

УДК

ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИИ ГАЗООБРАЗНЫХ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ОТСЕКЕ БАРОКАМЕРЫ, НЕ ИМЕЮЩЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ИХ УДАЛЕНИЯ

¹Д. Г. Шайхутдинов, ¹А. В. Строй, ²С. А. Иванов*, ²В. В. Мишаков, ²Н. А. Пирогов
¹Служба поисковых и аварийно-спасательных работ Главного штаба Военно-Морского Флота, Санкт-Петербург, Россия
²Специальное конструкторское бюро экспериментального оборудования при институте медико-биологических проблем Российской академии наук, Москва, Россия

© Коллектив авторов, 2018 г.

Проведение вентиляции отсека водолазной барокамеры является обязательным условием для поддержания в нем концентрации вредных газообразных продуктов метаболизма человека не выше предельно-допустимых значений. Организация вентиляции отсека по «открытому» циклу путем его продувки воздухом или газовыми смесями приводит к необходимости наличия большого запаса этих компонентов в составе системы жизнеобеспечения барокамеры. Применение «замкнутого» цикла вентиляции, заключающегося в пропускании воздушного потока в отсеке барокамеры через патроны удаления диоксида углерода и газообразных вредных примесей, приводит к существенному сокращению потребности в свежем воздухе, что актуально при создании мобильных барокомплексов и при проведении режимов лечебной рекомпрессии с применением гелиевых газовых смесей. В статье рассмотрено изменение концентрации вредных примесей оксида углерода, аммиака и ацетона в отсеках барокамеры различного объема при их вентиляции по «открытому» циклу, а также по «замкнутому» циклу при применении только агрегата удаления диоксида углерода. В связи с тем, что в атмосфере отсека одновременно присутствует несколько вредных веществ, оценка изменения их концентрации проводилась с применением суммарного показателя токсичности газовой среды. На примере режима тренировочного спусков водолазов и медицинского персонала на глубину 100 м показано, что использование только агрегата удаления диоксида углерода при вентиляции отсека по «замкнутому» циклу приводит к значительному превышению предельно допустимого значения показателя токсичности во всем диапазоне рассмотренных отсеков, объемом от 1,7 до 3,68 м³. Показано, что длительность пребывания людей в атмосфере с уровнем токсичности, превышающим предельно допустимое значение, зависит от объема отсека. Чем меньше отсек, тем быстрее суммарное содержание вредных веществ достигает предельно допустимого значения уровня токсичности и тем выше содержание вредных веществ в атмосфере отсека к моменту завершения режима тренировочного спуска. Представленные в статье результаты свидетельствуют, что при длительном нахождении в отсеке барокамеры людей проведение вентиляции отсека по «замкнутому циклу» с использованием только агрегата удаления диоксида углерода, недопустимо.

Ключевые слова: морская медицина, водолазная барокамера, вредные газообразные продукты метаболизма человека, вентиляция отсека барокамеры, «открытый» и «замкнутый» цикл вентиляции отсека.

THE DYNAMICS OF THE CONCENTRATION OF GASEOUS HARMFUL SUBSTANCES IN THE COMPARTMENT OF THE PRESSURE CHAMBER DO NOT HAVE THE TECHNICAL MEANS TO REMOVE THEM

¹Damir G. Shaikhutdinov, ¹Alexey V. Stroy, ²Sergei A. Ivanov, ²Vadim V. Mishakov,
²Nikita A. Pirogov

¹Search and rescue Service of the General staff of the Navy, St. Petersburg, Russia
²Special design Bureau of experimental equipment at the Institute of biomedical problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Ventilation of the diving chamber compartment is a prerequisite for maintaining the concentration of harmful gaseous products of human metabolism is not higher than the maximum permissible values. The organization of ventilation of the compartment on the «open» cycle by blowing it with air or gas mixtures, leads to the need for a large stock

