

ПРОБЛЕМЫ ТОКСИКОЛОГИИ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОДОЛАЗНЫХ БАРОКОМПЛЕКСОВ (БАРОКАМЕР) И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Логунов Алексей Тимофеевич

Генеральный директор – главный конструктор
ЗАО «СКБ ЭО при ИМБП РАН»

Соколов Геннадий Михайлович

старший научный сотрудник ГНЦ РФ – ИМБП РАН

Водолазные барокомплексы

Судовые



Мобильные



Береговые



Основные факторы, влияющие на пребывание в барокамерах (обитаемость) и системы жизнеобеспечения

Требования определены:

1. ГОСТ Р 52264-2004 Барокамеры водолазные. Общие технические условия.
2. ГОСТ Р 57217-2016 Барокамеры медицинские многоместные с рабочим давлением газовой среды 1,0 МПа. Общие технические требования.

Газовая среда	Микроклимат	Бытовые условия	Обеспечение безопасности
<ul style="list-style-type: none">- исходные газы до компрессии;- подаваемые газы (воздух, индифферентные газы, O₂);- вредные газовые вещества (ВГВ);- микрофлора и запылённость;- газоснабжение;- газовый анализ;- поддержание параметров компрессии, изопрессии и декомпрессии;- вентиляция;- очистка;	<ul style="list-style-type: none">- температура;- влажность;- скорость газовых потоков;- шум и вибрация;- электромагнитные поля;- интенсивность ИК- и УФ-излучения от стенок;	<ul style="list-style-type: none">- размещение в отсеках;- распорядок дня, режим работы и отдыха (при лечебной рекомпрессии - соблюдение медицинских назначений и процедур);- питание и приём жидкости;- санитарно-фановая система;- энергоснабжение, освещение, связь;	<ul style="list-style-type: none">- противопожарная система;- система аварийного дыхания;- система аварийного энергоснабжения;- система медицинского контроля;

