

EDN: <https://elibrary.ru/uhfjsb>DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-9-566-578>

УДК 61.614.818.9

© Коллектив авторов, 2022

Котский М.А.¹, Бонитенко Е.Ю.^{1,2}, Тоньшин А.А.¹, Родченкова П.В.¹**Перспективы использования технологии жидкостного дыхания при спасании экипажей терпящих бедствие подводных лодок**¹ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», пр-т Будённого, 31, Москва, 105275;²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, Севастополь, 299053

Введение. Одним из перспективных направлений создания принципиально новых средств спасения экипажей терпящих бедствие подводных лодок является использование перфторуглеродных жидкостей для дыхания. Последняя работа, посвящённая изучению метода жидкостного дыхания (ЖД) в условиях гипербарии, была опубликована в 1985 году. В настоящее время полученные нами экспериментальные данные и современный уровень развития техники открывают новые возможности для практической реализации данного направления.

Для определения вектора дальнейших разработок, связанных с применением технологии ЖД, и понимания места этой технологии в существующей или в перспективных системах оказания помощи и эвакуации с аварийных подводных лодок (АвПЛ), её возможный облик и подходы к технической реализации необходим анализ причин развития аварийных ситуаций на подводных лодках (ПЛ) и условий, в которых экипаж вынужден вести борьбу за живучесть. Настоящее исследование посвящено определению возможных сценариев использования технологии ЖД, а также её места в системе оказания помощи и эвакуации экипажей АвПЛ.

Цель исследования — обосновать возможные сценарии применения технологии ЖД при спасании с подводного положения экипажей терпящих бедствие ПЛ.

Материалы и методы. В качестве материалов были использованы: имеющиеся в открытом доступе литературные данные; нормативные документы, определяющие порядок проведения спасательных работ при авариях на ПЛ; собственные экспериментальные данные. Основным методом исследований были обобщение и анализ.

Результаты. Представлен анализ литературных данных, посвящённых авариям на подводных лодках. Выделено три типовых сценария развития последствий аварий, каждый из которых характеризуется воздействием определённых патологических факторов на организм, а также определена частота их встречаемости. Спрогнозированы преимущества технологии ЖД перед существующими системами спасания экипажей аварийных ПЛ. Определены ситуации, при которых ЖД может быть использовано.

Представлены условия предварительного пребывания в аварийном отсеке ПЛ, которые непосредственно определяют действия экипажа, а также факторы, оказывающие влияние на применение технологии ЖД, и типовые условия применения последней. Определены условия применения технологии ЖД при авариях на ПЛ в соответствии с возможными сценариями.

Выводы. Способы эвакуации экипажей АвПЛ с применением технологии ЖД могут стать значимым дополнением к существующей системе спасания, расширяя и открывая дополнительные возможности к проведению спасательных операций в условиях, в которых известные способы не могут быть применены.

Ключевые слова: жидкостное дыхание; подводный флот; свободное всплытие; самоэвакуация; декомпрессия

Для цитирования: Котский М.А., Бонитенко Е.Ю., Тоньшин А.А., Родченкова П.В. Перспективы использования технологии жидкостного дыхания при спасании экипажей терпящих бедствие подводных лодок. *Мед. труда и пром. экол.* 2022; 62(9). 566–578. <https://elibrary.ru/uhfjsb> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-9-566-578>

Для корреспонденции: Котский Михаил Андреевич, главный научный сотрудник целевой поисковой лаборатории трансляционной медицины, ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда им. академика Н.Ф. Измерова». E-mail: 79031227522@yandex.ru

Участие авторов:

Котский М.А. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, написание текста;

Бонитенко Е.Ю. — написание текста;

Тоньшин А.А. — написание текста;

Родченкова П.В. — редактирование.

Финансирование. Работа была выполнена при финансовой поддержке Фонда перспективных исследований.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 13.09.2022 / Дата принятия к печати: 30.09.2022 / Дата публикации: 23.10.2022

Mikhail A. Kotskiy¹, Evgeny U. Bonitenko^{1,2}, Anton A. Tonshin¹, Polina V. Rodchenkova¹**Opportunity of liquid ventilation method implementation in advanced technologies of accidental submarine crews rescue**¹Izmerov Research Institute of Occupational Health, 31, Budyonnogo Ave., Moscow, 105275;²Sevastopol State University, 33, Universitetskaya St., Sevastopol, 299053

Introduction. One of the promising directions of creating fundamentally new submarines' crews rescue methods is the usage of perfluorocarbon breathing fluids. The last study of liquid ventilation in hyperbaria was published in 1985. The current level of technology development open up new opportunities for the practical implementation of this direction.

To determine further development direction of usage liquid ventilation technology and to understand the place of this technology in existing or prospective systems of assistance and evacuation from emergency submarines, it is necessary to analyze the causes of emergency situations on submarines and the conditions of fight for survivability.

We devoted this study to determining possible scenarios for the use of liquid ventilation technology, as well as its place in the system of assistance and evacuation of crews of emergency submarines.

We have devoted this study to determining possible scenarios for the use of liquid ventilation technology as well as its place in the system of assistance and evacuation of emergency submarine crews.

The study aims to substantiate possible scenarios for the usage of liquid ventilation technology in the rescue of submarine crews in distress from an underwater position.

Materials and methods. The following used materials were: publicly available literature data; regulatory documents defining the procedure for carrying out rescue operations in case of accidents on the submarine; own experimental data. The main research method was generalization and analysis.

Results. The researchers have presented the analysis of literature data on accidents on submarines. There are three typical scenarios of the development of the consequences of accidents, each of which can be characterized by the impact of certain pathological factors on the body. We also have determined the frequency of their occurrence.

The experts have presented the conditions of preliminary stay in the emergency compartment of the submarine, which directly determine the actions of the crew, as well as factors influencing the use of liquid ventilation technology and typical conditions for the use of the latter.

The scientists have determined the conditions of preliminary stay in the emergency compartment of the submarine, which directly determine the actions of the crew, as well as factors influencing the use of liquid ventilation technology, and typical conditions for the use of the latter. The conditions for the use of liquid ventilation technology in case of accidents on the submarine are determined in accordance with possible scenarios.

Conclusion. *Methods of evacuation of crews from submarines using liquid ventilation technology can become a significant addition to the existing rescue system, expanding and opening up additional opportunities for rescue operations in conditions in which it is not possible to apply known methods.*

Keywords: *liquid ventilation; submarine; emergency escape; self-evacuation; decompression*

For citation: Kotsky M.A., Bonitenko E.Yu., Tonshin A.A., Rodchenkova P.V. Opportunity of liquid ventilation method implementation in advanced technologies of accidental submarine crews rescue. *Med. truda i prom. ekol.* 2022; 62(9): 566–578. <https://elibrary.ru/uhfjsb> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-9-566-578> (in Russian)

For correspondence: Mikhail A. Kotsky, the Chief researcher of the target laboratory of translational medicine, Izmerov Research Institute of Occupational Health. E-mail: 79031227522@yandex.ru

Contribution:

Kotsky M.A. — concept and design of the study, data collection and processing, text writing;

Bonitenko E.Yu. — text writing;

Tonshin A.A. — text writing;

Rodchenkova P.V. — editing.

Funding. The study was funded by the Advanced Research Foundation, Moscow, Russian Federation.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Received: 13.09.2022 / Accepted: 30.09.2022 / Published: 23.10.2022

Введение. Вопросы защиты человека от повреждающего воздействия экстремальных факторов окружающей среды, поиска и спасания членов экипажей терпящих бедствие ПЛ, наряду с разработкой методов профилактики профессиональных заболеваний и травм (таких как декомпрессионная болезнь (ДКБ) и баротравма лёгких (БЛ)), являются комплексной проблемой на стыке нескольких дисциплин — морской и водолазной медицины, а также медицины труда.

