

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет**

Кафедра безопасности производств

**ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ САНИТАРИЯ
И ГИГИЕНА ТРУДА
АКУСТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ**

*Методические указания к самостоятельным работам
для студентов специальности 21.05.04*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2021**

УДК 331.451 (073)

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ САНИТАРИЯ И ГИГИЕНА ТРУДА. Акустический расчет: Методические указания к самостоятельным работам / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *В.В. Смирнякова, В.В. Смирняков*. СПб, 2021. 37 с.

Приведена методика выполнения акустического расчета, рассмотрены методы борьбы со сверхнормативным шумом, приведены индивидуальные варианты расчетного задания, а также требования по выполнению и оформлению расчетно-графической работы.

Методические указания предназначены для студентов специальности 21.05.04 "Горное дело" (Специализация: "Технологическая безопасность и горноспасательное дело").

Научный редактор проф. *М.Л. Рудаков*.

Рецензент к.т.н. *Т.А. Проломова*, руководитель группы открытых горных работ, горный отдел Акционерного общества "Научно-исследовательский, проектный и конструкторский институт горного дела и металлургии цветных металлов" (АО "Гипроцветмет").

ВВЕДЕНИЕ

Многочисленными исследованиями доказано, что шум снижает производительность труда на промышленных предприятиях на 30%, повышает опасность травматизма, приводит к развитию заболеваний. В структуре профессиональных заболеваний в РФ примерно 17% приходится на заболевания органа слуха [2, 4, 5, 9].

Борьба с шумом на промышленных предприятиях является одной из важнейших проблем современности.

Будущим инженерам для успешного решения вопросов снижения шума машин и механизмов, ограничения его вредного воздействия на обслуживающий персонал необходимо знать и целесообразно применять основные методы и средства снижения шума.

В методических указаниях предусмотрено выполнение акустического расчета, установление соответствия фактических параметров условий труда по фактору «Шум» нормативным и выбор общих мероприятий по снижению параметров шума на рабочих местах при эксплуатации машин и оборудования горного производства.

1. Методика выполнения акустического расчета [1]

Акустический расчет выполняется во всех расчетных точках для восьми октавных полос со среднегеометрическими частотами от 63 до 8000 Гц с точностью до десятых долей дБ. Окончательный результат округляют до целых значений.

Исходными данными для акустического расчета являются:

- геометрические размеры помещения;
- спектр шума источника (или источников) излучения;
- характеристика помещения;
- характеристика преграды;
- расстояние от центра источника (источников) до рабочей точки.

Необходимость проведения мероприятий по снижению шума определяется:

на действующих предприятиях на основании измерений уровней звукового давления на рабочих местах с последующим сравнением этих уровней с допустимыми по нормам $L_{рдоп}$,

на проектируемых предприятиях – на основании проведенного акустического расчета.

Акустический расчет включает:

- выявление источников шума и определение их шумовых характеристик;
- выбор расчетных точек и определение допустимых уровней звукового давления $L_{доп}$ для этих точек;
- расчет ожидаемых уровней звукового давления L_p в расчетных точках;
- расчет необходимого снижения шума в расчетных точках;
- разработка строительно-акустических мероприятий для обеспечения требуемого снижения шума или по защите от шума (с расчетом).

Выбор расчетных точек. Расчетные точки при акустических расчетах следует выбирать внутри помещений зданий и сооружений, а также на территории на рабочих местах или в зоне постоянного пребывания людей на высоте 1,2 – 1,5 м от уровня пола рабочей площадки или планировочной отметки территории.

При этом внутри помещения, в котором один источник шума или несколько источников шума с одинаковыми октавными уровнями звукового давления, следует выбирать не менее двух расчетных точек: одну на рабочем месте, расположенном в зоне отраженного звука, а другую – на рабочем месте в зоне прямого звука, создаваемого источниками шума.

Если в помещении несколько источников шума, отличающихся друг от друга по октавным уровням звукового давления на рабочих местах более чем на 10 дБ, то в зоне прямого звука следует выбирать две расчетные точки: на рабочих местах у источников с наибольшими и наименьшими уровнями звукового давления L_p в дБ.

Расчет ожидаемых уровней звукового давления L_p в расчетных точках. В зависимости от того, где находится источник шума и расчетные точки (в свободном звуковом поле или в помещении), применяют различные методики расчета для помещений с одним

источником шума; с несколькими источниками шума; изолированном от источников шума.

1.1. Расчет ожидаемых октавных уровней звукового давления в помещении с одним источником шума

Ожидаемые октавные уровни звукового давления L_p в дБ в расчетных точках на рабочих местах помещения, в котором находится *один источник шума*, определяются:

а) в зоне прямого и отраженного звука по формуле:

$$L_p = L_w + 10 \lg \left(\left(\frac{\chi \Phi}{S} \right) + \frac{4\psi}{B} \right), \quad (1.1)$$

б) в зоне прямого звука по формуле:

$$L_p = L_w + 10 \lg \left(\frac{\chi \Phi}{S} \right) \quad (1.2)$$

в) в зоне отраженного звука по формуле:

$$L_p = L_w - 10 \lg B + 10 \lg \psi + 6 \quad (1.3)$$

где L_w – октавный уровень звуковой мощности источника шума в дБ;

Φ – фактор направленности;

χ – эмпирический коэффициент, учитывающий влияние ближнего акустического поля и принимаемый в зависимости от отношения расстояния между акустическим центром источника и расчетной точкой r (м) к максимальному габаритному размеру источника l_{\max} (м) по графику (рис. 1.1);

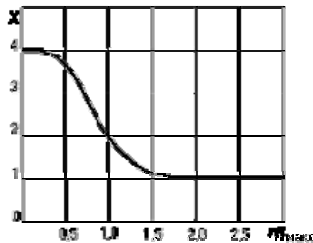


Рис. 1.1. Зависимость эмпирического коэффициента χ от отношения r/l_{\max}

Примечание: Акустический центр источника шума, расположенного на полу или стене, следует принимать совпадающим с проекцией геометрического центра источника шума на горизонтальную или вертикальную плоскость.