of these components as part of the life support system of the chamber. The use of a «closed» ventilation cycle consisting in the transmission of air flow in the compartment of the pressure chamber through the cartridges for the removal of carbon dioxide and gaseous harmful impurities leads to a significant reduction in the need for fresh air, which is important in the creation of mobile barocomplexes and in the modes of therapeutic recompression using helium gas mixtures. The article deals with the change in the concentration of harmful impurities of carbon monoxide, ammonia and acetone in the compartments of the chamber of different volumes in their ventilation on the «open» cycle, as well as on the «closed» cycle when using only the carbon dioxide removal unit. Due to the fact that there are several harmful substances in the atmosphere of the compartment at the same time, the assessment of their concentration was carried out with the use of the total toxicity index of the gas environment. On the example of the regime of training descents of divers and medical personnel to a depth of 100 m it is shown that the use of only the carbon dioxide removal unit in the ventilation compartment on the «closed» cycle leads to a significant excess of the maximum allowable toxicity index in the entire range of compartments, volume from 1,7 to 3,68 m³. It is shown that the duration of stay of people in the atmosphere with the level of toxicity exceeding the limit value depends on the volume of the compartment. The smaller the compartment, the faster the total content of harmful substances reaches the maximum permissible level of toxicity and the higher the content of harmful substances in the atmosphere of the compartment at the time of completion of the training descent. The results presented in the article indicate that with prolonged presence in the compartment of the chamber of people, ventilation of the compartment in a «closed cycle» using only the carbon dioxide removal unit is not permissible.

Key words: marine medicine, diving chamber, harmful gaseous products of human metabolism, ventilation of chamber compartment, «open» and «closed» cycle of compartment ventilation.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2018-4-1-47-53>

Введение. Поддержание в атмосфере отсека барокамеры во время нахождения в нем людей концентрации вредных газообразных продуктов метаболизма человека, не превышающей предельно допустимой (ПДК), является одной из основных задач системы жизнеобеспечения (СЖО) водолазной барокамеры. Это требование обеспечивается вентиляцией отсека барокамеры, которая может быть организована как по «открытому», так и по «замкнутому» циклу.

«Открытый» цикл вентиляции заключается в продувке отсека чистым воздухом, содержание вредных примесей в котором должно отвечать требованию ПВС ВМФ-2002 [1]. Начало проведения вентиляции, ее периодичность, объем воздуха, необходимый для ее проведения, зависят от объема отсека, давления воздуха в отсеке и количества людей, находящихся в нем, и регламентированы ПВС ВМФ-2002 [1]. Вентиляции отсека по «открытому» циклу характеризуется простотой организации, но требует значительного запаса воздуха в СЖО барокамеры.

Снижение запаса сжатого воздуха в СЖО барокамеры можно обеспечить, проводя вентиляцию отсеков по «замкнутому» циклу. В этом случае свежий воздух необходим для создания давления в отсеке, заданного режимом рекомпрессии, и компенсации потерь, вызванных шлюзованием и не герметичностью отсека. Уда-

ление вредных газообразных продуктов метаболизма человека и поддержание их концентрации на уровне не превышающих ПДК обеспечивается патронами удаления вредных веществ, снаряженными химическими соединениями, сорбентами и катализаторами, химически связывающими, адсорбирующими и окисляющими газообразные вещества, находящиеся в потоке воздуха, проходящего через патрон. Применение замкнутого цикла вентиляции отсеков барокамеры актуально при создании мобильных барокомплексов.

Качественный анализ технического состояния СЖО барокамер, оказавшихся востребованными в последнее десятилетие при создании мобильных барокомплексов, проведенный в работе [2], выявил, что при организации вентиляции отсека по «замкнутому» циклу в большинстве случаев задача удаления вредных газообразных продуктов метаболизма человека сводится к удалению только диоксида углерода. Удаление остальных примесей, содержание которых в атмосфере отсека, регламентировано ГОСТ 52264-2004 [3], не обеспечивается. В связи с этим в работе [2] делается вывод о том, что использование таких барокамер для проведения тренировочных режимов компрессии-декомпрессии и лечебных режимов рекомпрессии (кроме оксигаротерапии с применением стационарной дыхательной системы) яв-

ляется небезопасным вследствие накопления в атмосфере отсека вредных веществ.

В связи с этим представляет интерес проведение количественной оценки изменения концентрации газообразных вредных веществ в отсеке барокамеры различного объема как при отсутствии технических средств их удаления, так и при их функционировании по «открытому» и «закрытому» циклу вентиляции.