Настоящее исследование посвящено анализу перспектив разработки принципиально новых подходов к защите человека от факторов гипербарической среды на основе преимуществ использования перфторуглеродных (ПФУ) жидкостей для дыхания. Исследования в этой области начались в конце 60-х годов прошлого века, и с этого момента метод жидкостного дыхания (ЖД) рассматривался как один из возможных подходов к созданию технологии и спасательного снаряжения подводников [1, 2]. При экстренной эвакуации мокрым способом с больших глубин использование ЖД даёт недостижимые для газового дыхания преимущества, а именно: защита лёгких и грудной клетки от запредельных деформаций при выраженных скоростях компрессии и декомпрессии, а также профилактика декомпрессионных нарушений при любой скорости всплытия с любой глубины [1, 3, 4].

Исследования, посвящённые изучению возможности применения ЖД для обеспечения глубоководных работ проводились, начиная с 60-х годов прошлого века [5–8]. Последняя работа, посвящённая изучению метода жидкостного дыхания в условиях гипербарии и представленная в открытом доступе, была опубликована в 1985 году.

Современный уровень продуктивности и автоматизации дыхательных аппаратов, а также развития систем мониторинга физиологических параметров биомодели открывают новые возможности для продолжения исследований в этой области.

Однако для определения вектора дальнейших разработок, связанных с применением технологии ЖД, и понимания места этой технологии в существующей или в перспективных системах оказания помощи и эвакуации с АвПЛ, её возможный облик и подходы к технической реализации необходимо анализ причин развития аварийных ситуаций на ПЛ и условий, в которых экипаж вынужден вести борьбу за живучесть. Настоящее исследование посвящено определению возможных сценариев использования технологии ЖД, а также её места в системе оказания помощи и эвакуации экипажей АвПЛ.

Цель исследования — обоснование возможных сценариев применения технологии ЖД при спасании с подводного положения экипажей терпящих бедствие ПЛ.

Материалы и методы. В качестве материалов были использованы:

- имеющиеся в открытом доступе литературные данные, посвящённые анализу причин аварий на подводных лодках и их медицинских последствий;
- нормативные документы, определяющие порядок проведения спасательных работ при авариях на ПЛ, как с использованием штатного оснащения ПЛ, так и силами и средствами поисково-спасательной службы (ПСС) Военно-морского флота России;
- имеющиеся в открытом доступе российские и зарубежные научные публикации, посвящённые вопросам спасения подводников с больших глубин;

- научные публикации и отчётная научно-техническая документация, посвящённая разработке технологии ЖД;
- собственные экспериментальные данные.

Основным методом исследований были обобщение и анализ имеющихся литературных данных, нормативных документов, отчётной научно-технической документации и результатов собственных исследований.

Результаты и обсуждение. 1. Сравнительная оценка причин аварий на ПЛ в мирное время и их медицинских последствий по результатам спасательных операций.

Для оценки причин аварий и их медицинских последствий по литературным данным, имеющимся в открытой печати, нами были изучены инциденты с участием ПЛ за период с начала становления мирового подводного флота и до наших дней. Всего было проанализировано 406 случаев [9, 10, 11, 12, 13, 14]. Боевые потери, произошедшие в период военных конфликтов, не принимались во внимание.

Массив данных был разделён на выборки по принципу используемой на ПЛ движительной установки. Таким образом, были выделены три группы аварий на ПЛ, относящиеся к трём периодам становления подводного флота

(ПФ): до дизель-электрический (до ДЭПФ), дизель-электрический (ДЭПФ) и атомный (АПФ).

Сведения о причинах аварий, количестве спасённых с помощью сил и средств ПСС, а также самостоятельно покинувших аварийные ПЛ в подводном положении (самозэвакуация) представлены в *таблицах 1, 2 и 3* согласно указанным периодам.

Самая многочисленная группа инцидентов приходится на долю ДЭПЛ в связи с наибольшей распространённостью этого класса подводных лодок с момента начала их использования и до наших дней (*табл. 2*). Этот период в полной мере охватывает появление и становление технологий спасания экипажей АвПЛ. Соотношение самоспасшихся к спасённым силами ПСС с подводного положения в эпоху дизельных подводных лодок близко к 1:1.

Данные по инцидентам на самых высокотехнологичных в настоящее время атомных ПЛ — малочисленны. Соотношение спасённых силами ПСС из подводного положения и самозэвакуировавшихся не показательно, так как основано на двух случаях аварий (К-429 в 1983 г. и К-278 «Комсомолец» в 1989 г.). Тем не менее, обращает на себя внимание то, что процент спасённых с подводного положения с АПЛ в 1,76 раза выше, чем ДЭПЛ (6,6 и 3,75%

Таблица 1 / Table 1

Количество погибших и спасённых подводников с подводных лодок, предшествующих дизель-электрическим*
The number of dead and rescued submariners from submarines preceding diesel-electric*

№	Причина аварии	% от общих потерь	Количество		Эвакуация	
			погибших	спасённых	с надводного положения	с подводного положения силами ПСС/самозэвакуация
1.	Техническая неисправность (авария)	22,45	86	63	62	0/1
2.	Навигационная ошибка (столкновение с другим кораблем)	34,46	132	98	98	0
3.	Ошибка при эксплуатации	38,38	147	88	76	5/7
4.	Причина неизвестна	4,69	18	10	10	0
5.	Всего	100	383	259	246	13 (5/8)

Примечание: * — количество учтённых инцидентов — 66.

Note: * — the number of recorded incidents is 66.

Таблица 2 / Table 2

Количество погибших и спасённых подводников с ДЭПЛ*
The number of dead and rescued submariners from diesel-electric submarines*

№	Причина аварии	% от общих потерь	Количество		Эвакуация	
			погибших	спасённых	с надводного положения	с подводного положения силами ПСС/самозэвакуация
1.	Техническая неисправность (авария)	17,35	1362	1479	1440	33/6
2.	Навигационная ошибка (столкновение с другим кораблем)	49,04	3849	2301	2220	31/50
3.	Ошибка при эксплуатации	9,16	719	709	660	20/29
4.	Причина неизвестна	24,44	1918	19	19	—
5.	Всего	100	7848	4508	4339	169 (84/85)

Примечание: * — количество учтённых инцидентов — 310.

Note: * — the number of recorded incidents is 310.

Количество погибших и спасённых подводников с АПЛ*
The number of dead and rescued submariners from nuclear submarines*

№	Причина аварии	% от общих потерь	Количество		Эвакуация	
			погибших	спасённых	с надводного положения	с подводного положения силами ПСС/самозэвакуация
1.	Техническая неисправность (авария)	58,8	375	1217	1111	0/105 (свободным всплытием) + 1 (КСВ)
2.	Навигационная ошибка (столкновение с другим кораблем)	4,39	28	276	276	0
3.	Ошибка при эксплуатации	2,66	17	117	117	0
4.	Причина неизвестна	34,06	217	0	0	0
5.	Всего	100	637	1610	1504	106 (0/106)

Примечание: * — количество учтённых инцидентов — 30; КСВ — камера спасательная всплывающая.

Note: * — the number of recorded incidents is 30; the RPC is a rescue pop-up camera.

соответственно), причём 100% покинули ПЛ самостоятельно (табл. 3).

2. Типовые варианты развития аварийной ситуации на ПЛ и факторы её сопровождающие. В ходе анализа хроники аварий на ПЛ было выделено три типовых варианта, каждый из которых характеризуется воздействием на экипаж определенного перечня патологических факторов [15–21]:

1) Сохранение плавучести при потере возможности маневрировать, аварийное всплытие или посадка судна на мель (около 38,7% всех учтённых инцидентов). Такое развитие событий является достаточно благоприятным для экипажа, т. к. подразумевает наличие достаточно количества времени для организации борьбы за живучесть, а также эвакуации с АвПЛ. Как правило, эту ситуацию предваряет инцидент, связанный с аварией на борту.

Основными неблагоприятными факторами, которые могут воздействовать на организм человека в этой ситуации, являются:

- травмы и ожоги, полученные в результате аварии;
- контакт с продуктами горения и химическими агентами;
- повышение концентрации CO_2 и других продуктов метаболизма (аммиак, углеводороды);
- повышение температуры в отсеке;
- воздействие ионизирующего излучения;
- гипотермия при длительном контакте с забортной водой (при борьбе за живучесть или ожидании эвакуации на поверхности).

В случае, когда плавучесть ПЛ поддерживается исключительно борьбой экипажа за живучесть, дальнейшие события могут развиваться по одному из следующих сценариев.

