

УДК: 534.6.08
OECD: 1.03. AA

Оценка эффективности кабины для снижения шума на рабочих местах

Тюрина Н.В.¹, Воронова А.А.^{2*}, Фиев К.П.³
¹ Д.т.н., профессор ² Магистрант ³ Ст. преподаватель
^{1,2,3} Кафедра «Экология и производственная безопасность», Балтийский
государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова,
г. Санкт-Петербург, РФ

Аннотация

В статье представлены результаты экспериментальных исследований уровней звука на рабочих местах операторов бумагоделательных машин (БДМ) целлюлозно-бумажного комбината (ЦБК), проанализированы октавные и треть-октавные спектры шума. По результатам анализа третьоктавных спектров шума на рабочих местах операторов сделан вывод о тональном характере шума. Превышение фактических уровней шума на рабочих местах над нормативными составило от 3 дБ до 26 дБ в диапазоне частот от 125 Гц до 8000 Гц. Разработаны рекомендации по снижению шума на рабочих местах в цехах ЦБК. В качестве наиболее эффективного средства защиты от шума предусмотрено устройство звукоизолирующей кабины. Разработаны требования к конструкции кабины, выполнены измерения уровней шума на рабочих местах операторов пультов БДМ после установки кабины. Представлены данные об эффективности звукоизолирующей кабины и звукоизоляции элементов ее конструкции. Эффективность кабины составила 3-41 дБ в диапазоне частот 63-8000 Гц. Применение звукоизолирующей кабины позволило снизить шум на рабочих местах до нормативных значений.

Ключевые слова: шум, звук, уровень звукового давления, бумагоделательные машины, рабочие места, звукоизолирующая кабина, шумозащитное мероприятие, эффективность.

Evaluation of cabin insertion loss for noise reduction in workplaces

Tyurina N.V.¹, Voronova A.A.^{2*}, Fiev K.P.³
¹ DSc, Professor ² Graduate Student ³ Senior Lecturer
^{1,2,3} Department of Ecology and Industrial Safety, Baltic State Technical University 'VOENMEH',
St. Petersburg, Russia

Abstract

Results of experimental study of sound levels at workplaces of operators of papermaking machines of the pulp and paper mill are presented. The octave and third-octave noise spectra of papermaking machines are analyzed. Based on the analysis of the acoustical effects of noise in the workshops noise control recommendations have been developed. Tonal noise is determined based on the one-third octave band analysis of the papermaking machines noise spectrum. Excessive noise levels from 3 dB to 26 dB in the frequency range from 125 Hz to 8000 Hz are found in the workplace. Soundproofed cabin is found as the most effective means of noise protection at the workplaces of operators of papermaking machines. The requirements for the cabin parameters and design have been developed. Noise levels have been measured after installation of the cabin in the papermaking workplace. Sound isolation of cabin structural elements is presented. Insertion loss of the cabin is found in the

*E-mail: vaat27@mail.ru (Воронова А.А.)

range of 3-41 dB in the frequency range 63-8000 Hz. Application of the sound-proofed cabin made it possible to reduce noise in the workplace to the normative limits.

Keywords: noise, sound, sound pressure level, paper-making machines, workplaces, soundproofing cabin, noise control measure, insertion loss, effectiveness.

Введение

Повышенный производственный шум оказывает вредное воздействие на работников, приводя к производственным заболеваниям, ухудшению качества выполняемых задач, замедлению скорости обработки информации и снижению производительности труда [1-3].

Для эффективного контроля производственного шума важно учитывать влияние прямого и отраженного звука, для чего требуется проведение натурных замеров и выявление зон данного влияния. В производственных помещениях наиболее эффективно реализовывать комплекс шумозащитных мероприятий, включающих применение звукопоглощающих материалов для облицовки производственных помещений и снижения отраженного звука, использование акустических экранов и выгородок, применение глушителей, кожухов. Если технологическим процессом предусмотрено дистанционное управление оборудованием эффективным является применение звукоизоляционных кабин.