Целью данной работы являлись:

а) теоретическая оценка:

— изменения концентрации вредных веществ в отсеке барокамеры различного объема во времени без проведения мероприятий по их удалению (за исключением диоксида углерода);

— допустимой продолжительности нахождения человека в отсеке барокамеры до момента достижения в нем ПДК вредных веществ;

— характера изменения концентрации вредных веществ в отсеке барокамеры при проведении мероприятий по их удалению методом вентиляции по «открытому» циклу;

б) экспериментальная оценка:

— изменения концентрации вредных веществ в отсеке барокамеры при его вентиляции по «замкнутому» циклу с использованием патрона удаления вредных примесей.

Материалы и методы. Расчетная оценка изменения концентрации вредных примесей проводилась для отсеков барокамер РКУМу (входящей в состав ПРС-ВМ), БКД-120Т (входящей в состав МКВК и КВК) и РБК-1400 (входящей

Экспериментальная оценка изменения концентрации вредных веществ проводилась для отсека барокамеры КДВ-1600 (входящей в состав барокомплекса «Спаситель»), с работающим патроном удаления вредных примесей. Оценка проводилась на основании экспериментальных результатов, полученных в ходе проведения периодических испытаний комплекса.

Расчетная количественная оценка изменения концентрации вредных газообразных веществ в отсеке барокамеры проводилась только с учетом одного источника их продуцирования — жизнедеятельности человека. Выделения газообразных веществ от неметаллических материалов, используемых в интерьере отсека, выделения от технологической аппаратуры, установленной в отсеке, и санитарно-бытовых устройств не учитывались.

Экспериментальная оценка изменения концентрации вредных примесей проводилась с учетом всех источников их продуцирования, находящихся в отсеке.

Номенклатура газообразных вредных веществ, подлежащих контролю в атмосфере отсека водолазных барокамер как длительного пребывания (ДП), так и кратковременного пребывания (КП) определена ГОСТ 52264-2004 [3]. Средняя суточная скорость их выделения в отсек представлена в ГОСТ 50804-95 [4]. В табл. 1 приведены значения предельно-допустимой концентрации, контролируемых вредных веществ и скорость их выделения.

Таблица 1

Номенклатура вредных веществ, подлежащих контролю в атмосфере отсека, значения их предельно-допустимой концентрации и средней суточной скорости выделения в отсек

Наименование вредного вещества	Предельно-допустимая концентрация, мг/м ³	Средняя скорость выделения, мг/сут
Оксид углерода	5,0	113,0±16,6
Аммиак	0,8	6,0±0,6
Ацетон	5,0	5,7±3,4
Предельные углеводороды (в пересчете на декан [C ₁₀ H ₂₂])	35,0	15,3±0,8
Органические вещества (в основном углеводороды)		
— в пересчете на углерод	50,0	—
— по окисляемости	65,0	—
Сероводород	0,8	—
Оксиды азота	0,1	—

в состав МКВК-60 и МАБ), не имеющих в составе СЖО устройств удаления вредных веществ, а также отсеков барокамеры КДВ-1600 (входящей в состав барокомплекса «Спаситель») при условии отключения патрона удаления вредных примесей.

Расчетная оценка изменения концентрации вредных веществ в отсеке барокамеры проведена для режима тренировочных спусков водолазов и медицинского состава на глубину 100 м.

Длительность проведения данного режима позволяет выявить характерные зависимости изме-

нения концентрации вредных веществ в отсеках различного объема с применением вентиляции по «открытому» циклу, время достижения ПДК без проведения мероприятий по удалению вредных примесей. Кроме того, данный пример позволяет оценить масштаб нарастания концентрации вредных примесей в ходе проведения воздушных режимов лечебной декомпрессии с использованием только средств удаления диоксида углерода при вентиляции отсека по «замкнутому» циклу.

Оценка изменения концентрации вредных веществ в отсеке проводилась по оксиду углерода, аммиаку и ацетону, являющимся наиболее токсичными веществами, скорость выделения которых известна. Частичное удаление аммиака из атмосферы отсека за счет его растворения в конденсате в расчете не учитывалось.