2) Затопление ПЛ на глубине менее предельной, посадка на грунт (умышленная или при потере плавучести) с сохранением жизнеспособного экипажа в изолированных отсеках (около 51,6% всех учтённых инцидентов). Оказание помощи подводникам, терпящим бедствие по данному варианту развития аварийной ситуации, является наиболее комплексной проблемой, которую пытаются решить специалисты, работающие в этом направлении.

Основными неблагоприятными факторами, воздействующими на организм человека, в этом случае являются:

- травмы и ожоги, полученные в результате аварии;

- контакт с продуктами горения и химическими агентами (в том числе с нефтепродуктами при повреждении топливных цистерн и механических агрегатов);
- повышение концентрации CO_2 и др. продуктов метаболизма (аммиак, углеводороды);
- воздействие продуктов метаболизма, горения и химических агентов, в условиях повышенного давления в отсеках;
- возникновение специфических патологических процессов при выходе из отсека в индивидуальных средствах спасения (баротравмы среднего уха и придаточных полостей костей черепа, лёгких, ДКБ);
- повышение давления в отсеке от 0,1 до 1,0 МПа (ограничено физиологической переносимостью);
- локальное повышение температуры в аварийном отсеке (АО);
- воздействие ионизирующего излучения;
- гипотермия (при длительном контакте с забортной водой, при выходе из строя систем жизнеобеспечения ПЛ);
- ограниченный запас пищи и питьевой воды.

3) Потеря плавучести ПЛ и дальнейшее неконтролируемое погружение с превышением пределов прочности корпуса (около 9,7% всех учтённых инцидентов). Количество неблагоприятных исходов при развитии такого варианта развития аварийной ситуации составляет, как правило, 100%. Но в связи с появлением класса глубоководных аппаратов и ПЛ специального назначения [22], выдерживающих колоссальное внешнее давление, возможна ситуация, при которой экипаж успевает воспользоваться средствами эвакуации до момента проваливания за предельные отметки. В качестве примера можно привести факт использования камеры спасательной всплывающей (КСВ) при аварии атомной подводной лодки К-278 «Комсомолец», когда действия экипажа позволили бы его членам воспользоваться КСВ до момента достижения предельных глубин.

Основные неблагоприятные факторы, воздействующие на организм человека, в этом случае аналогичны тем, что описаны в предыдущем варианте развития аварийной ситуации.

3. Отечественные системы оказания помощи и эвакуации экипажа из подводного положения аварийной ПЛ. Существующая система спасания экипажей АвПЛ ПСС

обладает широким арсеналом специальных технических средств, но требует времени и соответствующих погодных условий для разворачивания поисково-спасательной операции в полном объёме. При этом до момента эвакуации возможно поддержание жизнедеятельности экипажа и декомпрессия непосредственно в аварийном отсеке (АО), путём подключения к эпроновской выгородке воздушных магистралей с судна-спасателя.

Для эвакуации экипажа предусмотрены несколько вариантов, обеспечивающих выход из АвПА «сухим» (спасательный подводный аппарат (СПА), спасательный колокол (СК) или «мокрым» способом (через водолазный колокол (ВК)). Преимущества и недостатки имеющихся классов средств ПСС представлены в **таблице 4**.

Таким образом, для того чтобы компенсировать недостатки каждого из описанных выше класса технических средств существующая система оказания помощи экипажу аварийной ПА должна быть развёрнута в полном объёме, что требует значительного времени. Кроме того, обязательным условием проведения спасательной операции является поддержание специальной техники и персонала в надлежащей степени готовности.

Самозвакуация, как упоминалось ранее, является важной составляющей спасения экипажа. Но при этом экипаж оказывается жёстко ограничен в выборе средств эвакуации, особенно в случае предварительного пребывания под повышенным давлением без доступа к КСВ. Преимущества и недостатки коллективных (КСВ) и индивидуальных (ССП-М) средств эвакуации представлены в **таблице 5**.

Следует отметить, что процесс самозвакуации сопряжён с достаточно большим риском получения баротравмы лёгких и сильно ограничен необходимостью профилактики ДКБ. В связи с этим условия предварительного пребывания в газовой среде под повышенным давлением,

например в процессе борьбы за живучесть в АО и в процессе шлюзования, напрямую влияют на возможность самозвакуации [15, 34].

Если условия пребывания в АО позволяют осуществить самозвакуацию без проведения декомпрессии, существующая отечественная система предусматривает выход методом свободного всплытия с использованием принятого на вооружение комплекта спасательного снаряжения подводника ССП-М [35]:

- с глубин до 100 м в ССП-М с ИДА-М при условии доступа к следующим шлюзовым устройствам (ШУ) — торпедному аппарату (ТА), прочной рубке (ПР) и спасательному люку (СЛ) без блока подачи воздуха (БПВ) (свободное всплытие или выход по буйрепу);
- с глубин до 140 м в ССП-М без ИДА-М через спасательный люк оборудованный БПВ;
- с глубин до 200 м в ССП-М с ИДА-М через спасательный люк, оборудованный БПВ-М.

В случаях, когда экипаж АО был вынужден пребывать в условиях повышенного давления, перед возвращением к нормобарическим условиям с целью профилактики ДКБ необходимо провести декомпрессию в толще воды при подъёме по буйрепу (длительность декомпрессии может достигать нескольких часов) [15, 21, 35]. При этом возможность выхода по буйрепу отсутствует полностью, если превышен предел времени пребывания в текущих гипербарических условиях или глубина выхода более 100 м.

При всплытии по буйрепу режим декомпрессии выбирается в зависимости от глубин выхода и времени пребывания под наибольшим давлением. Глубину первой остановки и время выдержек на каждой последующей остановке, подводник должен запомнить перед выходом. Скорость

Таблица 4 / Table 4

Преимущества и недостатки технических средств ПСС

Advantages and disadvantages of technical means of the search and rescue service (SRS)

Спасательный подводный аппарат	Спасательный колокол	Водолазный колокол
Преимущества		
<ul style="list-style-type: none"> – эвакуация экипажа с рабочих глубин всех существующих проектов ПА (кроме глубоководных аппаратов специального назначения); – позволяет принимать экипаж, пребывавший под повышенным давлением, и доставлять его на судно-носитель для проведения декомпрессии в глубоководном барокомплексе (ГБК); – изолирует экипаж от внешней среды («сухой» способ); – принимает на борт до 36 человек 	<ul style="list-style-type: none"> – изолирует экипаж от внешней среды («сухой» способ); – позволяет быстро организовать эвакуацию при наличии выброшенного аварийного буйа с ПА (фиксируется на тросе аварийного буйа); – позволяет принимать экипаж, пребывавший под повышенным давлением, и доставлять его на судно-носитель для проведения декомпрессии в ГБК 	<ul style="list-style-type: none"> – используется при невозможности эвакуировать с помощью СК (крен, деформации комингс-площадок); – не фиксируется к ПА; – позволяет принимать экипаж, пребывавший под повышенным давлением, и доставлять его на судно-носитель для проведения декомпрессии в ГБК
Недостатки		
<ul style="list-style-type: none"> – ограниченное время работы (зависит от проекта); – требует наличие судна-носителя с системой динамического позиционирования; – есть требования к состоянию стыковочных площадок (комингс-площадок) (крен и целостность); – требует наличия квалифицированного персонала (пилот СПА, команда технического обслуживания) 	<ul style="list-style-type: none"> – требует наличия судна-носителя; – требует чёткого позиционирования судна-носителя; – есть ограничения по глубине использования (до 200 м); – требует наличия квалифицированного персонала – принимает на борт до 4-х человек; – есть требования к состоянию стыковочных площадок (комингс-площадок) (минимальный крен и целостность) 	<ul style="list-style-type: none"> – подразумевает переход только «мокрым» способом; – требует чёткого позиционирования судна-носителя; – требует наличия квалифицированного водолазного персонала, оказывающего помощь пострадавшим при переходе в водной среде (прокладка ходового конца, сопровождение)

Таблица 5 / Table 5

Преимущества и недостатки индивидуальных (ССП-М) и коллективных средств (КСВ) спасения
Advantages and disadvantages of individual and collective means of rescue