Если технологическим процессом предусмотрено дистанционное управление оборудованием рекомендуется применение звукоизолирующих кабин, защищающих от воздействия как прямого воздействия источников шума, так и отраженного звука. При проектировании кабин необходимо обеспечивать их высокую звукоизолирующую способность, достаточное звукопоглощение, герметизировать технологические отверстия, применять вибродемпфирование и виброизоляцию [4].

1. Уровни шума на рабочих местах операторов бумагоделательных машин

Для анализа акустического воздействия на сотрудников и разработки шумозащитных мероприятий проведены натурные измерения уровней звука (УЗ) и уровней звукового давления (УЗД) в третьоктавных и октавных полосах частот в производственном помещении на рабочих местах операторов, обслуживающих пульта управления бумагоделательных машин (БДМ) целлюлозно-бумажного комбината (ЦБК).

Измерения в цеху выполнены в пяти точках в непосредственной близости от основных источников шума. На основании анализа полученных экспериментальных данных установлено, что шум является постоянным по временной характеристике и тональным по частотной характеристике. Для выявления тональных составляющих в спектре шума бумагоделательных машин выполнен узкополосный анализ.

Характерные спектры шума бумагоделательных машин представлены на рисунке 1.

По результатам анализа третьоктавных спектров шума на рабочих местах операторов сделан вывод о тональном характере шума.

Результаты измерения шума на рабочих местах в октавных полосах частот приведены в Таблице 1.

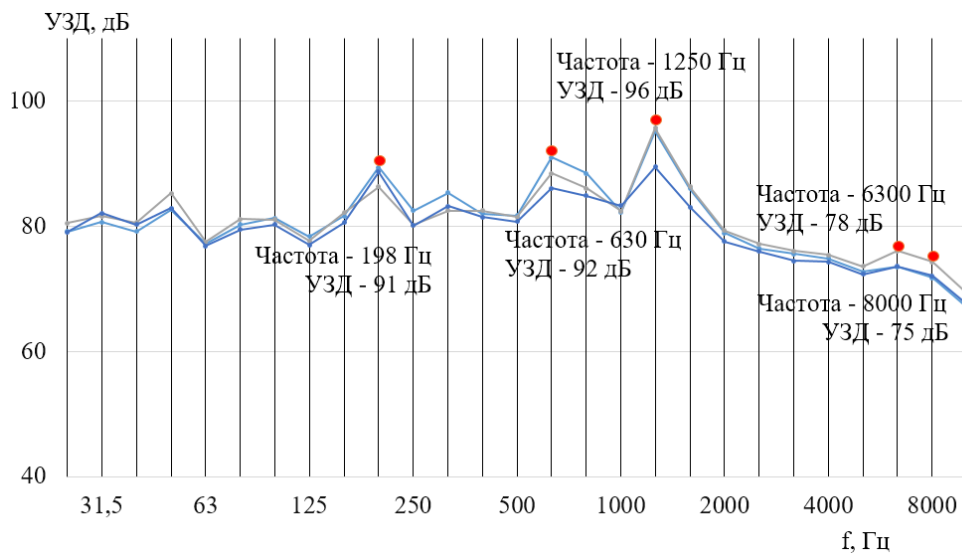


Рис. 1. Треть-октавные спектры шума на рабочих местах операторов бумагоделательных машин

Таблица 1

Измеренные уровни звукового давления и уровни звука на рабочих местах операторов бумагоделательных машин

№ ТИ	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах, Гц									УЗ, дБА	Расстояние до источника шума, м	Примечание
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
1	85	85	85	91	92	96	87	79	76	98	2,8 м до БДМ №2	Рабочее место оператора БДМ №2
2	86	87	85	89	90	96	88	80	79	98	2,6 м до БДМ №2	
3	85	85	84	90	88	92	85	79	77	94	4,4 м до БДМ №2	
4	84	85	86	94	89	93	85	83	79	95	3,0 м до БДМ №1	Рабочее место оператора БДМ №1
5	84	85	85	96	89	91	83	80	76	94	5,0 м до БДМ №1	

