 — № 2 — С. 47–50.
8. Проведение испытаний штатных средств очистки воздуха для проверки их динамической активности и эффективности: Отчёт о состав-

ной части ОКР «Паспортизация ПМ» / Научн. рук. Листочкина Т. М. — Электросталь: АО «ЭНПО «Неорганика», 2018.

9. Средства нормализации газовоздушной среды объектов Военно-Морского Флота после пожара и пожаротушения системой азотного пожаротушения / С. Н. Бударин, В. В. Зайцева, М. А. Кича [и др.] // Вестник МАНЭБ. — 2021. — Т. 26. — № 3. — С. 12–17.
10. Патент № 2636381 C1 Российская Федерация, МПК *A62C* 3/00. Способ нормализации параметров газовоздушной среды герметичных помещений обитаемых объектов после пожара и пожаротушения и устройство для его осуществления: № 2016138763: заявл. 30.09.2016: опубл. 22.11.2017 / В. А. Петров, В. С. Михайленко, М. А. Кича [и др.]; заявитель Акционерное общество «Ассоциация разработчиков и производителей систем мониторинга».
11. Карточка закупки [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://zakupki.gov.ru/epz/order/notice/notice223/common-info.html?noticeInfoId=4185281 (дата обращения: 15.08.2022).
12. Основные технические решения и характеристики штатного средства нормализации газовоздушной среды после пожара и пожаротушения системой азотного пожаротушения / М. А. Кича, В. С. Михайленко, А. В. Бочаров [и др.] // Вестник МАНЭБ. — 2021. — Т. 26. — № 3. — С. 44–48.
13. Средства регулируемого снятия давления, в том числе для обеспечения работы локальных средств очистки воздуха объектов, в которых очищаемая воздушная среда находится под избыточным давлением / С. Н. Бударин, В. В. Зайцева, М. А. Кича [и др.] // Вестник МАНЭБ. — 2021. — Т. 26. — № 3. — С. 31–34.
14. Очистка завлажненных газовых сред от бензола активными углями, модифицированными фуллеренами / Е. А. Спиридонова, Е. Д. Хрылова, В. В. Самонин [и др.] // Физикохимия поверхности и защита материалов. — 2019. — Т. 55. — № 2. — С. 209–214. — *DOI* 10.1134/S0044185619020281.
15. Получение и исследование модифицированного фуллеренами химического поглотителя аммиака на основе активного угля / Е. А. Спиридонова, В. В. Самонин, М. Л. Подвязников,

В. Ю. Морозова // Журнал прикладной химии. — 2020. — Т. 93. — № 5. — С. 683–690. — *DOI* 10.31857/S0044461820050096.

16. Модифицирование активного угля СКТ-6 фуллеренами и определение его структурных и поглотительных характеристик в условиях влажного потока воздуха / Е. А. Спиридонова, А. В. Яковлева, Е. Д. Хрылова, М. Л. Подвязников // Материалы научной конференции «Традиции и инновации», посвящённой 188-й годовщине образования Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета), Санкт-Петербург, 01–02 декабря 2016 года. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), 2016. — С. 246.
17. Яковлева, А. В. Получение активного угля марки СКТ-6, модифицированного фуллеренами, и определение его структурных и поглотительных характеристик в условиях влажного потока воздуха / А. В. Яковлева, Е. А. Спиридонова, М. Л. Подвязников // Неделя науки — 2019: Сборник тезисов IX научно-технической конференции (с международным участием) студентов, аспирантов и молодых учёных в рамках мероприятий, посвящённых 150-летию открытия Периодического закона химических элементов Д. И. Менделеевым, Санкт-Петербург, 01–03 апреля 2019 года. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), 2019. — С. 354.
18. Боровиков, М. О. Применение активного угля, модифицированного фуллеренами, для сорбционной очистки газовых сред от продуктов горения / М. О. Боровиков, Е. А. Спиридонова // Химия и химическое образование XXI века: Сборник материалов VI Всероссийской студенческой конференции с международным участием, посвящённой 310-летию со дня рождения М. В. Ломоносова, Санкт-Петербург, 22–26 марта 2021 года. — Санкт-Петербург: Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, 2021. — С. 61–62.
19. Лаптев, А. Г. Очистка газов от аэрозольных частиц сепараторами с насадками / А. Г. Лаптев, М. И. Фарахов, Р. Ф. Миндубаев;

А. Г. Лаптев, М. И. Фарахов, Р. Ф. Миндубаев. // Казань: Печ. двор, 2003. — *ISBN* 5-94949-020-7.