Камера спасательная всплывающая	Спасательное снаряжение подводника
Преимущества	
<ul style="list-style-type: none"> – не ограничена глубина использования; – содержит запас пищи, воды, регенеративного вещества для длительного пребывания экипажа (несколько суток); – позволяет принимать экипаж из отсеков под повышенным давлением и в дальнейшем проводить декомпрессию; – изолирует экипаж от внешней среды, в том числе после всплытия 	<ul style="list-style-type: none"> – позволяет осуществлять выход через различные шлюзовые устройства в разных отсеках (СЛ, ТА, ПР); – используется заведомо пригодная для дыхания газовая среда; – может быть использовано при борьбе за живучесть ПЛ
Недостатки	
<ul style="list-style-type: none"> – представлена в единственном экземпляре на ПЛ и доступна только из одного отсека (при затоплении одного из центральных отсеков, часть экипажа оказывается отрезанной от КСВ) 	<ul style="list-style-type: none"> – жёсткие ограничения по глубине и времени для выхода свободным всплытием (200 м через СЛ с БПВ или 100 м через любые шлюзовые устройства); – жёсткие ограничения по глубине и времени экспозиции под повышенным давлением для выхода по буйрепу (на глубинах до 100 м); – высокий риск получения баротравмы лёгких (незащищённый дыхательный мешок, метод СВ); – риск получения кислородного отравления; – воздействие факторов внешней среды после всплытия к поверхности

всплытия по буйрепу до первой остановки должна составлять не более 15–20 м/мин [15, 35–38].

Отличительной чертой снаряжения ССП-М [39] от ранее используемых систем является ориентация на ускоренный процесс выравнивания давления в шлюзовом устройстве (благодаря использованию БПВ-М) и максимально быстрое свободное всплытие. Эти меры должны снизить риск развития ДКБ, обеспечив минимальное время пребывания подводника под повышенным давлением в процессе самоэвакуации, тем самым минимизируя насыщение организма метаболически индифферентными газами.

По отечественным и зарубежным стандартам время набора конечного давления в шлюзовом устройстве не должно превышать 2–3 минут. При этом баротравмы уха и/или придаточных пазух носа не являются причиной снижения скорости повышения давления. Скорость повышения давления в СЛ, оборудованном БПВ, обеспечивается автоматически [40].

Таким образом, скорость компрессии в шлюзовом устройстве при организации выхода подводников свободным всплытием ограничивается в первую очередь техническими средствами. Для ускорения процесса компрессии используются специальные изделия (БПВ, БПВ-М) и частичное заполнение шлюзового устройства заборной водой.

Перечень физиологических ограничений, оказывающих влияние на выбор скорости компрессии в шлюзовых устройствах, а также способы профилактики неблагоприятных последствий, вызванных ими, представлены в **таблице 6** [41, 42].

Процесс декомпрессии при эвакуации свободным всплытием является следствием снижения гидростатического давления по мере перемещения подводника к поверхности воды.

В современные тенденции в разработке индивидуальных спасательных средств подводника ориентированы на минимизацию времени компрессии и всплытия. При использовании комплекта ССП-М скорость декомпрес-

сии может достигать до 1,8 МПа/мин (3 м/с). Физиологические ограничения, оказывающие влияние на режимы быстрой декомпрессии, а также способы профилактики неблагоприятных последствий представлены в **таблице 7** [42].

Следует отметить, что пребывание даже под относительно небольшим избыточным давлением 0,1 МПа (10 м вод. ст.) более 6 часов не позволяет совершить выход с применением спасательного снаряжения подводника из-за риска развития ДКБ, а избыточное давление 0,61–0,80 МПа допускает лишь 20-минутное пребывание в отсеке с обязательным последующим совершением декомпрессионных остановок по мере всплытия к поверхности.

Таким образом, длительное предварительное пребывание под повышенным давлением и/или перспективы выхода с глубин более 200 м в настоящее время подразумевают эвакуацию с АвПЛ исключительно с помощью коллективных средств спасения или силами и средствами. Однако время прибытия сил и средств ПСС к месту аварии является негативным фактором, не позволяющим полностью отказаться от способов самостоятельной эвакуации экипажем аварийной ПЛ.

4. Технология дыхания жидкостями с высокими газотранспортными характеристиками и её преимущества при эвакуации экипажа с аварийных ПЛ. Существующая система оказания помощи АвПЛ является концептуально продуманной и комплексной, но практическая реализация часто осложняется непредвиденными обстоятельствами и пространственно-временным фактором. Наиболее проблемным звеном в схеме являются эвакуация личного состава из отсеков под повышенным давлением (без доступа к КСВ), а также части экипажа в АО без доступа к шлюзовым устройствам.

В этих случаях применение технологии ЖД ПФУ жидкостями, согласно литературным данным, даёт следующие преимущества:

- заполнение жидкостью органов дыхания компенсирует внешнее давление на грудную клетку и позволяет предотвратить её запредельные деформации

Физиологические факторы, ограничивающие скорость компрессии в шлюзовых устройствах, и способы профилактики неблагоприятных последствий**Physiological factors limiting the compression rate in gateway devices and ways to prevent adverse effects**

Физиологическое ограничение	Определение	Способ профилактики
Баротравма уха и придаточных пазух носа	Перерастяжение или разрыв барабанной перепонки, повреждение слизистой оболочки каналов гайморовых, лобной и основной пазух, а также ячеек решетчатой кости вследствие разности давления со стороны окружающей среды и изнутри образуемой анатомической полости, содержащей газ	Не является ограничивающим фактором. Разрыв ткани восстанавливает сообщение полости с окружающей средой
Общий обжим	Состояние, возникающие в результате уменьшения объёма газовой подушки подкостюмного пространства и неравенства давлений с обеих сторон жёстких узлов снаряжения, соприкасающихся с частями тела	Вентиляция подкостюмного пространства от БПВ или выдох из аппарата в подкостюмное пространство
Обжатие грудной клетки	Состояние, проявляющееся вследствие уменьшения объёма газа в лёгких менее остаточного объёма и присасывающего эффекта грудной полости	
Отравление кислородом (судорожная форма)	Состояние, развивающееся в результате воздействия повышенного парциального давления кислорода и проявляющееся нарушением функций ЦНС, дыхательной и сердечно-сосудистой систем	Сокращение времени пребывания под максимальным давлением, а также использованием КАГС для дыхания с помощью ИДА
Наркотическое действие азота	Реакция организма на воздействие повышенного парциального давления азота газовой среде или в дыхательной смеси, характеризуемая изменениями высшей нервной деятельности (памяти, внимания, мышления и т. д.)	
Нервный синдром высоких давлений	Изменение функционального состояния ЦНС (постуральный и интенционный тремор в покое, головокружение, тошнота) являющееся реакцией на воздействие экстремальных факторов, ведущими из которых являются высокое парциальное давление гелия и его механическое давление. Проявляется на глубинах более 130 м	Не является ограничивающим фактором, так как выход с использованием ИДА-М допускается с глубины 100 м

при воздействии экстремально высокого давления на организм [6];

- не имея способности расширяться при падении внешнего давления, жидкость, применяемая как дыхательный субстрат, исключает риск получения баротравмы лёгких в процессе декомпрессии (всплытия);
- отсутствие в жидкости газов-разбавителей (азота) позволяет предотвратить возникновение ДКБ, а также провести жидкостную респираторную десатурацию (ЖРАС), если организм был предварительно пересыщен растворенными газами [43, 44];
- контролируемая гипотермия тела, инициируемая с помощью ЖД, позволяет снизить интенсивность метаболических процессов в организме и повысить растворимость газов в тканях, снижая риск развития ДКБ, что в совокупности увеличит время выживания в неблагоприятных условиях окружающей среды [45];
- использование ЖД в ряде случаев улучшает альвеолярный газообмен при химических и/или термических поражениях дыхательных путей.

5. Типовые условия, а также возможные сценарии применения технологии ЖД для спасения подводников с больших глубин.

При анализе имеющихся литературных данных нами были определены факторы, оказывающие влияние на типовые условия, а также возможные сценарии применения технологии ЖД для спасения подводников с больших глубин.