Выполним сравнение фактических уровней шума с предельно допустимыми на рабочих местах, при этом учтем, что согласно [4] нормативным эквивалентным уровнем звука является 80 дБА, нормативным максимальным уровнем звука – 110 дБА, а согласно [5] нормирование шума на постоянных рабочих местах включает в себя допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот. Кроме того, примем поправку минус 5 дБ на тональный характер шума. Результаты сравнения фактических уровней шума на рабочих местах с допустимыми уровнями представлены в таблице 2 и на рисунках 2-3. Наибольшее превышение уровней звука зафиксировано для рабочего места оператора БДМ №2.

Сравнение результатов натуральных измерений уровней шума в измерительных точках, расположенных в рабочей зоне операторов, обслуживающих пульта управления бумагоделательных машин (БДМ) целлюлозно-бумажного комбината (ЦБК), с

нормативными уровнями шума показывает, что в производственном помещении во всех точках измерения уровни шума выше предельно допустимых значений, при этом превышения составляют от 3 дБ до 26 дБ в диапазоне частот от 125 Гц до 8000 Гц, а также до 23 дБ по скорректированному по А уровню звука. Превышения УЗД на частотах 31,5 и 63 Гц не зафиксированы.

Таблица 2

Сравнение уровней шума на рабочих местах с нормативными требованиями

Наименование	Уровни звукового давления*, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука, дБА*	Макс. УЗ, дБА*
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
Оператор БДМ №1											
Наибольшие измеренные значения на рабочих местах	84	85	86	96	89	93	85	83	79	95	97
Предельно допустимые уровни (нормативные значения**)	102	90	82	77	73	70	68	66	64	75	105
Превышение над ПДУ	-	-	4	19	16	23	17	17	15	20	-
Оператор БДМ №2											
Наибольшие измеренные значения на рабочих местах	86	87	85	91	92	96	88	80	79	98	99
Предельно допустимые уровни (нормативные значения**)	102	90	82	77	73	70	68	66	64	75	105
Превышение над ПДУ	-	-	3	14	19	26	20	14	15	23	-

*допустимые уровни в дБА приняты согласно [5], допустимые уровни в дБ приняты согласно [6];