ВАЖНЕЙШИЕ

Технические характеристики барокамер, связанные с обитаемостью

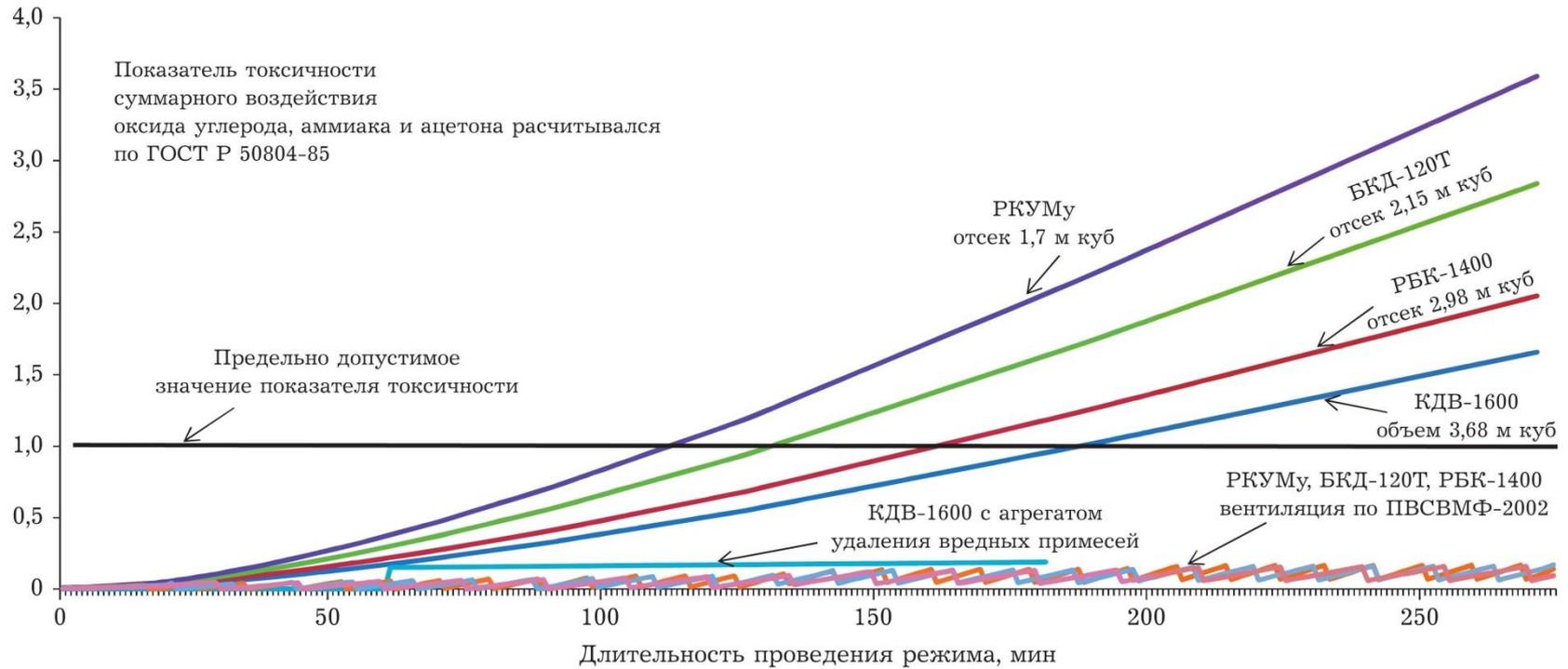
Наименование характеристики	Значение				
	РКУМу	БКД-120Т	РБК-1400	НАУХ-Starcom 1800/11, Сочи	КДВ-1600
Рабочее давление, м вод. ст.	100	100	100	100	100
Диаметр корпуса, м	1,1	1,2	1,4	1,8	1,6
Количество отсеков	1	1	1	2	2
Объем отсеков и предкамер, м ³	отсек - 1,5, предкамера - 0,5	отсек - 2,15, предкамера - 0,9	отсек - 2,98, предкамера - 0,96	13,5	7,0 (3,38 + 3,62)
Рабочая газовая среда: — в отсеках — в предкамере	Воздух Воздух	Воздух, КАГС Воздух	Воздух, КАГС Воздух	Воздух, КАГС —	Воздух, КАГС —
Поддержание заданных параметров микроклимата	Вентиляция	Грелки внутри отсека и предкамеры. Вентиляция	Наружный электрообогрев нижней части корпуса. Вентиляция	Обогрев внутренними электрогрелками, охлаждение кондиционером. Вентиляция	Система кондиционирования. Вентиляция
Очистка от CO ₂	Нет	Есть	Есть	Есть	Есть
Очистка от вредных веществ	Нет	Нет	Нет	Нет	Есть
Контроль состава газовой среды	Контроль содержания O ₂ и CO ₂ в отбираемых пробах	Постоянный контроль параметров газовой среды	Постоянный контроль содержания O ₂ и CO ₂	Постоянный контроль состава газовой среды (O ₂ и CO ₂ , He), температуры и влажности	Постоянный контроль состава газовой среды (O ₂ и CO ₂ , He), температуры и влажности
Система вентиляция	Открытая	а) открытая; б) замкнутая	а) открытая; б) замкнутая	а) открытая б) замкнутая	а) открытая; б) замкнутая
Возможность и средства проведения ГБО	Нет	Есть с использованием СДС	Есть с использованием СДС	Есть с использованием СДС	Есть с использованием СДС
Возможность использования подогреваемых КГС	Нет	Нет	Нет	Нет	Есть
Медицинский контроль	Нет	Нет	Нет	Нет	Система оперативного медицинского контроля

Расчетное время достижения ПДК основных вредных веществ в газовой среде барокамер, не имеющих очистки от этих веществ, в зависимости от объема барокамер и количества человек

