



УДК 534.6:629.5.015.6:629.123

## ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШУМА, КОНТРОЛЬ ШУМА В РАБОЧИХ ЗОНАХ НА СУДАХ

*Гусев В.Н.*

*Херсонская государственная морская академия*

*В работе показана физическая сторона шума (звука), которая характеризуется давлением, интенсивностью звука, частотой и другими параметрами. Проведены в режиме акустики на временной характеристике «медленно» замеры шума в машинном отделении пассажирского судна «Генерал Ватутин», находящегося на стоянке в порту г. Херсона при включенном дизель-генераторе.*

*Ключевые слова: шум, звук, интенсивность звука, давление, уровень шума (звука), частотная характеристика, гистограмма.*

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими заданиями.** Колебательные движения воздуха, создаваемые различными устройствами, механизмами, живыми организмами, а также природными явлениями, вызывают звук. Неприятные и раздражающие звуки называются шумами.

Длительное действие повышенного шума воздействует на слух, вызывает у человека невроты, сердечно-сосудистые и другие заболевания, что служит причиной производственного травматизма и снижения производительности труда.

Акустические измерения дают возможность точно и с научных позиций анализировать и оценивать раздражающие и вредные звуки и шумы.

Акустические измерения также дают ясную и однозначную индикацию степени опасности и вредности звуков и шумов и, следовательно, способствуют заблаговременному принятию соответствующих контрмер.

В опубликованных статьях по акустическим измерениям в основном приводятся результаты измерений и сравнение полученных значений с нормативными документами. Мы в своей работе кроме проведенных акустических измерений на судне, решили раскрыть физический смысл основных свойств звука, физические характеристики шума (звука), привести функциональной схемы шумомера.

Таким образом, **целью данной работы** является раскрытие физического смысла основных свойств звука, физических характеристик шума (звука), рассмотрение функциональной схемы работы звукоизмерительной аппаратуры (шумомера), все это встречается в научной литературе очень редко, и как конечный вариант, провести контрольные акустические измерения на судне, сравнить полученные результаты с санитарными нормами и Кодексом ИМО по уровням шума на судах.

**Физический смысл основных свойств звука, физических характеристик шума (звука).** С физической стороны шум характеризуется звуковым давлением, интенсивностью звука, частотой и другими параметрами.

Разность между атмосферным давлением и давлением, которое создает любая звуковая волна распространяющаяся в пространстве на встречающиеся препятствия (в том числе и на наши барабанные перепонки) принято считать звуковым давлением, которое выражается в системе Си в паскалях Па ( $\text{Н/м}^2$ ).

При распространении звуковых волн происходит перенос кинетической энергии, которая определяется интенсивностью звука,  $\text{Н/м}$ .

Частота звука характеризуется числом колебаний звуковой волны в единицу времени и измеряется в герцах (Гц).

В акустике принято измерять не абсолютные значения интенсивности звука или звукового давления, а их, относительные логарифмические уровни, взятые по отношению к пороговому значению и измеряют в децибелах (дБ).



Важним является объяснение, почему происходит такое отличие единиц измерения с позиции физики. Отметим, что прибором для измерения изменений атмосферного давления воздуха является барометр, но барометр не реагирует достаточно быстро и не регистрирует быстрые изменения давления, так что его нельзя применять для измерения звука. На основании опытных данных установлено, что в среднем самый слабый звук, обнаруживаемый нормальным слухом здорового человека (предел чувствительности, порог слышимости) равен приблизительно 20 мкПа. Более слабый звук услышать невозможно. Звуковое давление 20 Па считается болевым порогом, при котором интенсивность звука такова, что она может за короткое время вызвать повреждение органов слуха. Для сравнения скажем, что нормальное статическое атмосферное давление равно 100 кПа.

Из вышесказанного следует, что человеческий слух способен воспринимать звуки, обуславливающие изменения давления более чем в миллион раз больше 20 мкПа.