** допустимые уровни приняты с учетом поправки на тональный характер шума

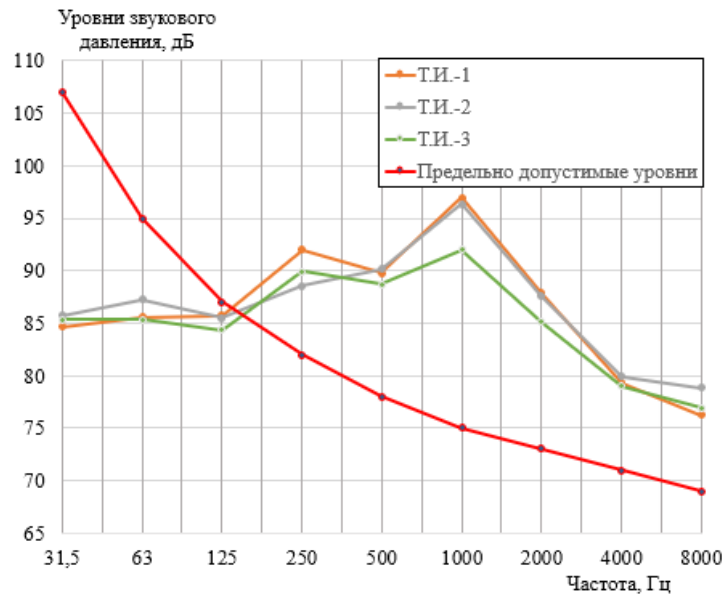


Рис. 2. Уровни звукового давления на рабочем месте оператора БДМ №1

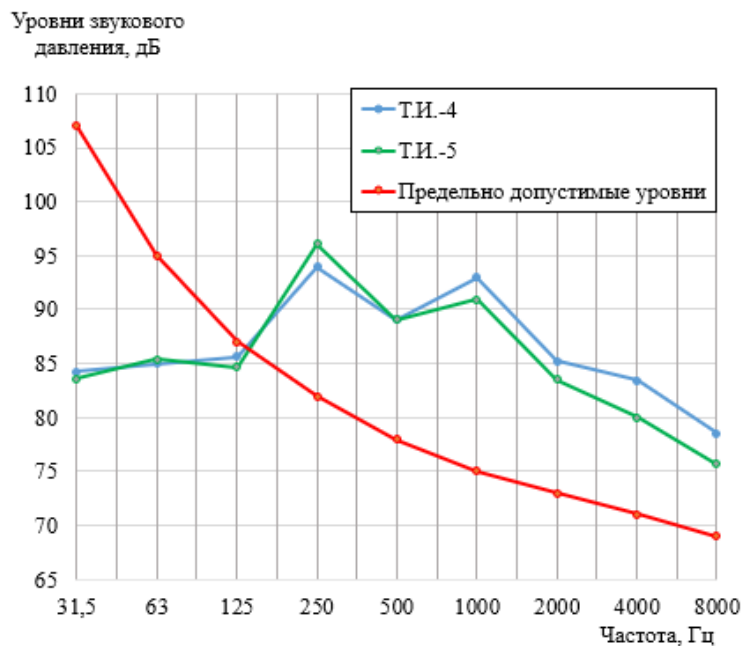


Рис. 3. Уровни звукового давления на рабочем месте оператора БДМ №2

2. Шумозащитные мероприятия

Наиболее эффективным способом борьбы с шумом является снижение шума непосредственно в источнике, если это невозможно, реализуется защита от шума на пути распространения между источником и приемником шума или шумозащитные мероприятия на рабочем месте (в приемнике шума).

Учитывая, что работа операторов проводится с пультов управления, для снижения уровней шума на рабочих местах операторов БДМ №1 и БДМ №2 бумагоделательного цеха рекомендованы звукоизоляционные кабины.

Применение звукоизоляционных кабин обеспечивает не только защиту операторов от вредного воздействия шума машин, станков, производственных линий и другого

инженерно-технологического оборудования производственного помещения, но и защищает от таких вредных и опасных производственных факторов как запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; повышенная влажность; высокая или низкая температура в цехе; общая вибрация; движущиеся машины и механизмы; подъемно-транспортные устройства и перемещаемые грузы. Возможность размещения внутри кабины пультов управления и щитов наблюдения, а также наличие смотровых окон позволяют производить в условиях обеспечения нормативных уровней шума дистанционное управление и наблюдение за технологическим процессом, находясь на своём стационарном рабочем месте, а также обеспечивает конфиденциальность и комфорт.

Требуемое значение эффективности кабины, дБ, определяют следующим образом [7]:

$$L_{\text{тр.каб}} = L_{\text{ш}} - L_{\text{доп}}, \quad \text{дБ (дБА)}, \quad (1)$$

где: $L_{\text{ш}}$ – уровни звукового давления в октавных полосах частот (уровни звука), создаваемые всеми источниками шума на рабочем месте, дБ (дБА);

$L_{\text{доп}}$ – допустимые уровни звукового давления (уровни звука) на данном рабочем месте, дБ (дБА).

Согласно результатам измерений, на рабочих местах операторов бумагоделательных машин рассматриваемого целлюлозно-бумажного комбината, наибольшее превышение уровней звука над предельно допустимыми уровнями составляет 23 дБА. Требуемое снижение уровня шума составляет 3-26 дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 125-8000 Гц. Выбор параметров кабины производится для обеспечения данных целевых показателей.

