

УДК: 331.472.226

OECD: 01.03.AA

Шум при дыхании водолаза в оборудовании со шланговой подачей дыхательной смеси

Костив А.Е.

К.т.н, старший научный сотрудник лаборатории акустической томографии, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток, РФ

Аннотация

Аппараты со шланговой подачей дыхательной смеси в водолазный шлем являются наиболее шумными. Шланги и воздушное пространство шлема являются звуковым каналом от источника шума к органу слуха водолаза. Цель данной работы - заинтересовать специалистов проблемой наличия шума при водолажном погружении и привлечь к организации мероприятий по изучению шумности водолазного снаряжения. В работе показано, что спектральные характеристики шумов вдоха и выдоха различаются. Вдох вносит основной вклад в шумность оборудования и имеет узкополосные шумовые составляющие. Эквивалентный уровень шума дыхания водолаза в шлеме со шланговой подачей воздуха на глубине 8 м, с легочной вентиляцией 29 л/мин находится в пределах порога санитарных правил кратковременного воздействия шума на человека 110 дБА, но может оказывать существенный дискомфорт при производстве водолажных работ. Предлагается предпринимать меры по снижению шумности оборудования, в частности, по магистрали вдоха (редуктор высокого давления, легочный автомат) на стадии разработки водолазного снаряжения с кабель-шланговой связкой.

Одновременно, в работе продемонстрирована возможность оценки легочной вентиляции водолаза под водой по шумам вдоха.

Ключевые слова: шум, водолаз, легочная вентиляция, дыхательный цикл, кабель-шланговая связка.

Breathing noise of a diver with surface-supplied diving equipment with umbilical cable

Kostiv A.E.

PhD, senior researcher of the Acoustic Tomography Laboratory, Pacific Oceanological Institute Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

Abstract

A surface-supplied diving equipment with umbilical cable are the most noisy. The hoses and air space of the helmet are a sound channel from a noise source to a diver's hearing organ. The purpose of this research is to interest specialists in the problem of noise and to involve in the organization of measures to reduce the noise of diving equipment. The paper shows that the spectral characteristics of inhalation and exhalation noises differ. Inhalation is main source of noise and has narrow-band noise components. Breathing noise level of a diver in helmet with a hose air supply to depth of 8 m with breathing rate of 29 l/min is within the threshold of sanitary standards for short-term noise exposure of 110 dBA, but can cause significant discomfort during diving. It is proposed to pay attention to reducing the noise of equipment, in particular, along the inhalation line (pressure-reduction regulator, automatic diluent valves) at the stage of developing diving equipment.

It also shows the possibility of assessing the breathing rate of a diver under water by the sound of inspiration.

Keywords: *noise, diver, breathing rate, respiratory cycle, umbilical cable.*

Введение

В процессе профессиональной деятельности водолазы подвергаются воздействию шума из различных источников. Аппараты со шланговой подачей дыхательной смеси в водолазный шлем являются наиболее шумными, так как шланги и воздушное пространство шлема являются звуковым каналом от источника шума к органу слуха водолаза. Существуют публикации [1–8], которые сообщают, что водолазы подвержены ухудшению слуха быстрее, чем основная масса населения.

Уровни шума зависят от конструкции подводного дыхательного аппарата, глубины погружения, легочной вентиляции, состава дыхательной смеси. Водолазы используют различные дыхательные смеси, которые могут различаться как по составу, так и по процентному соотношению входящих газов. Могут применяться следующие составы: воздух, при обогащении смеси кислородом смесь называют Nitrox (азот и кислород); Heliox (гелий и кислород); Trimix (азот, гелий и кислород) и Hydreliox (водород, гелий и кислород). Так, использование Heliox в качестве дыхательного газа создает меньший уровень шума, чем воздух при тех же условиях. Уровень шума увеличивается с глубиной и увеличением легочной вентиляции [9]. Под термином легочная вентиляция (ventilation volume [10]) понимается объем дыхательной смеси прошедшей через легкие человека за одну минуту. Под термином частота дыхания (respiratory rate) понимается количество дыхательных циклов в минуту [11]. Использование маски и «мокрого» капюшона снижают уровень шума на 10 дБА и более [12,13].