№ п/п	Наименование вредных веществ	Средне-суточное выделение, мг/сут	ПДК мг/м ³	Время достижения ПДК (часы) в зависимости от объема отсеков барокамер и числа людей									
				1,7 м ³ в РКУМу		2,15 м ³ в БДК-120Т		2,98 м ³ в РБК-1400		13,5 м ³ в НАУХ-Starcom 1800/11		3,38 + 3,62 м ³ в КДВ-1600	
				1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
				Кол-во человек:									
1	Оксид углерода	113 ± 16,6	5,0	1,8	0,9	2,3	1,1	3,2	1,6	14,3	7,2	нет	нет
2	Ацетон	5,7 ± 3,4	0,5	3,6	1,8	4,5	2,3	6,3	3,1	28,4	14,2	нет	нет
3	Метанол*	1,52 ± 0,7	0,2	5,4	2,7	6,8	3,4	9,4	4,7	42,6	21,3	нет	нет
4	Аммиак и аминосоединения	6,0 ± 0,6	0,8	5,4	2,7	6,9	3,4	9,5	4,8	43,2	21,6	нет	нет
5	Альдегиды*	1,4 ± 0,1	1,0	29,1	14,6	36,9	18,4	51,1	25,5	231,4	115,7	нет	нет
6	Этанол*	8,45 ± 4,0	10,0	48,3	24,1	61,1	30,5	84,6	42,3	383,4	191,7	нет	нет
7	Уксусная кислота	6,3 ± 0,7	10,0	64,8	32,4	81,9	41,0	113,5	56,8	514,3	257,1	нет	нет
8	Углеводороды	15,3 ± 0,8	35,0	93,3	46,7	118,0	59,0	163,6	81,8	741,2	370,6	нет	нет
9	Ацетальдегид	0,8 ± 0,1	5,0	255,0	127,5	322,5	161,3	447,0	223,5	2025,0	1012,5	нет	нет

Примечание: Примечание: 1. КДВ-1600 барокомплекса «Спаситель» производства ЗАО «СКБ ЭО при ИМБП РАН» имеет системы жизнеобеспечения (СЖО), рассчитанные на длительное пребывание человека под давлением.
2. ПДК ВГВ, помеченных звездочкой (*), взяты из ГОСТ Р 50804-95 для 360-суточных полетов

Показатели токсичности, рассчитанные по суммарному воздействию диоксида углерода, аммиака и ацетона в барокамерах с отсеками различного объёма



Примечание: Суммарный показатель токсичности газовой среды рассчитан по формуле: $C_1 / ПДК_1 + C_2 / ПДК_2 + \dots + C_n / ПДК_n \leq 1$, где C – фактическая концентрация ВГВ. Режим – тренировочный спуск на 100 м. Два человека в отсеке.

Теоретические и экспериментальные данные по накоплению в газовой среде барокамер ВГВ свидетельствуют о том, что их содержание нужно жестко контролировать и проводить полноценную очистку газовой среды.

Конструктивные недостатки барокамер, способствующие ухудшению микроклимата и выделению ВГВ

Отечественные барокамеры в отличие от КДВ-1600 имеют менее совершенные системы поддержания микроклимата, отсутствуют системы очистки от ВГВ и контроль их содержания, санитарно-фановая система и система оперативного медконтроля.

В связи с тем, что в мобильных барокамерах замкнутая система вентиляции и очистки от CO_2 имеет не проточную, а блочную конструкцию, возникают проблемы со снижением влажности газовой среды (которая часто держится на уровне около 100%) и с проведением дезодорации.

В некоторых барокамерах имеются затруднения с удалением конденсата с поверхностей барокамеры и из подпайольного пространства.

При повышении температуры в конденсате происходит рост микрофлоры и выделение в газовую среду микроорганизмов и ВГВ. Методика электрообогрева нижней части корпуса барокамеры, применённая в РБК-1400, является фактически методом, способствующим размножению микрофлоры и выделению из неё ВГВ. Получается, что в этой барокамере применён комплексный метод выращивания микрофлоры и возгонки ВГВ из подпайольного пространства и находящихся в них микроорганизмов.

В апреле 2018 г. в 1477 ВМКГ МО РФ Владивостока в этой барокамере проводилось лечение водолаза под давлением до 100 м вод.ст. в течение 2 суток на воздухе с вентиляцией через каждые 90 минут. Лечение тяжёлой степени баротравмы лёгких дало положительный результат. Однако по данным обследования после лечения были отмечены изменения в состоянии здоровья. Руководители лечения считают, что они, скорее всего, были связаны с воздействием ВГВ антропогенного происхождения, с использованием вместо санитарно-фановой системы ёмкости с крышкой (которая также подогревается), а также повторным испарением конденсата системой электрообогрева нижней части барокамеры. При применении лечебной рекомпрессии с использованием КАГС, более продолжительной и без применения частой и объёмной вентиляции, последствия такого лечения могли быть ещё более серьёзными.