В таблице 3 представлен расчет требуемой эффективности кабины на рабочем месте операторов бумагоделательных машин (БДМ) и определение класса кабины в соответствии с [8].

Таблица 3

Требуемые эффективность и звукоизоляция кабин операторов пультов управления БДМ

Рабочее место/параметр	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Оператор бумагоделательной машины №1	85	86	96	89	93	85	83	79
Предельно допустимые уровни	90	82	77	73	70	68	66	64
Требуемая эффективность кабины	-	4	19	16	23	17	17	15
Оператор бумагоделательной машины №2	87	85	91	92	96	88	80	79
Предельно допустимые уровни	90	82	77	73	70	68	66	64
Требуемая эффективность кабины	-	3	14	19	26	20	14	15

Рабочее место/параметр	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Изоляция воздушного шума кабиной 4 класса (ГОСТ 12.2.098-84)	0-4	0-9	5-14	10-19	15-24	20-29	20-29	15-24
Изоляция воздушного шума кабиной 3 класса (ГОСТ 12.2.098-84)	5-14	10-19	15-25	20-29	25-34	30-39	30-39	25-34
Изоляция воздушного шума кабиной 2 класса (ГОСТ 12.2.098-84)	15-24	20-29	25-34	30-39	35-44	40-49	40-49	35-44

Для защиты от шума в соответствии с нормативными требованиями [8] необходимо спроектировать и оснастить рабочие места операторов изолирующими кабинами 2 класса.

3. Требования к конструкции звукоизолирующей кабины

В соответствие с требованиями нормативных документов и полученными экспериментальными данными, к конструкциям звукоизолирующих кабин выдвигаются следующие требования:

1. Уровень шума в кабине должен соответствовать ПДУ.

2. Высота кабины должна быть не менее 2,5 м. Размеры и форма кабины должны быть определены с учетом габаритных размеров устанавливаемого в ней оборудования и в соответствии с требованиями ГОСТ 12.2.049-80 «Оборудование производственное. Общие эргономические требования».

3. Размеры и расположение окон кабины должны быть выбраны с учетом возможности хорошего обзора оборудования и управления технологическим процессом на соответствующем производственном участке. Необходимо предусмотреть возможность безопасной периодической очистки стекол кабины. Смотровые окна выполняют двойными, стены изготавливают из сборных панелей или кирпича без проемов и отверстий, двери делают массивными, из нескольких слоев материалов с поверхностной массой, равной массе стены. Двери уплотняют по периметру резиновыми прокладками. Стены и потолок кабины изнутри облицовывают звукопоглощающим материалом (ЗПМ).

4. Для вентиляции и поддержания оптимальной температуры внутри кабины она должна быть оборудована системой кондиционирования или соединена с общецеховой системой отопления и вентиляции в соответствии со строительными нормами по отоплению, вентиляции и кондиционированию воздуха. Кондиционеры и вытяжные вентиляторы должны обеспечивать воздухообмен в кабине в соответствии с ГОСТ 12.4.021-75 «Системы вентиляционные. Общие требования».

5. Предельно допустимые уровни вибрации пола, на который устанавливается проектируемая кабина, не должны превышать нормативных значений согласно [4].

6. Внутренние поверхности кабины должны быть облицованы звукопоглощающими материалами или конструкциями. Для звукопоглощающей облицовки рекомендуется выбирать негорючие материалы с коэффициентами звукопоглощения от 0,5 до 0,9 в той области частот, где требуется обеспечение наибольшую изоляцию шума.

7. Освещение и цветовая отделка поверхностей - в соответствии нормативными требованиями.

8. Для быстрого обмена информацией между персоналом, непосредственно обслуживающим технологическое оборудование, и диспетчером кабины должны быть оборудованы переговорными устройствами. В кабине должна быть обеспечена возможность оборудования рабочих мест по ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» и ГОСТ 12.2.033-78 «Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования».