Предлагается использовать «наземные» предельно допустимые уровни звука независимо от глубины погружения (давления среды) и состава дыхательной смеси [9]. Так, эквивалентный уровень звука не должен превышать 80 дБА, предельно допустимый уровень звука в машинном отделении корабля с постоянной вахтой составляет 85 дБА, безвахтенное обслуживание - 110 дБА [14 стр. 13, 60]. Далее по тексту предельно допустимый уровень звука 85 дБА называем порогом воздействия шума на человека за рабочую смену, а 110 дБА - порогом кратковременного воздействия шума на человека.

1. Методы

При работе в тяжелом кабель-шланговом водолажном снаряжении со шлемом СВУ-5 (АО «Тетис Про») выполнена запись дыхательных шумов водолаза на глубине 8 м, водолаз находился на морском дне. Регистрация шумов производилась с использованием штатной станции кабельной водолазной подводной связи СВС-2П-М (АО «Тетис Про»). К станции связи на пульте руководителя спусками подключались звуковая карта transit (M-audio) и персональный компьютер. Запись велась с частотой дискретизации 48 кГц, глубиной квантования 24 бит. Сигналограмма фрагмента записи представлена на рисунке 1. В качестве датчика шумов дыхания использовался электродинамический микрофон ME-16R HotMic (Ocean Technology Systems), входящий в комплект водолазного снаряжения, установленный в воздушном зазоре в воротниковой зоне. Дыхание водолаза обеспечивала кабель-шланговая связка длиной 125 м. Через шланг водолазу с судна подавалась газовая смесь - воздух, выдох осуществлялся в воду (открытая схема дыхания). Анализ шумовых сигналов выполнен в программном анализаторе спектра SpectraPLUS (Pioneer Hill Software).

Легочная вентиляция водолаза под водой определялась акустическим способом. Оценивалась суммарная продолжительность шумов вдохов за минутный период по формуле:

$$BR = \sum t_i * BR_{max}, \quad (1)$$

где BR – легочная вентиляция водолаза, л/мин; t_i – продолжительность каждого вдоха, мин; BR_{max} – максимальная легочная вентиляция дыхательного аппарата (для СВУ-5 определена производителем 90 л/мин).

Оценка шумового воздействия на человека во время водолазного погружения производилась путем сравнения значения эквивалентного уровня звука [15] в шлеме с предельным допустимым уровнем звука [14]. Эквивалентный уровень звука определялся встроенным инструментом анализатора спектра «Total Power» измерением трех фрагментов записи в начале, середине и конце погружения. Длительность фрагментов 5 минут каждый. Так же оценивался эквивалентный уровень звука на задержке дыхания по трем фрагментам (где были эти задержки). Инструмент «Total Power» отображает уровень среднеквадратичной мощности для всего спектра, взвешенного по частотной характеристике А, что соответствует показаниям шумомера откалиброванного в единицах уровня звукового давления (сообщает справочная система анализатора спектра). Определение эквивалентного уровня звука за рабочую смену выполнено по существующим правилам расчета [15,16]. В расчете учитывалось максимально допустимое время погружения 6 часов [17 п.142] и длительность изучаемого в настоящей работе погружения.

Регистрация шумов водолаза производилась во время плановых водолазных работ без вмешательства в конструкцию водолазного оборудования с соблюдением норм и правил безопасного погружения. Общая продолжительность записи погружения составила 23 минуты. Температура воды +18 градусов Цельсия. Работы выполнялись на мелководье залива Петра Великого в Японском море.

2. Результаты

2.1. Оценка легочной вентиляции по шумам вдоха

Продолжительность шумов вдоха определялась с использованием спектрограммы. Водолаз находился под водой со средней частотой дыхания 17 дыхательных циклов в минуту и средней продолжительностью (и стандартным отклонением) вдоха 1,13 (0,3) секунды. На рисунке 1 представлена спектрограмма шумов трех дыхательных циклов. Каждый цикл состоит (слева направо) из выдоха, вдоха и задержки дыхания. В одном из циклов дыхания вдох показан прямоугольником. Средняя легочная вентиляция, оцененная акустическим способом (рис. 1, формула 1) составила 29 л/мин.