Расчет изменения концентрации каждого вредного вещества в атмосфере отсека проводился методом материального баланса с временным интервалом 1 мин с использованием модели «идеального перемешивания» [5]. При этом приняты следующие допущения:

— в интервале абсолютного давления воздуха в отсеке барокамеры от 0,1 МПа до 1,1 МПа все газообразные компоненты, входящие в состав воздуха в отсеке, подчиняются закону идеального газа;

— вентиляция отсека воздухом по «открытому» циклу проводится при постоянном давлении в отсеке.

Концентрация каждого вредного вещества в атмосфере отсека при компрессии («Погружение») рассчитывалась по формуле:

$$C_{\tau} = \frac{qn + C_{(\tau-1)}VP_{(\tau-1)}}{VP_{\tau}} \quad (1).$$

Скорость погружения принята равной 20 м вод. ст./мин ($2,0 \text{ кгс/см}^2$) [1].

Концентрация вредного вещества в атмосфере отсека при постоянном давлении («Нахождение на грунте») рассчитывалась по формуле:

$$C_{\tau} = \frac{qn}{VP_{\tau}} + C_{(\tau-1)} \quad (2).$$

Концентрация вредного вещества в атмосфере отсека при понижении давления («Всплытие») определялась как:

$$C_{\tau} = \frac{qn + C_{(\tau-1)}VP_{(\tau-1)} - C_{(\tau-1)}V(P_{(\tau-1)} - P_{\tau})}{VP_{\tau}} \quad (3).$$

Скорость сброса давления из отсека (скорость «всплытия») соответствовала скорости, указан-

ной в режиме тренировочных спусков водолазов и медицинского состава на глубину 100 м [1].

Изменение концентрации вещества в атмосфере отсека при его вентиляции по «открытому» циклу рассчитывалась следующим образом:

$$C_{\tau} = \frac{qn + C_{(\tau-1)}VP_{\tau} - C_{(\tau-1)}V}{VP_{\tau}} \quad (4).$$

В формулах 1–4 используются следующие обозначения: C_{τ} — концентрация вещества в данный момент времени, мг/м^3 ; q — минутная скорость выделения вредного вещества, мг/мин ; n — количество человек, находящихся в отсеке; $C_{(\tau-1)}$ — концентрация вредного вещества в атмосфере в предыдущий временной интервал, мг/м^3 ; V — объем отсека барокамеры, м^3 ; $P_{(\tau-1)}$ — абсолютное давление в отсеке в предыдущий временной интервал, кгс/см^2 ; P_{τ} — абсолютное давление в отсеке на данный момент времени, кгс/см^2 ; v — объем воздуха, выходящий из отсека, в ходе его вентиляции, м^3 .

Время начала первой и последующей вентиляции, а также объем подаваемого в отсек воздуха в ходе ее проведения определялись в соответствии с требованием ПВС ВМФ-2002 [1].

Начало первой вентиляции определялось как:

$$C_{\tau} = \frac{qn + C_{(\tau-1)}VP_{(\tau-1)}}{VP_{\tau}} \quad (5).$$

Время проведения последующих вентиляций равно:

$$C_{\tau} = \frac{qn + C_{(\tau-1)}VP_{(\tau-1)}}{VP_{\tau}} \quad (6).$$

Объем чистого воздуха, необходимый для проведения текущей вентиляции отсека, определялся по соотношению:

$$C_{\tau} = \frac{qn + C_{(\tau-1)}VP_{(\tau-1)}}{VP_{\tau}} \quad (7),$$

где T и T_i — время, мин; V — объем отсека барокамеры, в формуле 5 используется размерность л, в формуле 7 — м^3 ; n — количество человек, находящихся в отсеке; P — давление в отсеке на момент проведения вентиляции, кгс/см^2 .

Поскольку в атмосфере отсека присутствует несколько вредных веществ, оценка изменения их концентрации в отсеках проводилась с использованием суммарного показателя токсичности газовой среды [4], численное значение которого рассчитывалось следующим образом:

$$C_{\tau} = \frac{qn + C_{(\tau-1)}VP_{(\tau-1)}}{VP_{\tau}} \quad (8)$$

где $C_1, C_2 \dots C_i$ — фактические концентрации отдельных токсичных веществ в атмосфере отсека, $\text{мг}/\text{м}^3$; ПДК₁, ПДК₂ ... ПДК_i — предельно допустимые концентрации этих веществ.