20. Басманов, П. И. Средства индивидуальной защиты органов дыхания / П. И. Басманов, С. Л. Каминский, А. В. Коробейникова [и др.] // СПб.: ГИПП «Искусство России», 2002. — 400 с.
21. Уайт, П. Высокоэффективная очистка воздуха / П. Уайт, С. Смит / пер. с англ. Б. И. Мягкова, В. Лапенко. — М.: Атомиздат, 1967. — 312 с.
22. Бородина, М. А. Очистка воздушной среды от жидких и твёрдых аэрозолей с использованием фильтра УОВ-ФА / М. А. Бородина, М. А. Кича, В. С. Михайленко // Вестник МАНЭБ. — 2023. — Т. 28, № 1. — С. 28–35.
23. Остроушко, А. А. Очистка газовых выбросов от токсичных веществ на промотированных и допированных катализаторах / А. А. Остроушко, О. В. Русских, М. О. Тонкушина // 1 Уральский международный экологический конгресс «Экологическая безопасность горнопромышленных регионов» Т. 1: сб. науч. тр. — Екатеринбург, 2007. — С. 344–348.
24. Кулиш, О. Н. Перспективы применения технологии некаталитического восстановления оксидов азота для очистки дымовых газов стационарных топливоиспользующих агрегатов / О. Н. Кулиш, С. А. Кужеватов, М. Н. Орлова [и др.] // Чистый город. — 2009. — № 4. — С. 17–23.
25. Кинле, Х. Противогазовая защита / Х. Кинле, Э. Бадер // Активные угли и их промышленное применение / Пер. с нем. Т. Г. Плаченова, С. Д. Колосенцева. — Л.: Химия, 1984. — С. 114–118.
26. Половинкина, О. Н. Очистка воздушной среды от ароматических углеводородов и неорганических вредных веществ с использованием фильтра УОВ-ВХВ / О. Н. Половинкина, М. А. Кича, В. С. Михайленко // Вестник МАНЭБ. — 2023. — Т. 28, № 1. — С. 35–43.
27. Основные технические решения и характеристики газодинамической установки для создания многокомпонентных газовоздушных сред, используемой для проверки средств очистки воздуха /

В. В. Зайцева, М. А. Кича, Д. С. Маловик [и др.] // Вестник МАНЭБ. — 2021. — Т. 26. — № 3. — С. 49–53.

28. Дегтярев, А. В. Формирование каталитических оксидных покрытий на металлических носителях / А. В. Дегтярев, М. А. Кича // Материалы Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, посвящённой Году российского кино, Санкт-Петербург, 31 октября — 02 ноября 2016 года. Том Часть 3. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения, 2017. — С. 154–157.
29. Дегтярев, А. В. Катализаторы на блочных носителях для окисления CO / А. В. Дегтярев, М. А. Кича // Сборник тезисов VI Научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных (с международным участием) «Неделя науки-2016», Санкт-Петербург, 30 марта — 01 2016 года / Санкт-Петербургский государственный технологический институт(технический университет). — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), 2016. — С. 113.
30. Дегтярев, А. В. Катализаторы для очистки воздуха от *CO* / А. В. Дегтярев, М. А. Кича // Материалы научной конференции «Традиции и инновации», посвящённой 188-й годовщине образования Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета), Санкт-Петербург, 01–02 декабря 2016 года. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), 2016. — С. 99.
31. Патент № 2614147 C Российская Федерация, МПК *B*01*J* 37/025, *B*01*J* 23/89. Способ приготовления катализатора и катализатор окисления *CO*: № 2015153925: заявл. 15.12.2015: опубл. 23.03.2017 / Е. А. Власов, А. Ю. Постнов, Н. В. Мальцева [и др.]; заявитель Открытое акционерное общество «Ассоциация разработчиков и производителей систем мониторинга».
32. Технология изготовления катализатора для снаряжения средств очистки воздуха от оксида углерода / Е. И. Кича, В. С. Михайленко, Д. С. Маловик, М. А. Кича // Международный технико-