Указанные выше факторы могут быть разделены на:

- факторы, вызванные аварийной ситуацией;
- факторы, ограничивающие использование штатных средств спасения;
- пространственно-временной фактор;
- факторы, связанные со спецификой применения метода ЖД.

В **таблице 8** представлены факторы, вызванные аварийной ситуацией и последствия их воздействия на организм человека.

В свою очередь в **таблице 9** представлены факторы, ограничивающие использование штатных средств спасения.

Пространственно-временной фактор включает в себя сроки:

Таблица 7 / Table 7

Физиологические факторы, оказывающие влияние на скорость декомпрессии, и способы профилактики неблагоприятных последствий**Physiological factors influencing the rate of decompression and ways to prevent adverse effects**

Физиологическое ограничение	Определение	Способ профилактики неблагоприятных последствий
Кессонная (декомпрессионная) болезнь	Комплекс паталогических явлений, связанных с наличием свободных газовых пузырьков в крови и тканях, которые вызывают раздражение интерорецепторного аппарата НС, нарушение кровообращения, прямое механическое повреждение клеток и тканей организма	Сокращение времени пребывания под максимальным давлением (максимально возможная скорость компрессии и всплытия)
Баротравма лёгких	Критическое состояние, возникающее в результате разрыва лёгочной ткани вследствие резкого повышения внутрилёгочного давления (более 70 мм рт. ст.) или разрежения в лёгких (более 80 мм рт. ст.)	Не задерживать дыхание в процессе всплытия, постоянный выдох на участке 0–20,0 м
Баротравма уха и придаточных пазух носа	Перерастяжение или разрыв барабанной перепонки, повреждение слизистой оболочки каналов гайморовых, лобной, основной пазух, а также ячеек решетчатой кости вследствие разности давления со стороны окружающей среды и изнутри образуемой анатомической полости, содержащей газ	Не является ограничивающим фактором, разрыв ткани восстанавливает сообщение полости с окружающей средой

Таблица 8 / Table 8

Факторы, вызванные аварийной ситуацией и последствия их воздействия на организм**Factors caused by an emergency and the consequences of their impact on the body**

№ п/п	Фактор	Последствия для организма
1.	Взрыв, пожар, выход из строя систем жизнеобеспечения	Баротравмы и механические повреждения, термическое поражение дыхательных путей и/или отравление продуктами горения, острая дыхательная недостаточность
2.	Повышенное давление в отсеке	Заболевания и травмы, связанные с изменением парциального давления газов, а также с повышенным давлением окружающей газовой и/или водной среды и его перепадом
3.	Затопление отсека (частичное или полное)	Охлаждение, риск утопления
4.	Ионизирующее излучение	Острая лучевая болезнь
5.	Сочетание и/или комбинация факторов	Сочетанные и комбинированные поражения

Таблица 9 / Table 9

Факторы, ограничивающие использование штатных средств спасения**Factors limiting the use of standard means of rescue**

№ п/п	Средства спасения	Факторы, ограничивающие использование
1.	Коллективные средства спасения (КСВ)	– повреждение КСВ; – ограничение или невозможность доступа
2.	Индивидуальные средства спасения (ИДА-М)	– глубина и/или время пребывания под избыточным давлением
3.	Средства спасения поисково-спасательной службы (ПСС)	– сроки доставки и разворачивания сил и средств ПСС; – глубина, превышающая возможности имеющихся в наличии средств ПСС; – повреждения комингс-площадок ПЛ

- обнаружения аварийной ПЛ;
- прибытия и разворачивания на месте сил и средств ПСС;
- проведения спасательной операции с учётом технических характеристик имеющихся в наличии средств

ПСС, погодных условий и технического состояния аварийной ПЛ.

5.1 Типовые условия применения технологии ЖД при авариях на ПЛ. Учитывая все вышесказанное, можно сформулировать типовые

условия применения технологии ЖД при авариях на ПЛ:

- авария привела к затоплению ПЛ на глубинах вплоть до предельно допустимых по прочности корпуса;
- доступ экипажа к коллективным средствам эвакуации или шлюзовым устройствам отсутствует;
- превышен предел по глубине выхода;
- превышен предел времени пребывания экипажа в газовой среде под повышенным давлением;
- отработанные способы оказания помощи АвПЛ силами и средствами ПСС неосуществимы по техническим причинам.

5.2 Сценарии применения технологии ЖД при авариях на ПЛ. Способы эвакуации экипажей аварийных ПЛ с применением технологии ЖД могут стать значимым дополнением к существующей системе спасания, открывая дополнительные возможности к проведению спасательных операций при условиях, в которых известные способы не могут быть применены.

На основании анализа имеющихся данных можно говорить о том, что действия экипажа по эвакуации из АвПЛ непосредственно зависят от технического оснащения АО и условий предварительного пребывания. С учётом этих двух факторов можно выделить три возможных варианта условий эвакуации (пп. 5.2.1–5.2.3).

5.2.1 Эвакуация экипажа из отсека аварийной ПЛ, оборудованного СА или иным ШУ, без предварительного пребывания под повышенным давлением методом свободного всплытия с применением технологии ЖД. В основе предполагаемого сценария эвакуация экипажа, не пребывавшего под повышенным давлением из отсека АвПЛ на глубинах, превышающих ныне установленные пределы, может быть принцип протективного заполнения дыхательных путей ДЖ с последующим автоматическим переходом индивидуального газо-жидкостного дыхательного аппарата (ИГЖДА) в режим газовой неинвазивной вентиляции лёгких (НИВЛ) при достижении подводником поверхности воды.

Как показали экспериментальные данные на чувствительных биомоделях крупных животных, ингаляционная седация и местная анестезия области голосовых связок перед подачей ДЖ в дыхательные пути, а также органолептические свойства ДЖ могут позволить снизить эффект рефлекторного спазма голосовой щели. Заполнение дыхательных путей ДЖ обеспечивает протекцию органов грудной клетки от деформации в процессе шлюзования и по мере всплытия с недоступных ныне глубин. Вероятнее всего, спонтанное ЖД человека, обеспечит потребности организма кратковременно, но объем ДЖ, физические свойства и предварительно подготовленный газовый состав позволяют говорить об определённом эффекте газового «буфера», что позволит осуществить безостановочный подъем к нормобарическим условиям с последующим немедленным переходом к принудительной газовой вентиляции. Кроме того, определённый защитный эффект может быть обеспечен снижением интенсивности метаболических процессов с помощью ультрабыстрой гипотермии ядра тела, достигаемой технологией ЖД.

Необходимыми техническими средствами в этом случае должны быть: ИГЖДА, осуществляющий работу в автоматическом режиме после включения в аппарат и поддерживающий возможность смены газового дыхательного субстрата на жидкостный и наоборот; защитный гидрокмбинезон, не требующий поддува в процессе шлюзова-

ния. Кроме того, процесс шлюзования и выхода в окружающую среду должен быть обеспечен автоматически, без участия самого подводника.

Также необходимым условием является оперативный поиск и подбор эвакуируемых с поверхности воды силами ПСС. Переход с ЖД на газовое осуществляется в автоматическом режиме с использованием ИГЖДА или при оказании медицинской помощи.

Описанный сценарий предусматривает кратковременную работу ИГЖДА в автономном режиме. С учётом риска гипоксемии, гиперкапнии и гипотермии время от момента включения в аппарат до оказания медицинской помощи на борту судна ПСС не должно превышать 15-и минут.

5.2.2 Эвакуация экипажа с применением технологии ЖД из отсека АвПЛ, оборудованного СА или иным ШУ, после пребывания под повышенным давлением сжатого воздуха. Одним из значимых преимуществ технологии ЖД является возможность осуществлять в процессе дыхания жидкостью с необходимым газовым составом выведение из тканей организма индифферентных газов, растворенных вследствие пребывания под повышенным давлением (метод ЖРАС). В комбинации с существующими способами эвакуации членов экипажа, пребывавших длительное время под повышенным давлением сжатого воздуха, проведение ЖРАС позволит осуществить профилактику неблагоприятных исходов ДКБ и обеспечить быстрый переход к атмосферному давлению, минуя длительную декомпрессию в условиях глубоководных барокомплексов. Последнее может быть востребовано при наличии показаний к срочному оказанию специализированной и высокотехнологичной медицинской помощи (сочетанные поражения, ожоги дыхательных путей и т. д.).