Условием достижения предельно допустимого уровня токсичности вредных веществ

Результаты исследования. Результаты эксперимента по определению концентрации оксида углерода, аммиака и ацетона при вентилировании отсека барокамеры КДВ-1600 по «замкнутому» циклу представлены в табл. 2.

На основании полученных экспериментальных данных определен показатель токсичности, соответствующий суммарному воздей-

Таблица 2

Концентрация оксида углерода, аммиака и ацетона измеренная в отсеке барокамеры КДВ-1600 при проверке работоспособности штатного патрона удаления вредных примесей

Время, мин	Концентрация диоксида углерода, $\text{мг}/\text{м}^3$		Концентрация аммиака, $\text{мг}/\text{м}^3$		Концентрация ацетона, $\text{мг}/\text{м}^3$	
	измеренная	ПДК	измеренная	ПДК	измеренная	ПДК
0	—	5,0	0,04	0,8	<0,002	5,0
60	0,5		0,051		0,02	
120	0,5		0,059		0,02	
180	0,5		0,07		0,02	

в атмосфере отсека является равенство показателя токсичности единице.

Экспериментальная оценка изменения концентрации вредных примесей в отсеке барокамеры КДВ-1600 проводилась по следующей методике:

— определялась фактическая концентрация оксида углерода, аммиака и ацетона в отсеке барокамеры;

— затем в отсек помещались три испытателя, после чего в отсеке повышалось давление воздуха до $0,02 \text{ кгс}/\text{см}^2$ (2,0 м вод. ст.) и включался в работу патрон удаления диоксида углерода. Контроль содержания кислорода и диоксида углерода в атмосфере отсека проводился прибором комплексного контроля гипербарической газовой среды «КОН-ВОЙ-2М», модификации 01. При достижении концентрации кислорода в отсеке менее 20% в отсек проводилась его дозированная подача до достижения концентрации не более 21%;

— через час пребывания в отсеке людей проводился первый отбор пробы из атмосферы отсека. Затем включался патрон удаления вредных примесей, установленный в отсеке, после чего отборы атмосферы отсека проводили каждый час. Общее время нахождения людей в отсеке составило 3 ч 10 мин.

Отбор проб атмосферы и их анализ проводился специалистами ООО «Эко Тест Экспресс» г. Москва. В качестве оборудования для отбора проб использовался аспиратор ПУ-4Э, зав. № 5958, поверка которого действительна до 17.03.2018 г.

ствию оксида углерода, аммиака и ацетона, находящихся в атмосфере отсека барокамеры, и построена графическая зависимость его изменения во времени, представленная на рисунке.

На этом же рисунке представлены расчетные графические зависимости изменения показателя токсичности для барокамер с отсеками объемом от 1,7 до $3,86 \text{ м}^3$ при их вентилировании как по «открытому» циклу, так и по «замкнутому» циклу с использованием только агрегата удаления диоксида углерода.

При проведении вентиляции по «открытому» циклу значение показателя токсичности в отсеке барокамеры к моменту завершения режима тренировочного спуска на 100 м не превышает 0,025, что существенно меньше предельно допустимого значения.

При проведении вентиляции отсека по «замкнутому» циклу без применения агрегата удаления вредных продуктов метаболизма человека, значение показателя токсичности к моменту завершения тренировочного спуска во всех отсеках рассмотренных барокамер превышает предельно допустимую величину. При этом чем меньше объем барокамеры, тем быстрее достигается предельно допустимое значение показателя токсичности и тем выше его величина на момент завершения режима тренировочного спуска.