Следовательно, применение основных единиц давления, т.е. Па, в акустической практике сопровождалось бы необходимостью применения больших чисел. Чтобы избежать этот недостаток в акустике применена логарифмическая шкала [1].

Логарифмическую зависимость в акустике можно охарактеризовать следующем образом: субъективное восприятие силы звука, т.е. (абсолютная величина слухового ощущения) – громкость звука показывает, что увеличение громкости в два раза соответствует увеличению силы звука в 100 раз (звукового давления – в 10 раз), увеличение громкости в 3 раза соответствует увеличению силы звука уже в 10000 раз (звукового давления – в 100 раз), а увеличение громкости в 4 раза соответствует изменению силы звука в 100000000 раз (звукового давления – в 10000 раз).

Александр Бел открыл интересную особенность – нелинейность слуха, т.е. наша слуховая система реагирует на уровень звукового давления «логарифмически».

В качестве единицы измерения нашего восприятия изменения уровня (громкости) звука выбрана логарифмическая единица Бел (Б) – в честь Александра Бела.

Изменение уровня звука в один бел одинаково отражает и изменение силы звука, и изменение звукового давления. Отметим, что одному белу соответствует увеличению интенсивности звука на пороге слышимости в 10 раз (если интенсивность звука  $I$  больше

исходной в 10 раз, т.е.  $\frac{I}{I_0} = 10$ , то принято считать, что интенсивность звука  $I$  превышает исходную на 1 Б, при  $\frac{I}{I_0} = 100$  превышает на 2 Б и т.д.).

Установлено, что орган слуха человека способен различать прирост звука на 0,1 Б, т.е. на 1 дБ, и поэтому уровень интенсивности звука  $L$  измеряют в децибелах дБ, который и принят в практике акустических измерений как основная единица.

Исходя из того, что нормальное статическое атмосферное давление равно 100 кПа, болевой порог равен 20 Па, а порог слышимости – около 20 мкПа, то можно эти величины представить в виде шкалы.

Эти же величины представляются в логарифмическом масштабе, как показано на рис. 1.

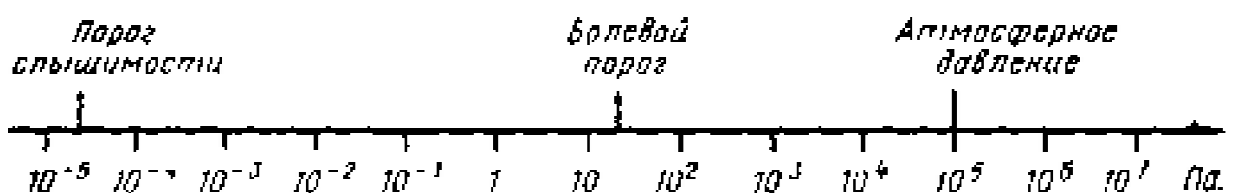


Рисунок 1 – Логарифмическая шкала давления



Логарифмический масштаб дает возможность лучше отразить огромный диапазон колебаний ( $10^6$ ). Но поскольку оперировать с логарифмами не всегда удобно, целесообразно было принять масштаб, у которого отсчет начинается с нуля и соответствует порогу слышимости.

Таким образом, уровень интенсивности звука 0 дБ соответствует порогу слышимости.

Важной величиной, характеризующий звук, является частота. Установлено, что ухо человека может воспринимать колебания с частотами от 15 Гц до 15 кГц, т.е. в очень широком диапазоне колебаний, отношение которых составляет 1:1000. Поэтому для частот также используется логарифмическая шкала, например при графическом изображении спектров шума.

Слуховой аппарат человека обладает неодинаковой чувствительностью к звукам различной частоты, а именно – наибольшей чувствительностью на средних и высоких частотах (800 Гц – 4 кГц) и наименьшей – на низких (20 Гц – 100 Гц). Поэтому для физиологической оценки шума используют кривые равной громкости (рис. 2), полученные по результатам изучения свойств органов слуха. Которые позволяют оценивать звуки различной частоты по субъективному ощущению громкости, т.е. судить о том, какой из них сильнее или слабее.