Режимы лечебной рекомпрессии

	Воздушные режимы			Кислородно-азотно-гелиевые режимы	Режимы ДП
Максимальное давление, м вод. ст.	50	70	100	100	
	Общее время режима (ч, мин)				
Межотраслевые правила	22.30 - 26.50	38.05 - 42.40	60.40	72.10 - 126.08	
ПВС ВМФ 2002	25.20 - 37.36	37.27 - 52.57	50.37 - 58.22	72.10 - 126.08	
Режимы ГНЦ РФ – ИМБП РАН	28.53 - 51.55	41.29 - 52.56	53.54 - 60.05	70 м (В) : 104.55 - 147.55 80 м (КГС) : 127.05 - 146.05 100 м (КГС) : 134.15 - 197.00	

1. Воздушные режимы лечебной рекомпрессии ИМБП являются откорректированными соответствующими режимами ПВС ВМФ – 2002. Режимы, утверждённые руководителем ФМБА России 28.01.2005, являются более эффективными и безопасными, чем режимы «Межотраслевых правил» и ПВС ВМФ – 2002, что было подтверждено практикой и математическим анализом, проведённым В.П. Николаевым.
2. Режимы длительного пребывания (ДП) ИМБП предназначены для случаев позднего поступления пострадавших, а также тяжёлых случаев заболевания декомпрессионной болезнью и баротравмой лёгких. Они являются самыми эффективными в мире. На методику получено разрешение.

Разрешение на режимы ДП ГНЦ РФ – ИМБП РАН

Серия АА 0000758

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО НАДЗОРУ В СФЕРЕ
ЗДРАВООХРАНЕНИЯ И СОЦИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

РАЗРЕШЕНИЕ
НА ПРИМЕНЕНИЕ НОВОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

ФС № 2010/ 378 от « 13 » сентября 2010 г.

«Режимы лечебной рекомпрессии методом длительного пребывания под повышенным давлением»

Разрешение выдано на имя:
ГНЦ РФ Институт медико-биологических проблем РАН.
(123007, г.Москва, Хорошевское ш., 76-А).

Показания к использованию медицинской технологии:

- позднее поступление больных декомпрессионной болезнью на лечение;
- позднее поступление больных баротравмой легких на лечение.

Противопоказания к использованию медицинской технологии:

- сроки от момента возникновения заболевания более 3 недель;
- наличие симптомов отравления кислородом в ходе ранее проведенного неэффективного лечения ГБО;
- клаустрофобия и реактивное состояние;
- эпилепсия, почечная колика, «острый живот», другие неотложные состояния;
- беременность;
- инфекции верхних дыхательных путей.

Возможные осложнения при использовании медицинской технологии и способы их устранения:

- развитие закрытого или клапанного пневмоторакса - повысить давление в отсеке до улучшения самочувствия пострадавшего и производить удаление воздуха из плевральной полости, повторное появление признаков пневмоторакса - мероприятия по удалению воздуха или обеспечивается постоянный дренаж плевральной полости;

Серия АБ 0004430

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО НАДЗОРУ В СФЕРЕ
ЗДРАВООХРАНЕНИЯ И СОЦИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

Продолжение

Лист 2 из 2

ФС № 2010/ 378 от « 13 » сентября 2010 г.

- судорожная форма отравления кислородом по клинической картине напоминающая коллапс - корректировка состава газовой среды в барокамере в сторону уменьшения парциального давления кислорода, антиоксидантная терапия;
- баротравма лор-органов - в наружный слуховой проход вводится стерильная марлевая турунда, смоченная 70% спиртом, после чего ухо закрывается ватным тампоном и повязкой, разрыв барабанной перепонки - наложение на ухо стерильной повязки, при баротравме придаточных пазух носа больному даются аналгетики и прикладывается к лицу, лед или полотенце, смоченное холодной водой, продолжение симптоматического лечения в барокамере.

Врио руководителя _____ Е.А.Тельнова
(подпись, печать)

Расчёт вентиляции отсека барокамеры

Заданные условия	
Минимальный объём отсека	1,5 м ³ – в РКУМу
Наименьшее начальное давление воздушного режима лечебной рекомпрессии	50 м вод.ст. – режим Ia ПВС ВМФ - 2002
Минимальное время воздушного режима лечебной рекомпрессии	25 ч 20 мин
Количество человек в отсеке	1
Результаты	
Необходимое число вентиляций	83
Объём воздуха	230 м ³
Примечания: 1. Для 2 человек объём воздуха для вентиляции – примерно в 2 раза больше. 2. Для барокамер большего объёма эти цифры будут примерно такими же, поскольку объём вентиляции зависит от количества людей и времени их пребывания в отсеке. При этом увеличиваются промежутки времени между вентиляциями и объём воздуха для каждой вентиляции.	