Проведение ЖРАС возможно на борту модернизированных существующих технических средств (СПА или СК) или специализированных, которые должны обеспечить длительную искусственную жидкостную вентиляцию лёгких, подогрев и поддержание оптимального газового состава ДЖ. Кроме того, необходим тщательный контроль и поддержание нужного диапазона температуры тела для получения защитного эффекта за счёт индуцированной с помощью ЖД гипотермии.

Для реализации этого сценария необходима дополнительная функция к аппарату ИГЖДА, описанному в п. 5.2.1, в виде подключения к внешнему контуру циркуляции ДЖ.

Возможными сценариями эвакуации, включающими этап ЖРАС, могут быть — проведение сеанса ЖРАС в ШУ перед непосредственным свободным всплытием или переход мокрым способом в специализированные СПА или СК с последующим подключением к газо-жидкостному дыхательному контуру.

5.2.3 Эвакуация экипажа с применением технологии ЖД из отсека АвПЛ, не оборудованного ШУ, после/без пребывания под повышенным давлением. Технология ЖД может быть перспективной в случае необходимости эвакуации экипажа, не имеющего доступа к ШУ и/или пребывающего в условиях, исключающих возможность шлюзования. В настоящее время способов эвакуации из подобных условий не предусмотрено.

Данный сценарий представляется наиболее сложным с точки зрения технической реализации. Прежде всего, необходимо реализовать возможность подключения дыхательных контуров ИГЖДА к контуру специализирован-

ного СПА, который, в свою очередь, должен обеспечить автоматический или полуавтоматический переход к ЖД, надежный режим жидкостной искусственной вентиляции лёгких (ЖИВЛ), а также поддержание температуры ДЖ и её газового состава. Контролируемая гипотермия тела, достигаемая с помощью ЖИВЛ, в совокупности с надежным фармакологическим воздействием, должны обеспечить увеличенное время выживания экипажа в отсеке, в то время как силами ПСС будет осуществлён доступ к экипажу путём разрушения целостности корпуса.

Выводы:

1. Существует три типовых сценария развития аварийной ситуации на ПЛ:

а) сохранение плавучести при потере возможности маневрировать, аварийное всплытие или посадка судна на мель (38,7% всех учтённых инцидентов);

б) затопление на глубине менее предельной, посадка на грунт с сохранением жизнеспособного экипажа в изолированных отсеках (51,6% всех учтённых инцидентов);

в) потеря плавучести и дальнейшее неконтролируемое погружение с превышением пределов прочности корпуса (9,7% всех учтённых инцидентов). Каждый из сценариев развития аварийной ситуации на ПЛ характеризуется воздействием определённых патологических факторов, которые могут оказывать неблагоприятное влияние на организм человека.

2. Применение технологии ЖД в контексте оказания помощи и эвакуации экипажа с АвПЛ даёт следующие преимущества:

– заполнение жидкостью органов дыхания компенсирует внешнее давление на грудную клетку и позволяет предотвратить её запредельные деформации при воздействии экстремально высокого давления на организм;

– не имея способности расширяться при падении внешнего давления, жидкость, применяемая как дыхательный субстрат, исключает риск получения баротравмы лёгких в процессе декомпрессии (всплытия);

– отсутствие в жидкости газов-разбавителей (азота) позволяет предотвратить возникновение ДКБ, а также провести жидкостную респираторную десатурацию (ЖРДС), если организм был предварительно пересыщен растворёнными газами;

– контролируемая гипотермия тела, инициируемая с помощью ЖД, позволяет снизить интенсивность метаболических процессов в организме и повысить растворимость газов в тканях, снижая риск развития ДКБ, что в совокупности увеличит время выживания в неблагоприятных условиях окружающей среды;

– использование ЖД в ряде случаев улучшает альвеолярный газообмен при химических и/или термических поражениях дыхательных путей.

3. К типовым условиям применения технологии ЖД при авариях на ПЛ могут быть отнесены:

– аварии, приведшие к затоплению ПЛ на глубинах вплоть до предельно допустимых по прочности корпуса;

– доступ экипажа к коллективным средствам эвакуации или ШУ отсутствует;

– превышен предел по глубине выхода;

– превышен предел времени пребывания экипажа в газовой среде под повышенным давлением;

– отработанные способы оказания помощи аварийным ПЛ силами и средствами ПСС не осуществимы по техническим причинам.

4. В зависимости от технического оснащения и условий предварительного пребывания экипажа в АО возможны три сценария эвакуации экипажа из отсека АвПЛ с использованием технологии жидкостного дыхания:

а) оборудованного СА без предварительного пребывания под повышенным давлением;

б) оборудованного СА после пребывания под повышенным давлением;

в) не оборудованных ШУ, после/без пребывания под повышенным давлением.

5. Для реализации предложенных сценариев спасания экипажа АвПЛ с использованием технологии ЖД необходима разработка/модернизация:

– СПА, осуществляющего ряд узкоспециализированных операций, описанных выше, в автоматическом и/или полуавтоматическом режиме;

– интеллектуальных медицинских систем для реализации газового и жидкостного дыхания в полуавтоматическом режиме;

– существующих и перспективных комплектов ССП-М для использования в рамках разрабатываемой технологии ЖД.

Список литературы

- Kylstra J.A., Tissing M.O. van der Maen. Of mice as fish. *Trans Am Soc Artif Intern Organs*. 1962; 8: 378–83. <https://doi.org/10.1097/00002480-196204000-00077>
- Clark Jr. L.C., Gollan F. Survival of mammals breathing organic liquids equilibrated with oxygen at atmospheric pressure. *Science*. 1966; 152(3730): 1755–6. <https://doi.org/10.1126/science.152.3730.1755>
- Gollan F., Clark Jr. L.C. Rapid decompression of mice breathing fluorocarbon liquid at 500 PSI. *Ala J Med Sci*. 1967; 4(3): 336–7.
- Kylstra J.A., Nantz R., Crowe J., Wagner W., Saltzman H.A. Hydraulic compression of mice to 166 atmospheres. *Science*. 1967; 158(3802): 793–4. <https://doi.org/10.1126/science.158.3802.793>
- Lundgren C.E., Ornhaugen H.C. Heart rate and respiratory frequency in hydrostatically compressed, liquid-breathing mice. *Undersea Biomed Res*. 1976; 3(4): 303–20.
- Lynch P.R., Wilson J.S., Shaffer T.H., Cohen N. Decompression incidence in air- and liquid-breathing hamsters. *Undersea Biomed Res*. 1983; 10(1): 1–10.
- Harris D.J., Coggin R.R., Roby J., Feezor M., Turner G., Bennett P.B. Liquid ventilation in dogs: an apparatus for normobaric and hyperbaric studies. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*. 1983; 54(4): 1141–8. <https://doi.org/10.1152/jappl.1983.54.4.1141>
- Harris D.J., Coggin R.R., Roby J., Turner G., Bennett P.B. EEG and evoked potential changes during gas- and liquid-breathing dives to 1000 msw. *Undersea Biomed Res*. 1985; 12(1): 1–24.
- Юрнев А.П., Сахаров Б.Д., Сытин А.В. *Аварии под водой*. Л.: «Судостроение»; 1986.
- Курьянчик Н.Н. *Борьба за живучесть как она есть*. М.: «Автономка»; 1998.
- Данмор С. *Погибшие подлодки. Величайшие катастрофы – от «Ханли» до «Курска»*. М.: «Мир книги»; 2005.