Использование агрегата удаления вредных веществ обеспечивает показатель токсичности в отсеке барокамеры при проведении вентиля-

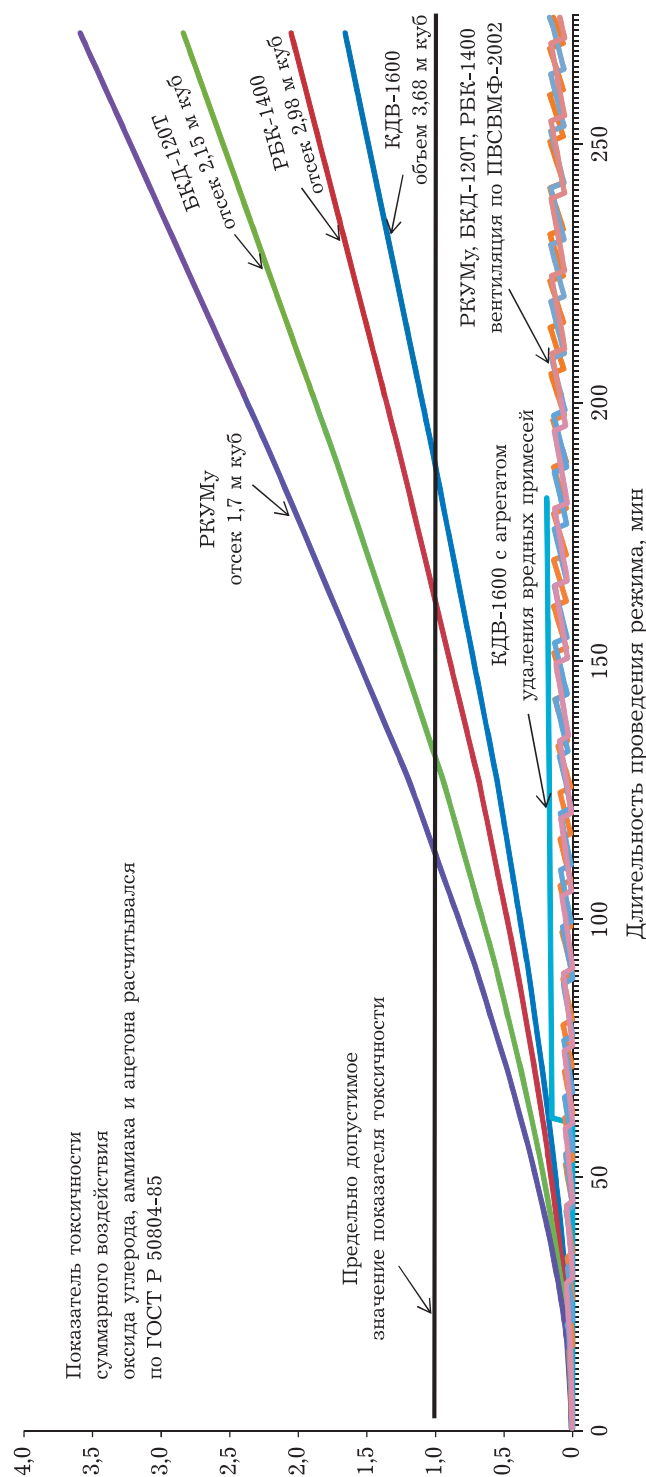


Рисунок. Измерение показателя токсичности, рассчитанного по суммарному воздействию диоксида углерода, аммиака и ацетона, в барокамерах с отсеками различного объема. Режим — тренировочный спуск на 100 м. Два человека в отсеке

ции по «замкнутому» циклу на том же уровне, что при проведении вентиляции отсека по «открытому» циклу.

Видно, что эксплуатация барокамер в режиме вентиляции по «замкнутому» циклу с использованием только патронов удаления диоксида углерода приводит к недопустимому накоплению в атмосфере отсека вредных веществ. К моменту завершения режима тренировочного спуска на 100 м показатель токсичности даже в отсеке КДВ-1600, обладающий максимальным объемом, превышает предельно допустимое значение в 1,5 раза, а в отсеке минимального объема (РКУМу) — в 3,5 раза.

При проведении лечебных режимов [1], характеризующихся длительным периодом (от 1 до 5 суток), превышение показателя токсичности максимально допустимого значения может достигнуть катастрофических значений.

На рисунке также представлена графическая зависимость показателя токсичности в отсеках этих же камер при их вентилировании в соответствии с требованием ПВС-ВМФ-2002, а также зависимость показателя токсичности в отсеке барокамеры КДВ-1600 при работающем патроне удаления вредных примесей, построенная по данным эксперимента. Видно, что применение патрона удаления вредных примесей при «замкнутом» цикле вентиляции или выполнение требования ПВС ВМФ-2002 по вентилированию отсеков воздухом по открытому циклу исключает возможность накопления вредных веществ в атмосфере отсека в количестве, превышающем предельно допустимые нормы.