Уровни громкости измеряются в фонах. На частоте 1000 Гц уровни громкости приняты равными уровням звукового давления.

Для иллюстративного примера приведем на рис. 2 так называемые кривые равной громкости (в фонах), которые характеризуют чувствительность уха [2].

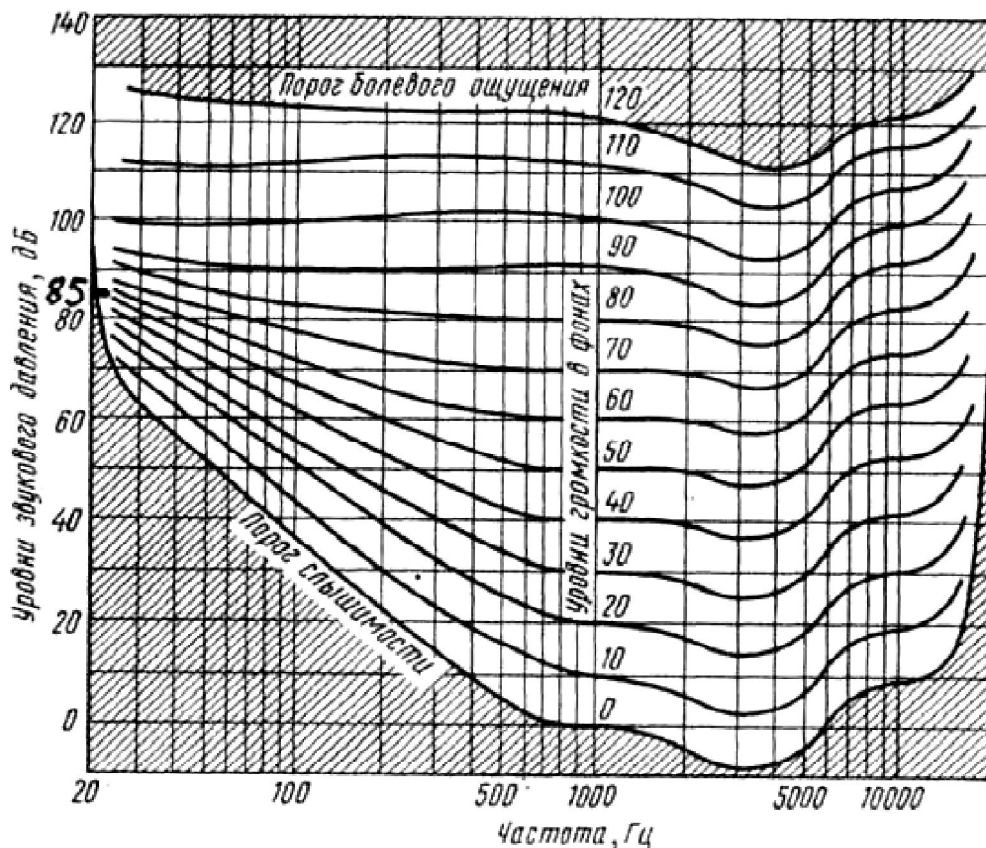


Рисунок 2 – Кривые равной громкости звука

На рис. 2 кривые показывают, что ухо лучше воспринимает дискантовые тоны, чем низкие, причем разница в восприятии будет тем больше, чем меньше уровни звука. При более высоких уровнях эта разница заметно сглаживается.