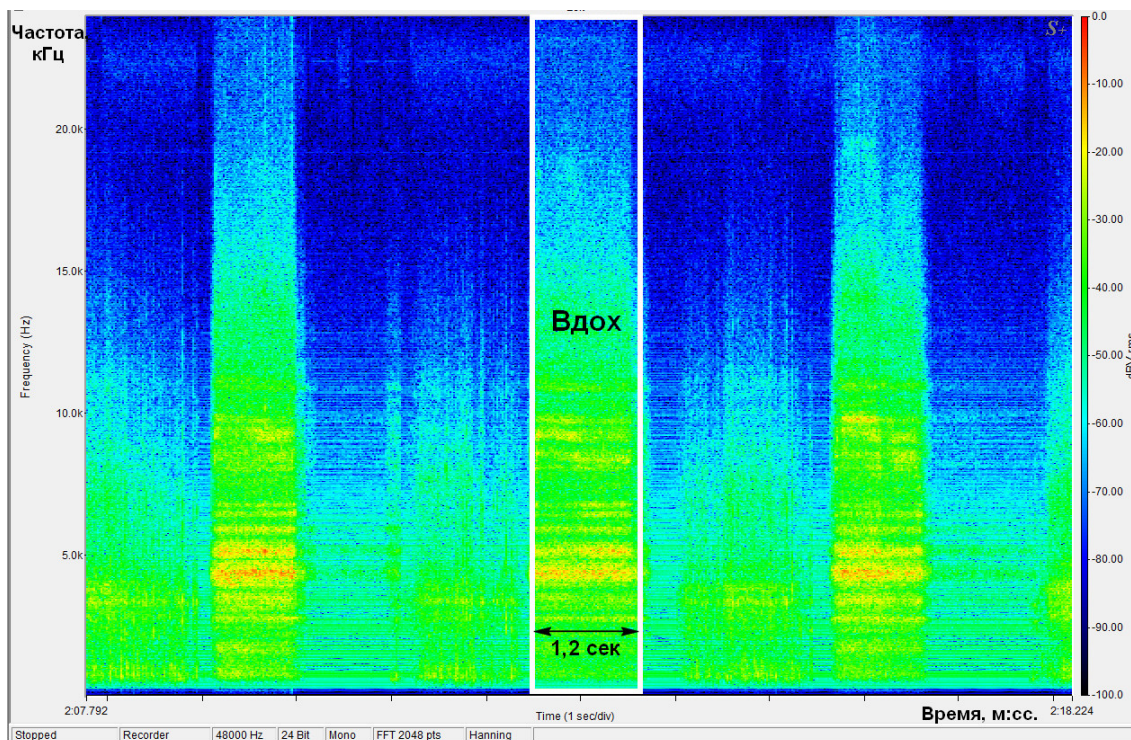


Рис. 1. Спектрограмма трех циклов дыхания

2.2. Шум при дыхании водолаза

Корректированный по шкале А уровень звукового давления в 1/3 октавной полосе частот дБА показан на рисунке 2. Спектр шумов водолазного снаряжения при дыхании водолаза показан графиками: 1 (зеленый, лазурный, фиолетовый) — дыхание в начале, середине и конце погружения; 2 (розовый, коричневый, оранжевый) — фон (водолаз не дышит) в начале, середине и конце погружения; 3 — инструмент «Total Power» показывает среднее квадратичное значение мощности спектра (лазурный график) шумов водолазного снаряжения. Показания инструмента «Total Power» сведены в таблицу 1. Эквивалентные уровни звука в начале, середине и конце погружения различаются не более, чем на 3 дБ.

Таблица 1

Эквивалентный уровень превышения шума дыхания над фоном

№	Шумы дыхания, дБА	Фон, дБА	Эквивалентный уровень превышения шума дыхания над фоном, дБА
1	-12,95	-44,26	31,31
2	-14,63	-42,95	28,32
3	-15,06	-43,53	28,47

Спектральные характеристики шумов вдоха и выдоха показаны на рисунке 3. Выдох создает широкополосный шум с максимальным значением спектра над фоном 17 дБ. Вдох вносит основной вклад в шумность оборудования и создает широкополосный шум в диапазоне частот от 0,5 до 20 кГц, а также имеет узкополосные шумовые составляющие над фоном до 37 дБ.