9. Места вводов кабелей и трубопроводов через стены кабины должны быть звуко- и виброизолированы. Число отдельных отверстий в стенах и перекрытиях кабины должно быть уменьшено до минимума за счет устройства коллекторов. Заделка их в стены и перекрытия должна осуществляться одновременно с установкой кабины.

10. Кабины из сборных элементов должны иметь минимальное число швов и стыков. Все швы и стыки между элементами ограждения должны быть герметизированы. Герметизация должна обеспечивать установленное значение изоляции шума на весь срок службы кабины.

11. Двери кабины должны иметь уплотняющие прокладки по контуру примыкания к ограждающим конструкциям и иметь самозапирающиеся затворы. Они должны открываться и закрываться свободно, без перекосов и неплотностей.

12. Кабина должна удовлетворять требованиям пожарной безопасности.

13. При условии установки во внутренний объем кабины устройства кондиционирования воздуха, необходимо учесть вклад данного устройства, как источника шума в общую акустическую картину кабины.

14. Для минимизации времени обслуживания БДМ вне кабины рекомендуется оборудовать кабину автоматизированной системой управления рабочим процессом, а также камерами наблюдения с выводом изображения в кабину оператора.

4. Характеристики звукоизолирующей кабины для защиты от шума операторов бумагоделательного цеха

Для снижения шума бумагоделательного цеха предусмотрена звукоизолирующая кабина следующей конструкции: панели стен представляют собой профилированные стальные листы С20 толщиной 0,7 мм, изготовленные из стали 08ПС, с плитой минераловатной теплоизоляционной на синтетическом связующем (45 мм толщина плиты, плотность – 60 кг/м³), установленной между профилированными листами, и мембраной парогидроизоляции, установленной на минераловатную плиту со стороны перфорированного листа.

Монолитный поликарбонат, применяемый в конструкции для обеспечения наблюдения оператором за технологическим процессом, обладает 90%-ным светопропусканием, вдвое легче стекла и по качеству звукоизоляции не уступает шумозащитным панелям.

Кабина оборудована одноблочным мобильным кондиционером и четырьмя светильниками для обеспечения требуемого воздухообмена и освещения.

Звукоизоляция кабины (ЗИ), определенная по результатам натурных замеров, представлена на рисунке 4. Уровни шума на рабочих местах БДМ после установки кабины представлены в таблице 4. Как следует из результатов замеров, после установки кабины в бумагоделательном цехе ликвидировано повышенное действие шума на работников.

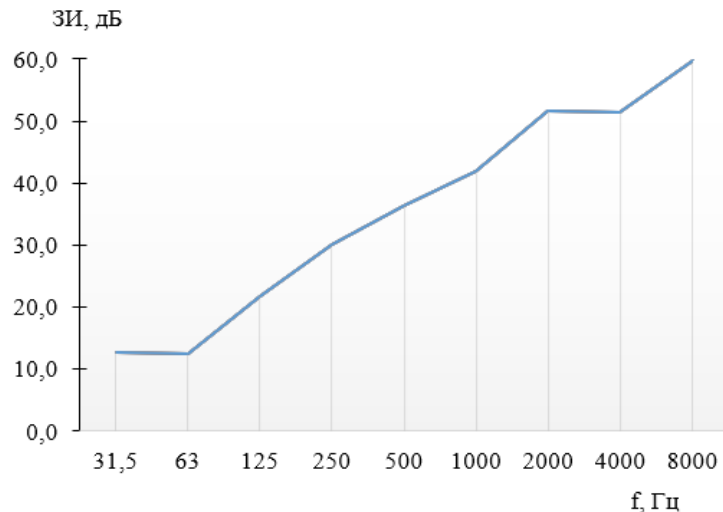


Рис. 4. Звукоизоляция кабины, предусмотренной для снижения шума на рабочем месте оператора БДМ