Для того, чтобы измерительный прибор имел характеристику, подобную слуховым органам, он должен уменьшать влияние низких частот. Для этого звук, измеряемый во всем частотном диапазоне, перед показывающим прибором должен проходить через соответствующий фильтр. При применении такого типа фильтра измеряемый уровень звука соответствует приблизительно восприятию его ухом. Измеренные величины обозначаются дБА, дБВ, дБС или дБД в зависимости от того, какой фильтр использовался «А», «В», «С» или «Д», т.е. при измерении шума необходимо придерживаться частотной коррекции определяемой международными рекомендациями и стандартами. Фильтр «А» используется для измерения низких уровней звукового давления, фильтр «В» используется для измерения в области средних уровней звукового давления, фильтр «С» используется для измерения в области высоких уровней звукового давления. Следует отметить, что в настоящее время имеется фильтр «Д» предназначенный для измерения шума самолета. Однако в большинстве практических областей предпочтение отдается фильтру «А». Затухание, вносимое фильтром «А» в области низких частот, больше, чем затухание, вносимое фильтром «В». В настоящее время фильтр «В» применяется редко, так как на практике было установлено, что уровни звука в дБА дают достаточно удовлетворительное представление о шуме при измерении на судах и других видах.

Таким образом, характеристика А, показывающая уровень звука в дБА (А обозначает автоматическую подстройку слухового органа человека на данную частоту) в основном используют для ориентировочной оценки шума.

Отметим, что шумы подразделяют на постоянные, уровни звука которых за 8-часовой рабочий день изменяются во времени не более чем на 5 дБА. и непостоянные (прерывистые, импульсные и колеблющиеся во времени), для которых это изменение более 5 дБА. Проводят измерения и кратковременных звуков, т.е. звуков длительностью меньше 1 с, которые называются импульсными. Импульсные звуки еще более затрудняют и усложняют оценку субъективной громкости, так как с уменьшением длительности звука также уменьшается чувствительность воспринимающего его слуха.

**Измерение шума шумомером «АССИСТЕНТ», методика проведения измерений.** Рассмотрев физический смысл основных свойств звука, физических характеристик шума (звука), перед тем как провести измерение, контроль шума на судне, перейдем к рассмотрению основных характеристик и принципа работы прибора измеряемого шум – шумомера.

Для измерения шума используют шумомер. Воспринимаемый шумомером звук преобразуется его микрофоном в пропорциональный электрический сигнал. Так как амплитуда этого сигнала весьма мала, еще до его подачи на современный цифровой индикатор необходимо соответствующее усиление. Усиленный предусмотренным на входе шумомера усилительным каскадом электрический сигнал может подвергаться частотной коррекции в блоке, содержащем стандартные корректирующие схемы. А, В, С и/или D, или фильтрации внешними полосовыми (например, октавными или третьоктавными) фильтрами. Усиленный соответствующим усилительным каскадом электрический сигнал затем подается на блок детектора и от его выхода после преобразования на цифровой индикатор. Цифровой индикатор показывает уровни звука или уровни звукового давления в дБ.

Так как шумомер должен быть прецизионным (высокоточным) измерительным прибором, то в его конструкции предусмотрена возможность повторной калибровки и проверки его параметров с целью обеспечения высокой точности и надежности результатов измерения.

При измерении звука с изменяющимся уровнем нужно, чтобы цифровой индикатор шумомера точно соответствовало этим изменениям. По этой причине международными рекомендациями и стандартами установлены две основные динамические характеристики шумомеров: «быстро» и «медленно». Однако слишком быстрые изменения уровня измеряемого звука могут быть причиной быстрых флуктуаций (колебаний),



т.е. случайных отклонений наблюдаемых физических величин от их средних значений. Поэтому при измерении предпочтительно установит шумомер в режим «медленно» и определить среднее значение цифрового индикатора.

Возможно измерение шумомером кратковременных и импульсных звуков. Измерения соответствия уровней шума в разных местах нахождения людей на судне проводятся согласно требованиям ГОСТ [3, 4], действующим санитарным нормам [5, 6] и резолюции Международной морской организации (ИМО) [7].