Барокомплекс «СПАСИТЕЛЬ» и его система очистки



Барокамера КДВ-1600 барокомплекса «Спаситель»

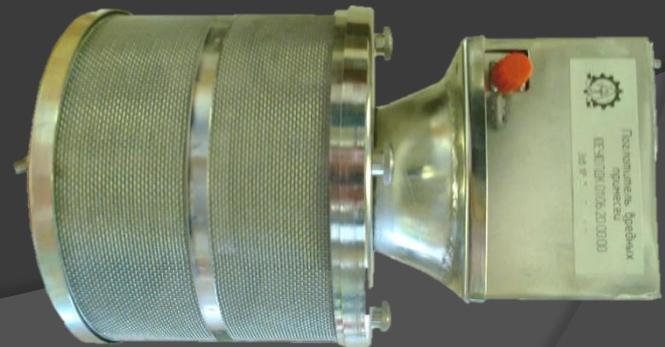
Комплекс предназначен для применения в соответствии со специальным функциональным назначением по обеспечению водолазных и тренировочных спусков, для научных исследований в области поисково-спасательной техники, а также для оказания экстренной помощи.



Система очистки газовой среды



Поглотитель CO₂



Поглотитель VGB

Комплектация барокомплекса «СПАСИТЕЛЬ»

1. Барокамера КДВ-1600 ($P_{\text{раб}}=10\text{кгс/см}^2$, 2 отсека, объем каждого $3,68\text{м}^3$).
2. Системы жизнеобеспечения:
 - 2.1. Система обеспечения воздухом;
 - 2.2. Система обеспечения кислородом;
 - 2.3. Система обеспечения гелием;
 - 2.4. Система подачи подогретых газовых смесей;
 - 2.5. Система контроля газовой среды;
 - 2.6. Система очистки газовой среды;
 - 2.7. Система кондиционирования и терморегулирования;
 - 2.8. Система электроснабжения;
 - 2.9. Система оперативного медицинского контроля;
 - 2.10. Система освещения отсеков барокамеры.
 - 2.11. Система видеонаблюдения и связи;
 - 2.12. Система санитарно-бытовая;
 - 2.13. Система пожаротушения;
 - 2.14. Система аварийного дыхания;
 - 2.15. Система транспортировочная;
3. Барокамера водолазная транспортировочная складная «Кубышка» (БВТ-С).



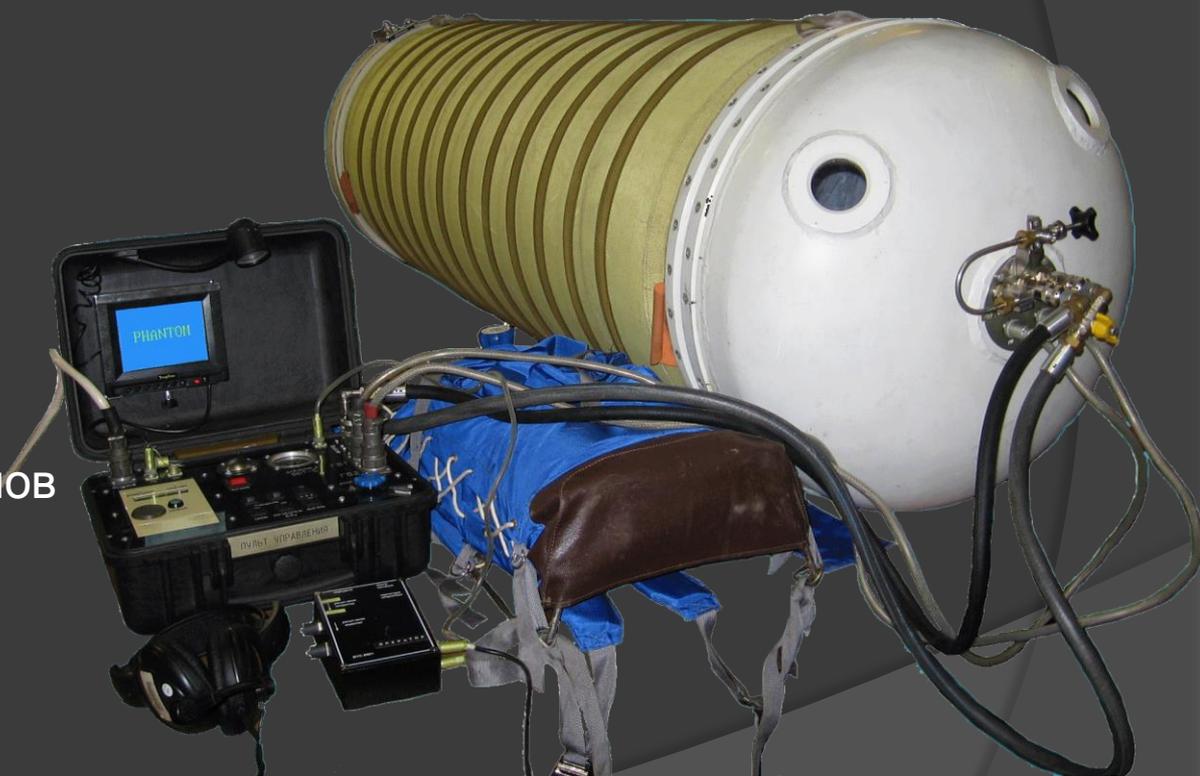
БВТ-С «Кубышка»