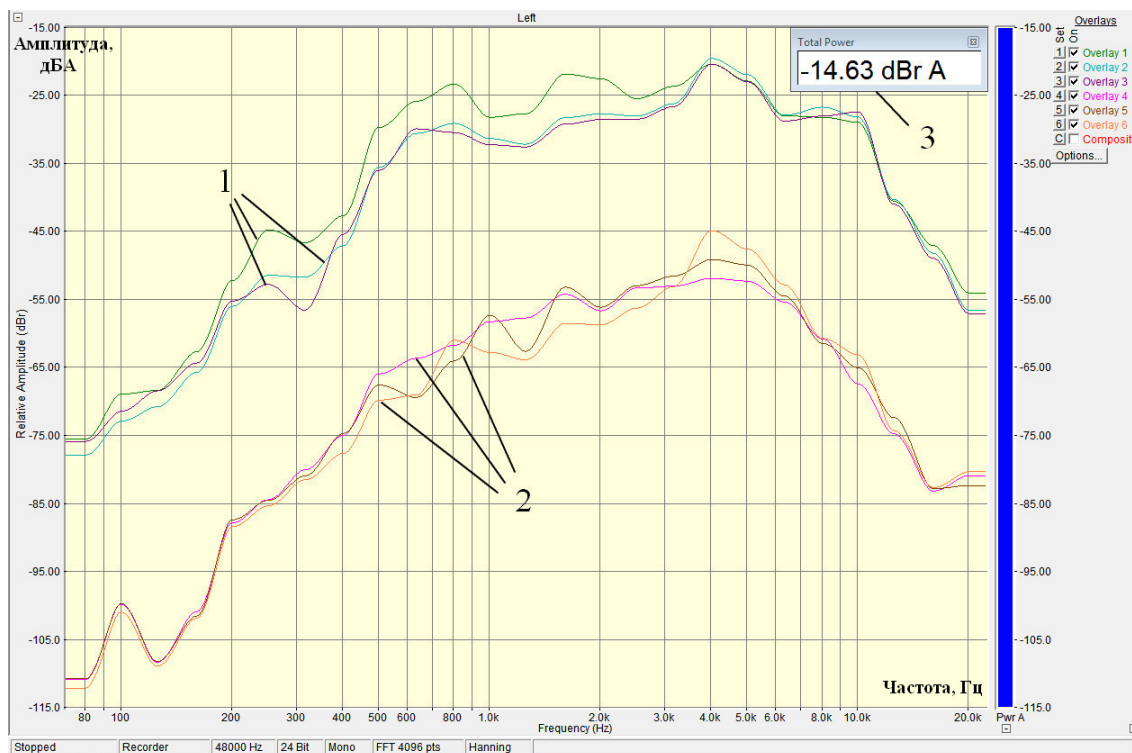


Рис. 2. Спектры фона (2) и шумов дыхания (1) водолаза в шлеме со шланговой подачей дыхательной смеси

3. Обсуждения

Контроль легочной вентиляции водолаза во время погружения может производиться по прибору прямого учета скорости расхода дыхательной смеси, который встроен в арматуру водолазного оборудования, по скорости снижения давления в баллоне с дыхательной смесью. Предложенный в работе акустический способ оценки легочной вентиляции водолаза во время погружения по шумам вдоха может служить дополнением к основным способам контроля. Частота регистрации мгновенного значения легочной вентиляции водолаза акустическим способом определяется продолжительностью дыхательного цикла, то есть единицы секунд.

Водолазное снаряжение разных типов имеют сходные узлы, например, редуктор высокого давления (первая ступень регулятора давления). В работе [18,19] сообщается, что источником узкополосного шума на вдохе в легком водолазном снаряжении с открытой схемой дыхания, подачей дыхательной смеси из баллона является редуктор высокого давления. Потому в настоящей работе делается предположение, что источником узкополосного шума на вдохе в снаряжении с кабель-шланговой связкой служит редуктор высокого давления и легочный автомат.