12. Гусев А.Н. *Подводные лодки специального назначения. Построенные корабли и нереализованные проекты*. М.: «Моркнига»; 2013.
13. Лукин М., Урбан К. *Катастрофы под водой*. Электрон. текстовые дан. Москва: [б.и.], 08.08.2005. Режим доступа: <http://www.kommersant.ru/doc/599326> свободный (08.06.2022).
14. Gray E. *Few survived: a history of submarine disasters*. Pen & Sword Books Ltd; 2nd edition, 1996. p 288.
15. *Руководство по борьбе за живучесть подводных лодок. Министерство морского флота Центральный ордена трудового красного знамени научно-исследовательский институт морского флота*. Ленинград; 1982.
16. Саллус Г.Г. *Живучесть подводной лодки*. М.: Государственное военно-морское издательство НКВМФ Союза ССР; 1941.
17. Андрусенко А.Н., Зверев Д.П., Шитов А.Ю. Функциональное состояние курсантов высших военно-морских учебных заведений и подводников при проведении спасательной подготовки. *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*. 2010; 4(2): 22–7.
18. Кулигин А.М., Белянкин Е.Г., Головкин И.Е. *Борьба за живучесть на подводной лодке*. Электрон. текстовые дан. Москва: [б.и.], 12.03.2007. Режим доступа: <http://podlodka.info/education/20-struggle-for-survival.html> свободный (08.06.2022).
19. Король А. *Основы теории подводной лодки*. Электрон. текстовые дан. Москва: [б.и.], 27.07.2006. Режим доступа: <http://podlodka.info/education/34-the-theory-of-submarine.html> свободный (08.06.2022).
20. Король А. *Специфические заболевания подводников и водолазов*. Электрон. текстовые дан. Москва: [б.и.], 12.07.2006. Режим доступа: <http://podlodka.info/education/15-specific-diseases-submariners-and-divers.html>, свободный (08.06.2022).
21. Мотасов Г.П. Спасение подводников: медико-физиологические вопросы. Электрон. текстовые дан. Москва: [б.и.], 24.09.2009. Режим доступа: <http://www.proatom.ru/modules.php?file=print&name=News&sid=2321>, свободный (08.06.2022).
22. Гусев А.Н. *Подводные лодки специального назначения. Построенные корабли и нереализованные проекты*. М.: «Моркнига», 2013.
23. Фигичев А.И., Васильев Ю.В., Крылов Г.К., Сытин А.В., Ястребов В.С. *Аварийно-спасательные и судоподъемные средства*. СПб.: «Судостроение»; 1979.
24. Гольдин Э., Козлов В. *Подводно-технические, судоподъемные и аварийно-спасательные работы*. М.: Транспорт; 1990.
25. Толл Д. *Подводные лодки и глубоководные аппараты*. М.: «ЭКМО»; 2004.
26. Козюков Л.В. *Создание и развитие спасательных судов ВМФ*. Судостроение. 1997; 5: 95–102.
27. Молотов С.В., Дикарев Н.Ф. Создание первых подводных аппаратов для спасения экипажей аварийных ПЛ. *Тайфун*. 1999; 3: 34–6.
28. Голдовский Б.И. История и основные тенденции развития систем спасения подводников. *Подводные технологии и мир океана*. 2006; 1: 48–55.
29. Антонов А.М. Концептуальные проблемы конструктивного обеспечения спасания подводников. *Судостроение*. 2010; 3: 32–8.
30. Антонов А.М. Концептуальные проблемы конструктивного обеспечения спасания подводников. *Судостроение*. 2010; 4: 26–9.
31. Голдовский Б.И. Современное состояние и прогноз развития спасательных глубоководных аппаратов. *Морские интеллектуальные технологии*. 2011; 4: 3–6.
32. Кулигин А.М., Белянкин Е.Г., Головкин И.Е. *Изолирующий дыхательный аппарат ИДА-59М*. Электрон. текстовые дан. Москва: [б.и.], 12.07.2006. Режим доступа: <http://podlodka.info/education/20-struggle-for-survival/254-contained-breathing-apparatus-ida59m.html> свободный (08.06.2022).
33. Агишев Е.Р., Подкопаев Д.М., Зубченко А.Г., Голдовский Б.И. *История и основные тенденции развития систем спасения подводников*. Электрон. текстовые дан. Москва: [б.и.], 24.09.2009. Режим доступа: <http://www.ozakaz.ru/index.php/articles/n24092009/106-vodolaz?format=pdf> свободный (08.06.2022).
34. Медведев Л.Г., Советов В.И., Дмитрук А.И., Стаценко А.В., Никонов С.В. Безопасные сроки пребывания подводников в отсеках затонувшей подводной лодки. *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*. 2010; 4(2): 28–32.
35. ИДА-М в составе ССП-М <http://rebreather-diver.com/index.php?/topic/653-ida-m-v-sostave-ssp-m/> (08.06.2022).
36. Старовойт А.В., Пастушенков В.А., Шитов А.Ю., А.А., Старков А.В. Оценка эффективности метаболических цитопротекторов при экстренной профилактике острой декомпрессионной болезни в эксперименте. *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*. 2010; 4(2): 33–40.
37. Советов В.И. Перспективы медицинского обеспечения операций военно-морского флота России по спасению личного состава аварийных подводных лодок методом свободного всплытия. *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*. 2010; 4(2): 51–3.
38. Владимирова М.В., Хомянский М.А., Снопина Е.М. Классификация подводных потенциально опасных объектов. *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*. 2010; 4(2): 54–7.
39. *Завершилась опытная эксплуатация снаряжения спасательного подводника (ССП-М)*. <http://www.kampo.ru/content%5D/zavershilas-opytnaya-ekspluatatsiya-snaryazheniya-spasatel'nogo-podvodnika-ssp-m> (08.06.2022).
40. Кулигин А.М., Белянкин Е.Г., Головкин И.Е. *Правила использования ССП при выходе по буйрепу или методом свободного всплытия*. Электрон. текстовые дан. Москва: [б.и.], 12.03.2007. Режим доступа: <https://podlodka.info/education/20-struggle-for-survival/694-terms-of-use-mtp-withdrawal-of-buoy-line-or-by-free-ascent.html> свободный (08.06.2022).
41. Смолин В.В., Соколов Г.М., Павлов Б.Н., Демчишин М.Д. *Глубоководные водолазные ступки и их медицинское обеспечение*. М.: «Фирма» «Слово»; 2003, Т.2: 357–541.
42. Беннет П.Б., Эллиотт Д.Г. *Медицинские проблемы подводных погружений*. М.: «Медицина»; 1988.
43. Котский М.А., Бонитенко Е.Ю., Макаров А.Ф., Каниболоцкий А.А., Кочоян А.Л., Литвинов Н.А. О возможности использования жидкостного дыхания для профилактики развития декомпрессионных нарушений. *Медицина труда и промышленная экология*. 2022; 62(2): 91–100.
44. Бонитенко Е.Ю., Тоньшин А.А., Котский М.А., Макаров А.Ф. Способ профилактики декомпрессионной болезни. Патент на изобретение № RU 2738015 С1.
45. Тоньшин А.А., Бонитенко Е.Ю., Котский М.А., Макаров А.Ф., Бала А.М., Ковалева А.С., Родченкова П.В., Лапшинова Б.О., Блинова Н.В. Оценка состояния условно-рефлекторной деятельности в процессе жидкостного дыхания. *Медицина труда и промышленная экология*. 2021; 61(10): 636–46.