Переносная барокамера БВТ-С «Кубышка» предназначена для эвакуации пострадавшего с ДБ к стационарной барокамере для проведения полного курса лечения с целью минимизировать сроки до начала оказания квалифицированной медицинской помощи.

В состав изделия входят:

Поглотитель CO_2 и
Пульсоксиметр «КАРДЕКС»
ПО-02.

Укомплектование
аппаратурой (СДС)
обеспечивает проведение
лечебных кислородных и
кислородно-воздушных режимов
до 5 кгс/см^2 и **исключает**
токсическое действие ВГВ.

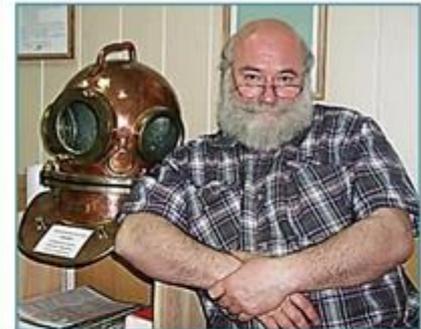


Подводная кислородная рекомпрессия



«...Целесообразность применения кислородной рекомпрессии в воде несомненна. Наша методика дана в журнале «Октопус» № 3 (21) 2002 г. и на сайтах decopro.ru и nemo.ru. ...»

Водолазные врачи-профпатологи ГНЦ РФ - ИМБП РАН к.м.н. В.В. Смолин, Г.М. Соколов, д.м.н., проф. Б.Н. Павлов



О необходимости широкого использования подводной кислородной рекомпрессии свидетельствуют результаты, полученные водолазным врачом ВМедА им. С.М. Кирова Г.В. Головашкиным при проведении медицинского обеспечения водолазных работ по добыче морепродуктов в прибрежных водах Малой Курильской гряды. В 13 случаях заболевания декомпрессионной болезнью они с успехом применили подводную лечебную рекомпрессию на кислороде. В основном использовались специально разработанные для этих целей режимы ИМБП



Методика подводной лечебной рекомпрессии может служить методом выбора для оказания экстренной помощи водолазам и дайверам, сохранения их жизни и здоровья. Помимо лечебного эффекта применение подводной рекомпрессии **исключает токсическое действие ВГВ** на стадии первичного оказания помощи пострадавшим водолазам и дайверам.

Необходимость экстренного оказания эффективной помощи водолазам и дайверам при декомпрессионной болезни в случае отсутствия барокамеры на месте спуска, а также оказания срочной помощи переохлаждённым потребовали разработки специальных технических средств для решения этих задач, что было реализовано ЗАО «СКБ ЭО при ИМБП РАН» в комплекте оборудования «Рачитель».