экономический журнал. — 2021. — № 6. — С. 68–74. — *DOI* 10.34286/1995–4646–2021–81–6–68–74.

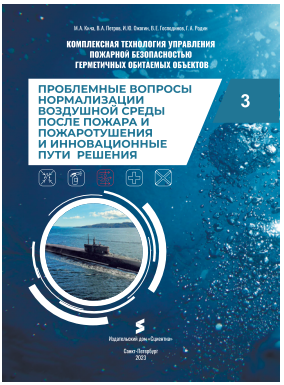
33. Метод изготовления палладиевого катализатора окисления оксида углерода / М. А. Кича, В. С. Михайленко, Д. С. Маловик, Е. И. Кича // Вестник МАНЭБ. — 2022. — Т. 27, № 1. — С. 27–31.
34. Авакян, А. С. Термокаталитическая очистка воздушной среды от оксида углерода с использованием блока УОВ-ФТК / А. С. Авакян, М. А. Кича, В. С. Михайленко // Вестник МАНЭБ. — 2023. — Т. 28, № 1. — С. 44–58.
35. Бухмиров, В. В. Расчёт коэффициента конвективной теплоотдачи (основные критериальные уравнения): Методические указания к выполнению практических и лабораторных занятий. — Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина, 2007. — 39 с.
36. Воскресенский, В. Ю., Мороз Т. Г., Фадеев В. В. Теплотехника: Учебно-практическое пособие. — М.: Московский государственный университет технологий и управления, 2004. — 80 с.
37. Поперечное обтекание пучка труб [Электронный ресурс] — Режим доступа: http://www.poisk-ru/ru/s18118t10.html (дата обращения: 15.08.2022).
38. Теплоотдача при поперечном омывании пучка труб [Электронный ресурс] — Режим доступа: http://www.infopedia.su/9xfe79.html (дата обращения: 15.08.2022).
39. Теплообмен при поперечном обтекании пучка труб [Электронный ресурс] — Режим доступа: http://www.helpiks.org/5-1967.html (дата обращения: 15.08.2022).
40. Экспериментальные данные по коэффициентам теплоотдачи рядов трубчатых электронагревателей в средствах нагрева воздушной среды / В. В. Зайцева, М. А. Кича, Д. С. Маловик [и др.] // Вестник МАНЭБ. — 2021. — Т. 26. — № 3. — С. 54–61.
41. Метод заливки электронных изделий герметиком Виксинт У-1–18 / Е. И. Кича, В. С. Михайленко, Д. С. Маловик, М. А. Кича // Электротехнические и информационные комплек-

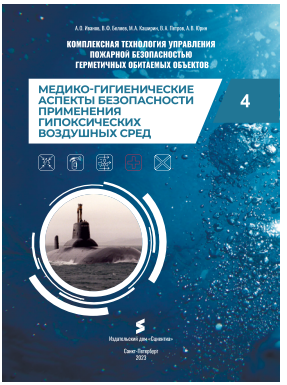
сы и системы. — 2022. — Т. 18. — № 1. — С. 143–153. — *DOI* 10.17122/1999–5458–2022–18–1–143–153.