Для измерения уровней шума в соответствующих помещениях судна используется профессиональный прибор, соответствующий 1-му классу точности, отвечающий всем требованиям последних нормативных документов в области измерения и анализа параметров шума – «АССИСТЕНТ», серии 2013.

Прибор выполнен в виде малогабаритного устройства с автономным питанием. На верхней торцевой стенке корпуса блока измерительного прибора располагается разъем для подключения пульта управления с микрофоном при работе в качестве шумомера анализатора спектра. Пульт управления соединяется с блоком измерительного прибора кабелем соединительным предусилителя. Внешний вид измерительного прибора с микрофонной стойкой представлен на рис. 3.



Рисунок 3 – Внешний вид измерительного прибора с микрофонной стойкой

Прибор внесен в Реестр средств измерений Украины. Прибор позволяет проводить все виды измерений, предусмотренные проектами готовящихся нормативных документов. Прибор оснащен цветным OLED дисплеем высокого разрешения, обеспечивающий комфортное представление результатов от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ , имеет полный набор программ, flash – диск и кабель для работы с ПК. При входе в выбранный пункт начинается одновременное измерение всех параметров – все частотные коррекции, все временные характеристики (текущие, эквивалентные, пиковые, максимальные и минимальные уровни), октавный и третьоктавный спектры, статистические параметры.

Методика проведения измерений уровней шума должна соответствовать Кодексу по уровням шума на судах [6], согласно которому во время проведения измерений в соответствующем помещении должны находиться только моряки, требуемые для обеспечения работы судна, и лица, проводящие измерения. Замеры уровней звукового давления производятся в децибелах с использованием взвешивающего по характеристике



А фильтра (дБА) и, если необходимо, также в октавных полосах частот в диапазоне 31,5–8 кГц для определения индекса предельного значения ISO шума (NR).

В машинных помещениях (отделениях) измерения проводятся в районе основных рабочих мест, в которых находятся моряки, особое внимание уделяется местам установки телефонов и местам, в которых важное значение имеет ведение переговоров и прослушивание звуковых сигналов. Замеры шума должны производиться, как правило, на расстоянии 1 м от работающих механизмов. Измерения должны производиться как минимум через каждые 3 м вокруг таких источников шума, как: – главные турбины и двигатели на каждом ярусе; – главный редуктор; – турбонагнетатели; – сепараторы; – электрические генераторы; – площадка перед фронтом котла; – дутьевые и/или вытяжные котельные вентиляторы; – компрессоры; – грузовые насосы (включая приводящие их в действие двигатели или турбины).

Шумомер следует держать на расстоянии вытянутой руки или, предпочтительнее, закрепить его на треножнике или другой прочной опоре, не нарушающей звуковое поле. Во всяком случае, рекомендуется применение гибкого удлинительного стержня. Еще более совершенным с точки зрения уменьшения ошибок из-за присутствия оператора является крепление микрофона на расстоянии от шумомера и их взаимное соединение соответствующим микрофонным удлинительным кабелем.

Сотрудники и курсанты учебно-научной лаборатории при кафедре управления судном и безопасность жизнедеятельности на море Херсонской государственной морской академии участвуют в проведении контроля шума на судах находящиеся в эксплуатации в порту или в море с моряками на борту, во время стоянки.

**Результаты измерений.** Приведем результаты измерения шума шумомером «Ассистент», в режиме акустика на временной характеристике «медленно» в машинном отделении пассажирского судна «Генерал Ватутин» рис. 4, находящегося на стоянке в порту г. Херсона, при включенном дизель-генераторе.

Условия, существовавшие во время проведения измерений, представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Условия проведения измерений

<i>Осадка носом</i>	2,9 м
<i>Осадка кормой</i>	2,9 м
<i>Глубина под килем</i>	1,4 м
<b><i>Погодные условия</i></b>	
<i>Сила ветра</i>	10 м/с (северо-восток)
<i>Количество работающих вспомогательных дизелей</i>	1



Рисунок 4 – Пассажирское судно «Генерал Ватутин»



Результаты измерений приведены в табл. 2. В этой же табл. 2 для сравнения полученных результатов уровней звуковых давлений приведены требуемые нормы указанные в СанПиН 2.5.2.047-96 и ГОСТ 12.1.003-83 в тех же октавных полосах частот.