Определение абсолютных значений уровня акустического давления у водолаза в шлеме под водой при различных режимах работы водолазного снаряжения представляет технические, этические и организационные трудности. Задача решается использованием «искусственного уха» [9]. Предположив, что уровень шумового фона не сильно зависит от модели водолазного оборудования с кабель-шланговой связкой и приняв фоновый шум в шлеме 58,5 дБА – среднееквадратичное значение спектра уровня звука фона [9 стр. 2416]. Суммируя уровень превышения шума дыхания над фоном (Табл. 1) со значением фонового шума 58,5 дБА получаем 89,8; 86,8 и 87,0 дБА в начале, середине и конце погружения, соответственно. Затем рассчитывается эквивалентный уровень

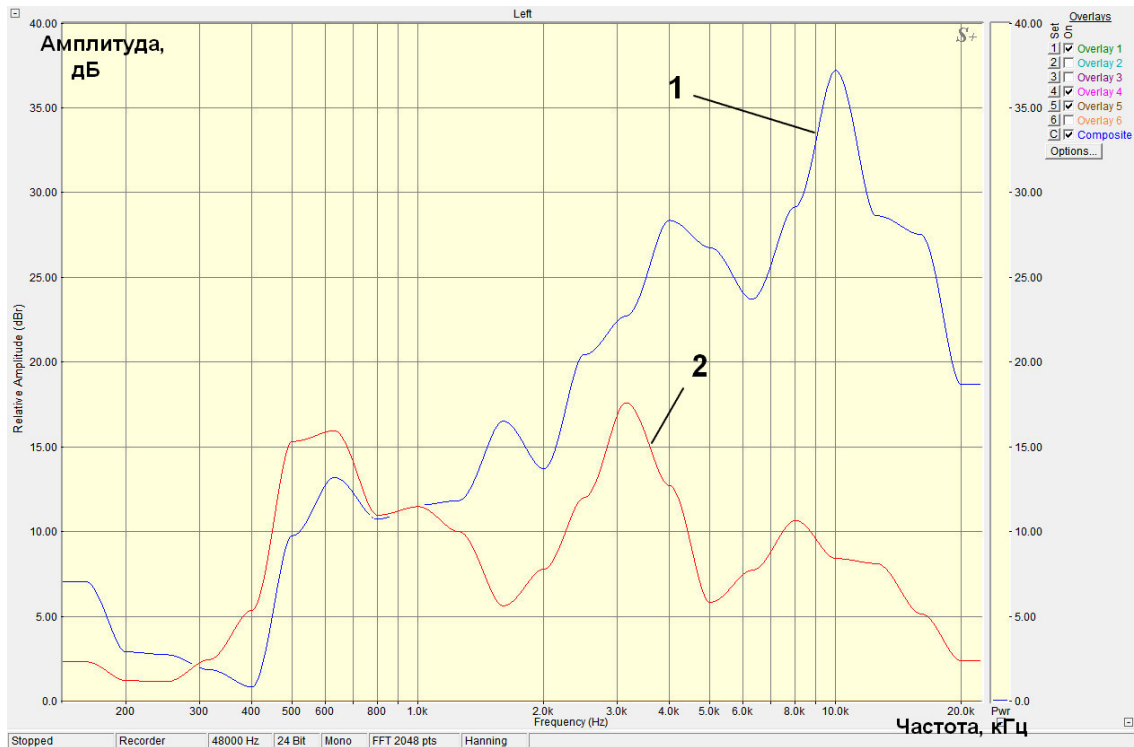


Рис. 3. Отношение спектров шума вдоха (1) и выдоха (2) водолаза к фону в шлеме со шланговой подачей дыхательной смеси

звука шумового воздействия при погружении 23 мин., на глубину 8 м, использовании в качестве дыхательной смеси воздуха и легочной вентиляции 29 л/мин, который составил 74,9 дБА. При этом, эквивалентный уровень звука за рабочую смену составляет 86,8 дБА (Рис.4). Значение эквивалентного уровня звука за рабочую смену сопоставимо с порогом санитарных норм [14] воздействия шума на человека за рабочую смену 85 дБА и согласуется с результатами других работ [9].