Комплект оборудования «Рачитель»

Назначение оборудования:

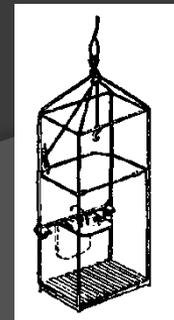
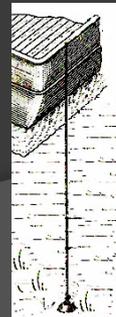
- оказание экстренной помощи на месте спуска водолазам (дайверам) с симптомами декомпрессионной болезни при отсутствии барокамеры у места погружения;
- оказание экстренной помощи при переохлаждении в т.ч. при его сочетании с декомпрессионной болезнью.

Методы оказания помощи:

- лечебная рекомпрессия под водой с использованием кислорода, производимого на месте оказания помощи и подаваемого с поверхности;
- ингаляция подогреваемыми гипероксическими кислородно-гелиевыми смесями.

Состав оборудования:

- Система получения и подачи кислорода;
- Лицевая маска с двумя лёгочными автоматами;
- Система оказания помощи водолазу при переохлаждении;
- Подвесная система;
- Спускной конец с грузом;
- Водолазная беседка.



Заключение

1. Использование барокомплексов (барокамер), не имеющих системы очистки газовой среды от вредных веществ, по нашему мнению, может быть разрешено только с воздушной средой при строгом соблюдении режимов вентиляции в соответствии с ПВС ВМФ-2002 (или «Едиными правилами...»), для чего необходимо увеличить запасы воздуха на барокомплексах.

2. В мобильных барокамерах (барокомплексах) использование кислородно-азотно-гелиевых сред для проведения спусков или лечения должно быть запрещено, а в стационарных может быть разрешено только при наличии системы очистки от ВГВ или в исключительных случаях при наличии значительных запасов гелия, 7% или 10% КАГС.

3. Просить ФМБА России и НИИ ВУНЦ ВМФ ВМА им. Н.Г. Кузнецова узаконить методику и режимы подводной лечебной рекомпрессии на кислороде, а также зарубежные кислородные и воздушно-кислородные лечебные режимы для использования их в барокамерах, имеющих стационарные дыхательные системы для подачи кислорода, что позволит использовать имеющиеся барокамеры для лечения декомпрессионных заболеваний, кроме крайне тяжёлых и при позднем поступлении на лечение.

4. Межведомственной комиссии по водолазному делу при Морской коллегии Правительства РФ обратиться:

- в МО РФ об ускорении ввода в эксплуатацию барокомплексов «Спаситель», установленных на территориях ВМКГ в городах Вилючинск, Владивосток и Санкт-Петербург для обеспечения системы оказания баромедицинской помощи в России и возможности проведения лечения декомпрессионных заболеваний и баротравмы лёгких в госпитальных условиях.

- в надзорные органы РФ об организации предварительного государственного технического и санитарно-гигиенического надзора за проектированием, созданием и эксплуатацией обитаемой водолазной техники.

Транспортабельный гипобарический барокамерный модуль (МГБ)

«Транспортабельный гипобарический барокамерный модуль» предназначенный для:

- тренировок и испытаний лётного состава в целях врачебно-лётной экспертизы и психофизиологической подготовки к высотным полётам на воздушных судах с гермокабиной в условиях риска быстрой разгерметизации борта и на воздушных судах, не имеющих гермокабины;
- профилактики и немедикаментозного лечения ряда соматических и профессионально обусловленных заболеваний (бронхиальная астма, полиномы, нейродермит и др.) методом адаптации к периодической дозированной гипобарической гипоксии, а также реабилитации здорового тонуса, повышения работоспособности, резистентности и умственной работоспособности людей стрессовых профессий.

Модуль может использоваться:

- для проверки устойчивости водолазов:
 - к декомпрессионной болезни
 - к гипоксии;
- для подготовки водолазов к спускам в горных озёрах;
- для реабилитации после тяжёлых и продолжительных водолазных работ.

Исполнение: модульное на базе стандартных двоярных транспортных 40 футовых морских контейнеров.