Таблица 2 – Уровни звукового давления в машинном отделении

Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах частот, Гц									Уровни звука, дБА		
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Leq	Ls max	Li max
88,5	90,8	89,5	101,6	102,6	100,3	101,7	97,5	92,2	106,9	107,4	110,6
СанПиН 2.5.2.047-96											
115	115	111	106	103	100	98	96	94	105		
ГОСТ 12.1.003-83											
107	95	87	82	78	75	73	71	69	80		

Максимальное и минимальное значение уровня звукового давления в номинальных среднегеометрических полосах от 31,5 Гц до 8 кГц представлены на рис. 5.

Параметр	Значение, дБ	Min, дБ	Max, дБ
31.5 Hz	88,1	86,5	90,1
63 Hz	91,1	89,9	91,7
125 Hz	89,5	89,0	90,0
250 Hz	101,7	101,3	102,1
500 Hz	102,7	102,2	103,0
1000 Hz	100,3	100,0	100,6
2000 Hz	101,2	101,0	102,8
4000 Hz	97,5	97,0	98,1
8000 Hz	92,3	91,8	92,7

Рисунок 5 – Значения давления в номинальных среднегеометрических полосах от 31,5 Гц до 8 кГц

По значениям давления в номинальных среднегеометрических полосах от 31,5 Гц до 80 кГц построена гистограмма, которая представлена на рис. 6.

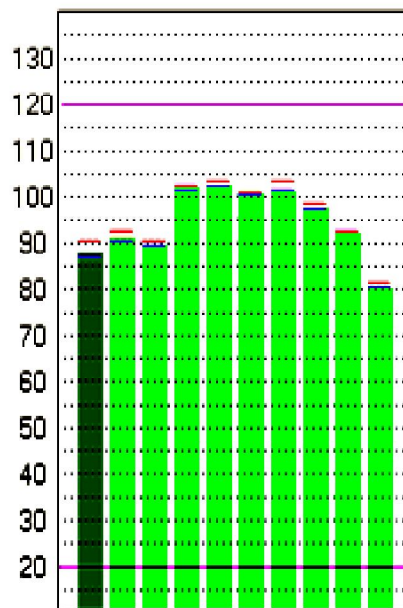


Рисунок 6– Значения давления в номинальных среднегеометрических полосах от 31,5 Гц до 80 кГц

В результате анализа уровней шума установлено, что характер шума, создаваемый дизель-генератором, постоянный, с максимумом излучения в октавной полосе 500 Гц составляет 102,7 дБ.



Кроме измерений звукового давления были проведены замеры уровня шума с частотной характеристикой А и разными временными характеристиками: эквивалентный уровень звука  $L_{at}$ , уровень звука с временной характеристикой «медленно»  $L_{as}$ , уровень звука с временной характеристикой «быстро»  $L_{af}$ , «импульс»  $L_{ai}$  значения которых представлены на рис. 7 и 8. На основании рис. 7 построена гистограмма замеров (рис. 8).