Исходные данные		Результаты промежуточные	
Число членов рабочей группы	1	Среднее значение уровня выборочного измерения, дБ	88,1
Число выборочных измерений	3	Составляющая неопределенности прибор+микрофон, $C2^2(u2^2+u3^2)$	1,5
Эффективная длительность рабочего дня, час	6	Стандартное отклонение уровня выборочных измерений	1,7
Результаты выборочных измерений Lp, A, eqT, n , дБ	89,8	Статистическая составляющая, $c1u1$	3,1
	86,8		
	87		
		Результаты итоговые	
		Эквивалентный уровень смены LEX8h	86,8
		Стандартная неопределенность $u(LEX8h)$	3,3
		Расширенная неопределенность $U(LEX8h)$, $P=95\%$	6,7
		Расширенная неопределенность $U(LEX8h)$, $P(\text{меньше } DU)=95\%$	5,5

Рис. 4. Пример отчета расчета эквивалентного уровня звука за рабочую смену программным средством [16]

В настоящем исследовании не рассматривались возможные источники шума из внешней среды. Такие как шум винтов [20], работа гидролокатора, подводного инструмента. Описанное в разделе «Методы» оборудование, хоть и позволяет без вмешательства в конструкцию водолазного снаряжения оценивать шум при дыхании водолаза со шланговой подачей дыхательной смеси, все же не является, с метрологической точки зрения, шумомером, потому полученные в работе уровни звука нуждаются в

проверке соответствующим ГОСТу оборудованием [15].

Заключение

Оценка шумового воздействия на человека в течении предельно допустимого времени водолазного погружения со шланговой подачей дыхательной смеси показала, что уровень шума дыхания водолаза в шлеме сопоставим с порогом санитарных правил воздействия шума на человека за рабочую смену. Шум дыхания водолаза в шлеме может оказывать существенный дискомфорт [21] при производстве водолазных работ, а также негативное влияние на подводную фауну в районе проведения работ.

Предлагается уделять внимание изучению шумности оборудования, в частности, по магистрали вдоха (редуктор высокого давления, легочный автомат) на стадии разработки или модернизации водолазного снаряжения с кабель-шланговой связкой.

Список литературы

1. Zannini D., Odaglia G., Sperati G. Auditory changes in professional divers // Underwater physiology V—Proceedings of the Fifth Symposium on Underwater Physiology. Federation of American Societies for Experimental Biology, Bethesda. 1976. P. 675–684.
2. Molvaer O.I., Lehmann E.H. Hearing acuity in professional divers. // Undersea biomedical research. Undersea Medical Society Inc., 1985. Vol. 12, № 3. P. 333–349.
3. Molvaer O.I., Albrektsen G. Hearing deterioration in professional divers: an epidemiologic study. // Undersea biomedical research. 1990. Vol. 17, № 3. P. 231–246.
4. Zulkafly A.R. et al. Hearing loss in diving—a study amongst Navy divers. // The Medical journal of Malaysia. 1996. Vol. 51, № 1. P. 103–108.
5. Skogstad M., Haldorsen T., Arnesen A.R. Auditory function among young occupational divers: a 3-year follow-up study // Scandinavian audiology. Taylor & Francis, 2000. Vol. 29, № 4. P. 245–252.
6. Skogstad M. et al. Hearing thresholds among young professional divers: a 6-year longitudinal study // Aviation, space, and environmental medicine. Aerospace Medical Association, 2005. Vol. 76, № 4. P. 366–369.
7. Haraguchi H. et al. Progressive sensorineural hearing impairment in professional fishery divers // Annals of Otology, Rhinology & Laryngology. SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, 1999. Vol. 108, № 12. P. 1165–1169.
8. Ross J.A. et al. Health status of professional divers and offshore oil industry workers // Occupational Medicine. Oxford University Press, 2007. Vol. 57, № 4. P. 254–261.
9. Langston T., Singh S., Hunt J. Noise characteristics of the Kirby Morgan 37 surface-supplied diving helmet under simulated diving conditions // The Journal of the Acoustical Society of America. Acoustical Society of America, 2021. Vol. 150, № 6. P. 4213–4218.
10. Dreyer S. et al. How to Survive 33 min after the Umbilical of a Saturation Diver Severed at a Depth of 90 msw? // Healthcare. MDPI, 2022. Vol. 10, № 3. P. 453.
11. Костив А.Е., Коренбаум В.И., Дорожко В.М. Акустический мониторинг дыхательного ритма у водолазов in situ по дыхательным шумам // Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики. 2020. P. 474–477.
12. Paddan G.S., Lower M. Attenuation of airborne noise by wet and dry neoprene diving hoods // Underwater Technology. 2021. Vol. 38, № 1. P. 3–12.
13. Fothergill D.M., Sims J.R., Curley M.D. Neoprene wet-suit hood affects low-frequency underwater hearing thresholds // Aviation, space, and environmental medicine. Aerospace Medical Association, 2004. Vol. 75, № 5. P. 397–404.