Состав:

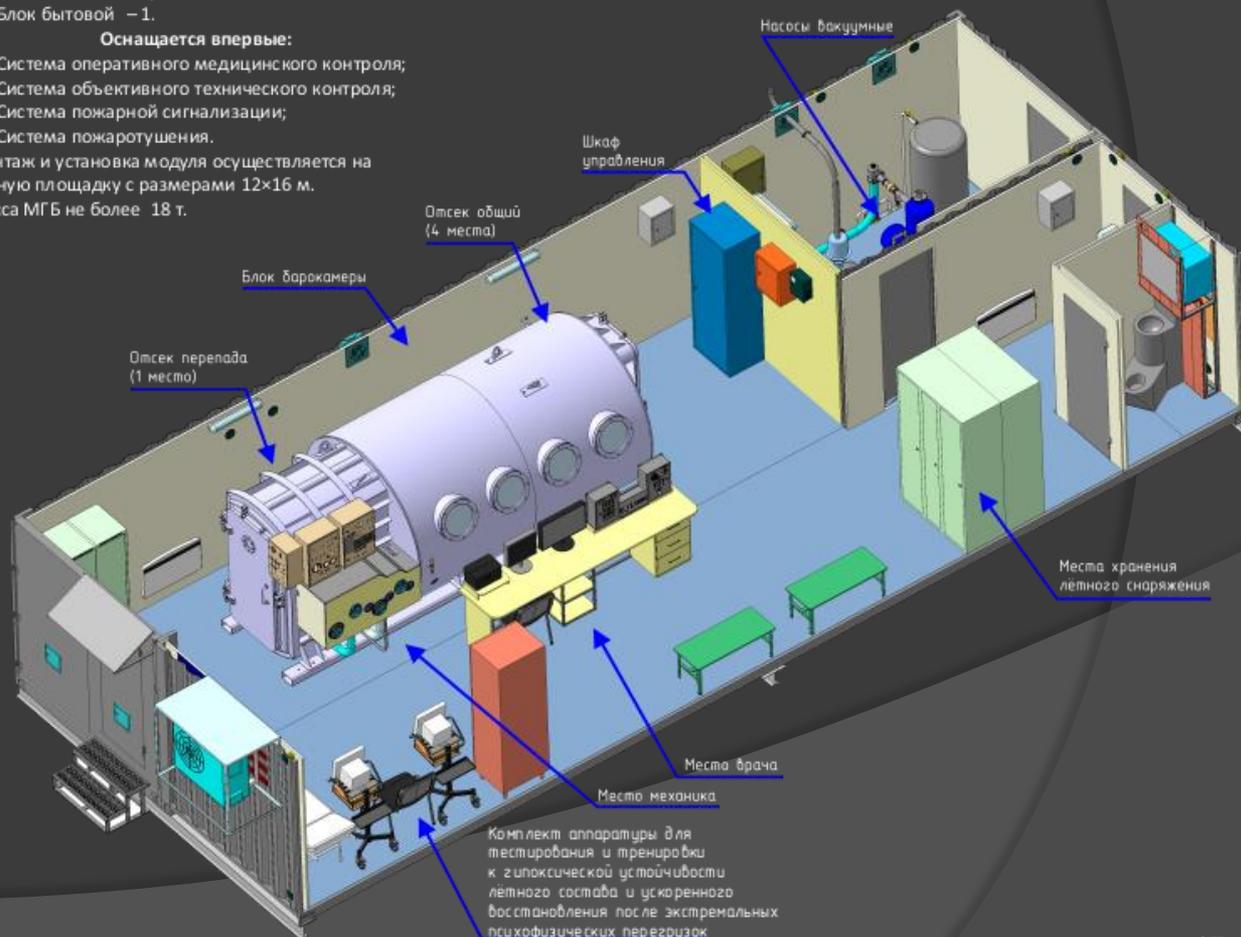
- Барокамера – 1;
- Блок силовой – 1;
- Блок бытовой – 1.

Оснащается впервые:

- Система оперативного медицинского контроля;
- Система объективного технического контроля;
- Система пожарной сигнализации;
- Система пожаротушения.

Монтаж и установка модуля осуществляется на ровную площадку с размерами 12×16 м.

Масса МГБ не более 18 т.



Ввод в эксплуатацию транспортабельного гипобарического барокамерного модуля



Панорамный вид МГБ в блоке барокамеры



Рабочее места механика



Представление изделия
Начальнику Морской авиации
ВМФ РФ



Обучение использованию
системой оперативного
медицинского контроля



Рабочее место врача

Спасибо за
внимание