References

- Kylstra J.A., Tissing M.O. van der Maen. Of mice as fish. *Trans Am Soc Artif Intern Organs*. 1962; 8: 378–83. <https://doi.org/10.1097/00002480-196204000-00077>
- Clark Jr. L.C., Gollan F. Survival of mammals breathing organic liquids equilibrated with oxygen at atmospheric pressure. *Science*. 1966; 152(3730): 1755–6. <https://doi.org/10.1126/science.152.3730.1755>
- Gollan F., Clark Jr. L.C. Rapid decompression of mice breathing fluorocarbon liquid at 500 PSI. *Ala J Med Sci*. 1967; 4(3): 336–7.
- Kylstra J.A., Nantz R., Crowe J., Wagner W., Saltzman H.A. Hydraulic compression of mice to 166 atmospheres. *Science*. 1967; 158(3802): 793–4. <https://doi.org/10.1126/science.158.3802.793>
- Lundgren C.E., Ornhagen H.C. Heart rate and respiratory frequency in hydrostatically compressed, liquid-breathing mice. *Undersea Biomed Res*. 1976; 3(4): 303–20.
- Lynch P.R., Wilson J.S., Shaffer T.H., Cohen N. Decompression incidence in air- and liquid-breathing hamsters. *Undersea Biomed Res*. 1983; 10(1): 1–10.
- Harris D.J., Coggin R.R., Roby J., Feezor M., Turner G., Bennett P.B. Liquid ventilation in dogs: an apparatus for normobaric and hyperbaric studies. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*. 1983; 54(4): 1141–8. <https://doi.org/10.1152/jappl.1983.54.4.1141>
- Harris D.J., Coggin R.R., Roby J., Turner G., Bennett P.B. EEG and evoked potential changes during gas- and liquid-breathing dives to 1000 msw. *Undersea Biomed Res*. 1985; 12(1): 1–24.
- Yurnev A.P., Sakharov B.D., Sytin A.V. *Accidents underwater*. L.: «Sudostroenie»; 1986 (in Russian).
- Kur'yanchik N.N. *Fight for survival as it is*. M.: «Avtonomka»; 1998 (in Russian).
- Danmor S. *Dead submarines. The Greatest Disasters — From the Hunley to the Kursk*. M.: «Mir knigi»; 2005 (in Russian).
- Gusev A.N. *Submarines for special purposes. Built ships and unrealized projects*. M.: «Morkniga»; 2013 (in Russian).
- Lukin M., Urban K. *Disasters under water*. Web data. Moskva, 08.08.2005. free access (08.06.2022): <http://www.kommersant.ru/doc/599326> (in Russian).
- Gray E. *Few survived: a history of submarine disasters*. Pen & Sword Books Ltd; 2nd edition, 1996. p 288.
- Submarine damage control manual*. Ministerstvo morskogo flota Tsentral'nyy ordena trudovogo krasnogo znameni nauchno-issledovatel'skiy institut morskogo flota. Leningrad; 1982 (in Russian).
- Sallus G.G. *Submarine survivability*. M.: Gosudarstvennoe voenno-morskoe izdatel'stvo NKVMF Soyuzu SSR; 1941 (in Russian).
- Andrusenko A.N., Zverev D.P., Shitov A.Yu. Functional state of cadets of higher naval educational institutions and submariners during rescue training. *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh*. 2010; 4(2): 22–7 (in Russian).
- Kuligin A.M., Belyankin E.G., Golovko I.E. *Submarine damage control*. Web data. Moskva, 12.03.2007. free access (08.06.2022): <http://podlodka.info/education/20-struggle-for-survival.html> (in Russian).
- Korol' A. *Fundamentals of the theory of the submarine*. Web data. Moskva, 27.07.2006. free access (08.06.2022): <http://podlodka.info/education/34-the-theory-of-submarine.html> (in Russian).
- Korol' A. *Specific diseases of submariners and divers*. Web data. Moskva, 27.07.2006. free access (08.06.2022): <http://podlodka.info/education/15-specific-diseases-submariners-and-divers.html> (in Russian).
- Motasov G.P. *Rescue of submariners: medical and physiological issues*. Web data. Moskva, 24.09.2009. free access (08.06.2022): <http://www.proatom.ru/modules.php?file=print&name=New&sid=2321> (in Russian).
- Gusev A.N. *Submarines for special purposes. Built ships and unrealized projects*. M.: «Morkniga»; 2013 (in Russian).
- Figichev A.I., Vasil'ev Yu.V., Krylov G.K., Sytin A.V., Yastrebov V.S. *Rescue and rescue equipment*. SPb.: «Sudostroenie»; 1979 (in Russian).
- Goldin E., Kozlov V. *Underwater technical, ship-lifting and rescue operations*. M.: Transport; 1990 (in Russian).
- Toll D. *Submarines and deep-sea vehicles*. M.: «EKSMO»; 2004 (in Russian).
- Kozyukov L.V. *Creation and development of rescue ships of the Navy*. VMF Sudostroenie. 1997; 5: 95–102 (in Russian).
- Molotov S.V., Dikarev N.F. Creation of the first underwater vehicles to rescue the crews of emergency submarines. *Tayfun*. 1999; 3: 34–6 (in Russian).
- Goldovsky B.I. History and main trends in the development of submarine rescue systems. *Podvodnye tekhnologii i mir okeana*. 2006; 1: 48–55 (in Russian).
- Antonov A.M. Conceptual problems of structural support for the rescue of submariners. *Sudostroenie*. 2010; 3: 32–38 (in Russian).
- Antonov A.M. Conceptual problems of structural support for the rescue of submariners. *Sudostroenie*. 2010; 4: 26–9 (in Russian).
- Goldovsky B.I. The current state and forecast of the development of rescue deep-sea vehicles. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*. 2011; 4: 3–6 (in Russian).
- Kuligin A.M., Belyankin E.G., Golovko I.E. *Isolating breathing apparatus IDA-59M*. Web data. Moskva, 12.07.2006. free access (08.06.2022): <http://podlodka.info/education/20-struggle-for-survival/254-contained-breathing-apparatus-ida59m.html> (in Russian).
- Agishev E.R., Podkopaev D.M., Zubchenko A.G., Goldovsky B.I. *History and main trends in the development of submarine rescue systems*. Web data. Moskva, 24.09.2009. free access (08.06.2022): www.ozakaz.ru/index.php/articles/n24092009/106-vodolaz?format=pdf (in Russian).
- Medvedev L.G., Sovetov V.I., Dmitruk A.I., Statsenko A.V., Nikonov S.V. Safe terms of stay of submariners in the compartments of a sunken submarine. *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh*. 2010; 4(2): 28–32 (in Russian).
- IDA-M as part of SSP-M. Web data. Free access (08.06.2022): <http://rebreather-diver.com/index.php?/topic/653-ida-m-v-sostave-ssp-m/> (in Russian).
- Starovoit A.V., Pastushenkov V.L., Shitov A.Yu., Myasnikov A.A., Starkov A.V. Evaluation of the effectiveness of metabolic cytoprotectors in the emergency prevention of acute decompression sickness in the experiment. *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh*. 2010; 4(2): 33–40 (in Russian).
- Sovetov V.I. Prospects for medical support of the operations of the Russian Navy to rescue the personnel of emergency submarines by the free ascent method. *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh*. 2010; 4(2): 51–3 (in Russian).
- Vladimirov M.V., Kholmyansky M.A., Snopova E.M. Classification of underwater potentially dangerous objects. *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh*. 2010; 4(2): 54–7 (in Russian).
- Trial operation of rescue submariner equipment (SSP-M) has been completed*. Web data. Free access (08.06.2022): <http://www.kampo.ru/content%5D/zavershilas-opytnaya-ekspluatatsiya-snaryazheniya-spatelnogo-podvodnika-ssp-m> (in Russian).
- Kuligin A.M., Belyankin E.G., Golovko I.E. *Rules for the use of SSP when exiting along the buoy or by the method of free ascent*. Web data. Moskva, 12.03.2007. free access (08.06.2022): <https://podlodka.info/education/20-struggle-for-survival/694-terms>

- of-use-mtp-withdrawal-of-buoy-line-or-by-free-ascent.html (in Russian).
41. Smolin V.V., Sokolov G.M., Pavlov B.N., Demchishin M.D. *Deep-sea diving descents and their medical support*. M.: "Firma" "Slovo"; 2003, P.2: 357–541 (in Russian).
 42. Bennet P.B., Elliott D.G. *Medical problems of scuba diving*. M.: "Meditsina"; 1988 (in Russian).
 43. Kotsky M.A., Bonitenko E.Yu., Makarov A.F., Kanibolotsky A.A., Kochoyan A.L., Litvinov N.A. On the possibility of using liquid breathing to prevent the development of decompression disorders. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2022; 62(2): 91–100.
 44. Bonitenko E.Yu., Tonshin A.A., Kotsky M.A., Makarov A.F. How to prevent decompression sickness. Patent RU 2738015 C1 (in Russian).
 45. Tonshin A.A., Bonitenko E.Yu., Kotsky M.A., Makarov A.F., Bala A.M., Kovaleva A.S., Rodchenkova P.V., Lapshinova B.O., Blintsova N.V. Assessment of the state of conditioned reflex activity in the process of liquid breathing. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2021; 61(10): 636–46 (in Russian).
-