14. Санитарные правила РФ СП 2.5.3650-20 Санитарно-эпидемиологические требования к отдельным видам транспорта и объектам транспортной инфраструктуры.
15. ГОСТ 9612-2016 (ИСО 9612-2016) «Акустика. Измерения шума для оценки его воздействия на человека. Метод измерений на рабочих местах» - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200140579> (дата обращения 06.06.2023).
16. ООО «НТМ-Защита»: Калькулятор для ГОСТ ISO 9612-2016 «Акустика. Измерение шума для оценки его воздействия на человека. Метод измерения на рабочих местах»: [сайт]. Москва – . – URL: https://ntm.ru/UserFiles/File/programm/calculator-9612/calc-9612_publ5_1.xlsx (дата обращения: 06.06.2023). – Режим доступа: свободный. – Электронная таблица.
17. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ “Об утверждении Правил по охране труда при проведении водолазных работ” от 17.12.2020 №922н: XII Требования к рациональной организации труда, профилактике несчастных случаев, предотвращению производственного травматизма и ограничению тяжести труда. (вступ. в силу с 01.01.2021, срок действия ограничен 31.12.2025) // Консультант Плюс [электронный ресурс] Режим доступа. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_372949/ef6b3a4e9d4c0c03b579a500b9a4d265bd40eb47/dst100011 (дата обращения: 06.06.2023).
18. Donskoy D.M. Acoustic emission mechanism from scuba diving equipment // The Journal of the Acoustical Society of America. Acoustical Society of America, 2007. Vol. 121, № 5. P. 3086–3086.
19. Donskoy D. et al. Turbulence-Induced Acoustic Emission of SCUBA Breathing Apparatus // AIP Conference Proceedings. American Institute of Physics, 2008. Vol. 1022, № 1. P. 95–98.
20. Prawirasasra M.S. et al. Underwater noise impact of a ferry route on dive patterns of transiting Baltic ringed seals. // Estonian Journal of Earth Sciences. 2022. Vol. 71, № 4.
21. Римская-Корсакова, Л. К. Оценки раздражающего действия шума / Л. К. Римская-Корсакова, П. А. Пятаков, С. А. Шуляпов // Акустический журнал. – 2022. – Т. 68, № 5. – С. 550-561.

References

1. Zannini D., Odaglia G., Sperati G. Auditory changes in professional divers // Underwater physiology V—Proceedings of the Fifth Symposium on Underwater Physiology. Federation of American Societies for Experimental Biology, Bethesda. 1976. P. 675–684.
2. Molvaer O.I., Lehmann E.H. Hearing acuity in professional divers. // Undersea biomedical research. Undersea Medical Society Inc., 1985 Vol. 12, № 3. P. 333–349.
3. Molvaer O.I., Albrektsen G. Hearing deterioration in professional divers: an epidemiologic study. // Undersea biomedical research. 1990. Vol. 17, № 3. P. 231–246.
4. Zulkafay A.R. et al. Hearing loss in diving—a study amongst Navy divers. // The Medical journal of Malaysia. 1996. Vol. 51, № 1. P. 103–108.
5. Skogstad M. et al. Hearing thresholds among young professional divers: a 6-year longitudinal study // Aviation, space, and environmental medicine. Aerospace Medical Association, 2005. Vol. 76, № 4. P. 366–369.
6. Haraguchi H. et al. Progressive sensorineural hearing impairment in professional fishery divers // Annals of Otology, Rhinology & Laryngology. SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, 1999. Vol. 108, № 12. P. 1165–1169.
7. Skogstad M., Haldorsen T., Arnesen A.R. Auditory function among young