Параметр	Значение, дБ	Min, дБ	Max, дБ
$L_{Aeq}$	106,9	106,3	107,0
$L_{As}$	106,7	106,5	107,4
$L_{Af}$	106,5	105,8	108,5
$L_{Ai}$	107,0	106,6	110,6
$L_{Ar}$	106,9		
$L_{EX}$	124,7		

Рисунок 7 – Замеры уровня шума с разными временными характеристиками

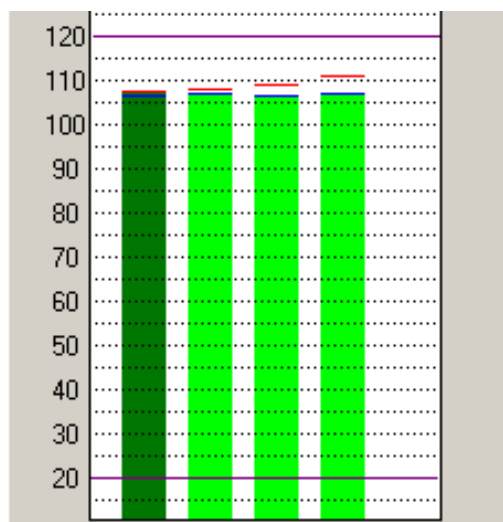


Рисунок 8 – Гистограмма замеров

На гистограмме – графически представлены уровни область значений измеряемых величин звукового давления с частотной характеристикой А и разными временными характеристиками, при Max, дБ. Выделенное на гистограмме специальным цветом область значения, это измеряемая величина эквивалентного уровня звука  $L_{at}$ .

**Выводы и перспективы использования.** В заключении отметим, что проведенные измерения шума в машинном отделении на пассажирском судне «Генерал Ватутин» находящегося на стоянке в порту, при включенном дизель-генераторе показали, что уровни звукового давления, создающиеся дизель-генератором в машинном отделении, превышают требования ГОСТ в октавных полосах от 125 Гц до 8 кГц. Санитарные нормы [5] менее жесткие и превышение норм шума наблюдаются, начиная с октавной полосы 1 кГц до 4 кГц.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брюль и Кьер. Измерение звука. М. : Брюль и Кьер, 2001. – 33 с.
2. Орлов Г. Г. Охрана труда в строительстве : учеб. для строит. специальностей вузов / Г. Г. Орлов. – М. : Высш. шк., 1984. – 343 с.





3. Шум. Метод контроля на морских и речных судах : ГОСТ 12.1.020-79. – [Действующий с 01.09.1988]. – СССР, 1979/2010. – 8 с.
4. Шум. Общие требования безопасности : ГОСТ 12.1.003-83. – [Действующий с 01.07.1984]. – СССР, 1983. – 10 с.
5. Уровни шума на морских судах : СН 2.5.2.047-96 – [Действующий с 21.02.1996]. – М., 1996. – 10 с.
6. Санитарные нормы шума на морских судах : СанПиН 2498-81 (ДНАОП 003-3.10-81), 1981.
7. Кодекс по уровням шума на судах : Резолюция А.486(XII) ИМО, 1981. – 33 с.

**Гусев В.М. ФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШУМУ, КОНТРОЛЬ ШУМУ В РОБОЧИХ ЗОНАХ НА СУДАХ**

*У роботі показана фізична сторона шуму (звуку), яка характеризується тиском, інтенсивністю звуку, частотою й іншими параметрами. Проведені в режимі акустики на часовій характеристиці «повільно» виміри шуму в машинному відділенні пасажирського судна «Генерал Ватутін», що перебував на стоянці в порту м. Херсона при включеному дизель-генераторі.*

*Ключові слова: шум, звук, інтенсивність звуку, тиск, рівень шуму (звуку), частотна характеристика, гістограма.*

**Gusev V. N. PHYSICAL CHARACTERISTICS OF NOISE, THE NOISE CONTROL IN WORKING ZONES ON SHIPS**

*In work the physical party of noise (sound) which is characterized by pressure, is shown by intensity of a sound, frequency and other parameters are showed. Noise gauging in an engine room of passenger ship «General Vatutin» being on parking in port of Kherson are spent in a mode acoustics on the time characteristic «slowly» at the included diesel engine-generator.*

*Keywords: noise, a sound, intensity of a sound, pressure, noise level (sound), the frequency characteristic, the histogram.*

Статтю прийнято  
до редакції 22.11.2013