Таблица 4

Уровни шума на рабочих местах в кабинах, установленных в цехе

Рабочее место/параметр	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Уровни звукового давления на рабочем месте оператора БДМ1 до установки кабины	85	86	96	89	93	85	83	79
Предельно допустимые уровни	95	87	82	78	75	73	71	69
Уровни звукового давления на рабочем месте оператора БДМ1 после установки кабины	84	78	82	70	62	47	50	38
Уровни звукового давления на рабочем месте оператора БДМ2 до установки кабины	87	85	91	92	96	88	80	79
Предельно допустимые уровни	95	87	82	78	75	73	71	69
Уровни звукового давления на рабочем месте оператора БДМ2 после установки кабины	84	77	80	73	65	50	47	38

Заключение

Согласно результатам натурных замеров до применения шумозащитных мероприятий превышение уровней шума на рабочих местах операторов бумагоделательных машин над допустимыми уровнями составило 3-26 дБ в диапазоне частот от 125 Гц до 8000 Гц, до 23 дБ по скорректированному по А уровню звука. Предложена конструкция звукоизолирующей кабины для защиты рабочих мест от шума. Акустическая эффективность кабины составила 3-41 дБ в диапазоне частот 63-8000 Гц. Натурные замеры шума после установки кабины показали, что ее конструкция обладает достаточными звукоизолирующими качествами для обеспечения нормативных уровней шума на рабочем месте операторов бумагоделательной машины.

Список литературы

1. Тюрина Н.В. Проблема воздействия повышенного шума на рабочих местах в Российской Федерации и зарубежом / Тюрина Н.В., Тищенко А.С., Куклин Д.А. //Сборник докладов VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Защита от повышенного шума и вибрации», Санкт-Петербург, Россия, 2017, с.447-450.
2. Тюрина Н.В. Experience of estimation and reduction of noise and vibration of industrial enterprises of Russia// Тюрина Н.В., Васильев А.В., Санников В.А. Akustika, 2019, т. 32, с. 247-250.
3. Panshina V. Hearing protection of workers from occupational noise / Panshina V., Petrova N. // Proceedings of 22nd International Congress on Sound and Vibration, Florence. – Italy. – 2015.
4. Иванов Н.И., Шашурин А.Е. Учебное пособие «Защита от шума и вибрации», издание второе - дополненное и переработанное / – СПб.: Печатный Цех, 2019. - 284с.
5. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: СанПиН 1.2.3685-21: утв. главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 28.01.2021 – Москва: Минюст России, 2021. – 949 с.
6. СП 51.13330.2011 «Защита от шума». Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003»
7. СП 254.1325800.2016 Здания и территории. Правила проектирования защиты от производственного шума.
8. ГОСТ 12.2.098-84 Кабины звукоизолирующие. Общие требования.

References

1. Tyurina N.V. The problem of exposure to increased noise in workplaces in the Russian Federation and abroad / Tyurina N.V., Tishchenko A.S., Kuklin D.A. //Collection of reports of the VI All-Russian scientific and practical conference with international participation “Protection from increased noise and vibration”, St. Petersburg, Russia, 2017, pp. 447-450.
2. Tyurina N.V. Experience of estimation and reduction of noise and vibration of industrial enterprises of Russia // Tyurina N.V., Vasiliev A.V., Sannikov V.A. Akustika, 2019, vol. 32, pp. 247-250.
3. Panshina V. Hearing protection of workers from occupational noise / Panshina V., Petrova N. // Proceedings of 22nd International Congress on Sound and Vibration, Florence. – Italy. – 2015.
4. Ivanov N.I., Shashurin A.E. Textbook 'Protection from noise and vibration', second edition - expanded and revised / – St. Petersburg: Printing Shop. – 2019. – 284 p.
5. Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors to humans: SanPiN 1.2.3685-21: approved. Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation 01/28/2021 – Moscow: Ministry of Justice of Russia, 2021. – 949 p.
6. SP 51.13330.2011 Protection from noise. Updated edition of SNiP 23-03-2003
7. SP 254.1325800.2016 Buildings and territories. Rules for designing protection against industrial noise
8. GOST 12.2.098-84 Soundproof cabins. General requirements