Заключение.

1. Полученные результаты свидетельствуют, что применение «замкнутого» цикла вентиляции отсеков барокамер с использованием только средств очистки атмосферы от диоксида углерода недопустимо.

2. При отсутствии технических средств удаления вредных примесей из атмосферы отсека необходимо строго выполнять требования ПВС ВМФ-2002 в части проведения вентиляции отсека воздухом или КАГС.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Правила водолазной службы Военно-Морского Флота. ПВС ВМФ-2002. Часть II. Медицинское обеспечение водолазов Военно-Морского Флота.* Утверждены приказом главнокомандующего Военно-Морским Флотом от 24 декабря 2002 г. № 506. <http://docs.cntd.ru/document/1200043318>.
2. Логунов А.Т., Гришин В.И., Павлов Н.Б., Соколов Г.М. *Современное состояние, тенденции и перспективы разработок отечественных наземных технических средств гипербарической медицинской помощи в системе медицинского обеспечения спасательных и водолазных работ* // Морская медицина. 2015. Т. 1, № 1. С. 51–62
3. *ГОСТ 52264-2004. Барокамеры водолазные. Общие технические условия.* М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. 38 с.
4. *ГОСТ 50804-95. Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате.* М.: ИПК Издательство стандартов, 1995. 119 с.
5. Кафаров В.В., Дорохов И.Н. *Системный анализ процессов химической технологии. Основы стратегии.* Книга 1. М.: Наука, 1976. 500 с.

REFERENCES

1. *Rules of diving service of Navy. PVS VMF-2002. Part II. Medical support of divers of Navy.* Are approved by the order of the commander-in-chief of Navy of December 24, 2002, N 506 <http://docs.cntd.ru/document/1200043318>.
2. Logunov A.T., Grishin N.I., Pavlov N.B., Sokolov G.M. *Current state of, trends in, and prospects for the development of domestic terrestrial technical means of hyperbaric oxygenation intended for the medical security of rescue and diving operations.* Morskaya medizina, 2015, Vol. 1, No. 1, pp. 51–62.
3. *GOST 52264-2004. Diving pressures chamber. Common technical specifications.* Moscow: Izdate'stvo Standartov, 2004, 38 p.
4. *GOST 50804-95. The habitat of the astronaut in the piloted spacecraft.* Moscow: Izdate'stvo Standartov, 1995, 119 p.
5. Kafarov V.V., Dorohov I.N. *Sistem analysis of the processes of chemical technology. Fundamentals of strategy.* Book 1. Moscow: Izdate'stvo Nauka, 1976, 500 p.

Поступила в редакцию / Received by the Editor: 26.02.2018 г.

Контакт: Иванов Сергей Александрович, e-mail: skb-imbp@bk.ru

Сведения об авторах:

Шайхутдинов Дамир Габдулхатович — начальник службы поисковых и аварийно-спасательных работ Главного штаба Военно-Морского Флота, капитан первого ранга; 190195, Санкт-Петербург, Адмиралтейский проезд, д. 1;

Строй Алексей Владимирович — Главный инспектор, водолазный, службы поисковых и аварийно-спасательных работ Главного штаба Военно-Морского Флота, подполковник медицинской службы; 190195, Санкт-Петербург, Адмиралтейский проезд, д. 1;

Иванов Сергей Александрович — кандидат химических наук, Первый заместитель Генерального директора — Главного конструктора ЗАО «СКБ ЭО при ИМБП РАН»; 141400, Московская обл., Химки, Вашутинское шоссе, д. 1, корп. 1; e-mail: skb-imbp@bk.ru;

Мишаков Вадим Владимирович — заместитель Главного конструктора ЗАО «СКБ ЭО при ИМБП РАН», 141400, Московская обл., Химки, Вашутинское шоссе, д. 1, корп. 1; e-mail: skb-imbp@bk.ru;

Пирогов Никита Андреевич — ведущий инженер-конструктор ЗАО «СКБ ЭО при ИМБП РАН», 141400, Московская обл., Химки, Вашутинское шоссе, д. 1, корп. 1; e-mail: skb-imbp@bk.ru.