occupational divers: a 3-year follow-up study // Scandinavian audiology. Taylor & Francis, 2000. Vol. 29, № 4. P. 245–252.

8. Ross J.A. et al. Health status of professional divers and offshore oil industry workers // Occupational Medicine. Oxford University Press, 2007. Vol. 57, № 4. P. 254–261.

9. Langston T., Singh S., Hunt J. Noise characteristics of the Kirby Morgan 37 surface-supplied diving helmet under simulated diving conditions // The Journal of the Acoustical Society of America. Acoustical Society of America, 2021. Vol. 150, № 6. P. 4213–4218.

10. Dreyer S. et al. How to Survive 33 min after the Umbilical of a Saturation Diver Severed at a Depth of 90 msw? // Healthcare. MDPI, 2022. Vol. 10, № 3. P. 453.

11. Kostiv A.E., Korenbaum V.I., Dorozhko V.M. Acoustic monitoring of diver's respiratory rate by respiratory-associated noise in situ // Advanced technologies of hydroacoustics and hydrophysics. 2020. P. 474–477.

12. Paddan G.S., Lower M. Attenuation of airborne noise by wet and dry neoprene diving hoods // Underwater Technology. 2021. Vol. 38, № 1. P. 3–12.

13. Fothergill D.M., Sims J.R., Curley M.D. Neoprene wet-suit hood affects low-frequency underwater hearing thresholds // Aviation, space, and environmental medicine. Aerospace Medical Association, 2004. Vol. 75, № 5. P. 397–404.

14. Sanitary rules of the Russian Federation SP 2.5.3650-20 Sanitary and Epidemiological Requirements for Certain Modes of Transport and Transport Infrastructure Facilities.

15. GOST ISO 9612-2016 «Acoustics. Noise measurement for the purpose of evaluating human exposure to noise. Method of measurements at workplaces» - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200140579> (accessed 06/06/2023).

16. «NTM-Zashita» LLC: Calculator for GOST ISO 9612-2016 «Acoustics. Noise measurement for the purpose of evaluating human exposure to noise. Method of measurements at workplaces»: [website]. Moscow - . - URL: https://ntm.ru/UserFiles/File/programm/calculator-9612/calc-9612_publ5_1.xlsx (date of access: 06/06/2023). - Access mode: free. - Spreadsheet.

17. Order of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation “On approval of the Rules for labor protection during diving operations” dated December 17, 2020 №922n: XII Requirements for the rational organization of work, prevention of accidents, prevention of industrial injuries and limitation of the severity of labor. (effective from 01/01/2021, validity period is limited to 12/31/2025) // Consultant Plus [electronic resource] Access mode. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_372949/ef6b3a4e9d4c03b579a500b9a4d265bd40eb47/dst100011 (date of access: 06/06/2023).

18. Donskoy D.M. Acoustic emission mechanism from scuba diving equipment // The Journal of the Acoustical Society of America. Acoustical Society of America, 2007. Vol. 121, № 5. P. 3086–3086.

19. Donskoy D. et al. Turbulence-Induced Acoustic Emission of SCUBA Breathing Apparatus // AIP Conference Proceedings. American Institute of Physics, 2008. Vol. 1022, № 1. P. 95–98.

20. Prawirasasra M.S. et al. Underwater noise impact of a ferry route on dive patterns of transiting Baltic ringed seals. // Estonian Journal of Earth Sciences. 2022. Vol. 71, № 4.

21. Rimskaya-Korsakova L.K., Pyatakov P.A., Shulyapov S.A. Evaluations of the Annoyance Effects of Noise // Acoustical Physicsthis – 2022. – Vol. 68, № 5. – P. 550-561.