42. Метод заливки штепсельных разъёмов кабельных сборок герметиками Виксинт У-1–18 и ВГО-1 / Е. И. Кича, М. А. Кича, В. С. Михайленко, Д. С. Маловик // Вестник МАНЭБ. — 2022. — Т. 27, № 1. — С. 41–48.
43. Кича, М. А. Разработка тактико-технических требований к перспективным средствам нормализации воздушной среды после пожара / М. А. Кича, В. А. Валуйский, В. С. Михайленко // Труды Крыловского государственного научного центра. — 2023. — № 2(404). — С. 79–90. — *DOI* 10.24937/2542–2324–2023–2–404–79–90.
44. Кича, М. А. Проблемы определения аэродинамического сопротивления фильтров очистки воздуха и сыпучих материалов для их изготовления / М. А. Кича, В. С. Михайленко, Д. С. Маловик // Экология и развитие общества. — 2022. — № 1–2(38). — С. 36–41.
45. Метод определения аэродинамического сопротивления изделия по внутреннему газовому траку / М. А. Кича, В. С. Михайленко, Д. С. Маловик, Е. И. Кича // Вестник МАНЭБ. — 2022. — Т. 27. — № 1. — С. 48–52.
46. О составе технического проекта и форме представления его документов / С. Н. Бударин, В. С. Михайленко, О. Н. Половинкина [и др.] // Вестник МАНЭБ. — 2022. — Т. 27. — № 2. — С. 5–13.
47. Кича, М. А. Обоснование технического облика комплектующих изделий и неметаллических материалов, необходимых для изготовления перспективных средств нормализации воздушной среды после пожара / М. А. Кича, Е. И. Кича // Экология и развитие общества. — 2022. — № 3–4(39). — С. 88–89.


КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ГЕРМЕТИЧНЫХ ОБИТАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ
КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ
1
Издательский дом «Сигнетик»
Санкт-Петербург
2023


КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ГЕРМЕТИЧНЫХ ОБИТАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ
СИСТЕМЫ ПОЖАРОТУШЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ
2
Издательский дом «Сигнетик»
Санкт-Петербург
2023


КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ГЕРМЕТИЧНЫХ ОБИТАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ
ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ НОРМАЛИЗАЦИИ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ПОСЛЕ ПОЖАРА И ПОЖАРОТУШЕНИЯ И ИННОВАЦИОННЫЕ ПУТИ РЕШЕНИЯ
3
Издательский дом «Сигнетик»
Санкт-Петербург
2023


КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ГЕРМЕТИЧНЫХ ОБИТАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ
МЕДИКО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИПОКСИЧЕСКИХ ВОЗДУШНЫХ СРЕД
4
Издательский дом «Сигнетик»
Санкт-Петербург
2023


КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ГЕРМЕТИЧНЫХ ОБИТАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ
ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ НА НАДВОДНЫХ КОРАБЛЯХ
5
Издательский дом «Сигнетик»
Санкт-Петербург
2023


КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ГЕРМЕТИЧНЫХ ОБИТАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ
ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ЗАКАЗАХ
6
Издательский дом «Сигнетик»
Санкт-Петербург
2023

Научное издание

КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ГЕРМЕТИЧНЫХ ОБИТАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

Монография

В 6 томах

Том 3

Кича Максим Александрович
Петров Василий Александрович
Ожогин Игорь Юрьевич
Господинов Вячеслав Евгеньевич
Родин Геннадий Александрович

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ НОРМАЛИЗАЦИИ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ПОСЛЕ ПОЖАРА И ПОЖАРОТУШЕНИЯ И ИННОВАЦИОННЫЕ ПУТИ РЕШЕНИЯ

Подписано в печать: 24.09.2023 г.
Формат 60×90 1/16. Усл. печ. л. 6.13.
Тираж 500 экз., Заказ № 23/059.

Издательский дом «Сциентиа»
г. Санкт-Петербург, пер. Дегтярный, д. 22, литер А
Тел. +7 (812) 649–93–76
www.scientia-pub.org
email: info@scientia-pub.org

Отпечатано в типографии «Реноме»
г. Санкт-Петербург, наб. Обводного канала, д. 40



ISBN 978-5-6050494-2-5