$S, \text{ м}^2$ – площадь воображаемой поверхности правильной геометрической формы, окружающей источник и проходящей через расчетную точку:

для источников шума, у которых $r > 2l_{\text{max}}$, следует принимать при расположении источников шума:

в пространстве $S=4\pi r$

на поверхности пола, стены, перекрытия $S=2\pi r^2$;

в двухгранном углу, образованном ограждающими поверхностями $S= \pi r^2$;

в трехгранном углу, образованном ограждающими поверхностями $S= \pi r / 2$;

$V, \text{ м}^3$ – постоянная помещения, которая находится из выражения

$$V = V_{1000}\mu \quad (1.4)$$

где μ - частотный множитель, определяемый по табл. 1.1; V_{1000} - постоянная помещения на среднегеометрической частоте 1000 Гц, которая рассчитывается в зависимости от объема V (м^3) и типа помещения как:

$V/20$ - для помещений без мебели с небольшим количеством людей (металлообрабатывающие цехи, машинные залы, испытательные стенды и т.д.)

$V/10$ - для помещений с жесткой мебелью или с небольшим количеством людей и мягкой мебелью (лаборатории, кабинеты и т.д.)

$V/6$ - для помещений с большим количеством людей и мягкой мебелью (рабочие помещения административных зданий, жилые комнаты и т.п.)

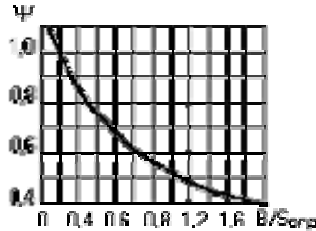
$V/1,5$ - для помещений с звукопоглощающей облицовкой потолка и части стен

Таблица 1.1

Частотный множитель μ

Объем помещения, м ³	Среднегеометрическая частота, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$V \ll 200$	0,8	0,75	0,7	0,8	1,0	1,4	1,8	2,5
$V = 200 \div 1000$	0,65	0,62	0,64	0,75	1,0	1,5	2,4	4,2
$V \gg 1000$	0,5	0,5	0,55	0,7	1,0	1,6	3,0	6,0

ψ - коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля в помещении, принимаемый в зависимости от отношения постоянной помещения V к площади ограждающих поверхностей $S_{огр}$, которая определяется с учетом суммы площадей пола, потолка и стен помещения по графику рис. 1.2.

Рис. 1.2. Коэффициент нарушения диффузности звукового поля ψ

1.2. Расчет ожидаемых октавных уровней звукового давления в помещении с несколькими источниками шума

Октавные уровни звукового давления L_p в дБ в расчетных точках помещений, в которых находится *несколько источников шума*, рассчитываются:

а) в зоне прямого и отраженного звука по формуле

$$L_p = 10 \cdot \lg \left(\left(\sum_{i=1}^m \frac{10^{0,1 \cdot L_{W_i}} \cdot \chi_i \cdot \Phi_i}{S_i} \right) + \frac{4\psi}{B} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_{W_i}} \right) \quad (1.5)$$

где L_{W_i} , Φ_i , χ , S_i , B , ψ – то же, что и в (1.1, 1.2, 1.3) для i -го источника шума; m – количество источников шума, ближайших к расчетной точке (т.е. источников шума, для которых $r_i \leq 5 r_{\min}$, где r_{\min} –

расстояние в м от расчетной точки до акустического центра ближайшего к ней источника шума); n – общее количество источников шума в помещении с учетом среднего коэффициента одновременности работы оборудования.

Если все источники шума имеют одинаковую звуковую мощность и $L_{w_i}=L_w$, то без учета фактора направленности и искажения диффузности акустического поля в помещении упрощенно можно считать

$$L_p = L_w + 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{2\pi r_i^2} \right) + \frac{4n}{B}$$

б) в зоне отраженного звука по формуле:

$$L_p = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{w_i}} - 10 \lg B + 10 \lg \psi + 6 \quad (1.6)$$

1.3. Расчет ожидаемых уровней звукового давления в помещении, изолированном от источника шума

Источники могут размещаться в смежном помещении, а шум проникать в изолируемое помещение через ограждающие конструкции. В этом случае ожидаемый уровень в расчетной точке определяется по формуле:

$$L_p = L_{w_{\Sigma}} - 10 \lg B_{ш} + 10 \lg S_{огр.к} - 10 \lg B_{и} - R_k + 10 \lg m + 6 \quad (1.7)$$

где $B_{ш}$ и $B_{и}$ – соответственно постоянные шумного и изолируемого помещений, R_k – звукоизоляция однотипных ограждающих конструкций, через которые шум проникает в изолируемое помещение, дБ; m – число однотипных ограждающих конструкций; $S_{огр.к}$ – общая площадь однотипных ограждающих изолируемое помещение конструкций, m^2 (например, общая площадь глухой части стены, суммарная площадь окон и т.д.).

Суммарный уровень звуковой мощности, излучаемой несколькими источниками, находящимися в шумном помещении, равен:

$$L_{w\Sigma} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{w_i}} \quad (1.8)$$

где $i = 1, 2, \dots, n$ – количество источников. При наличии одного источника в шумном помещении $L_{w\Sigma} = L_w$.

1.4. Расчет ожидаемых октавных уровней звукового давления при распространении звука в свободном пространстве

Октавные уровни звукового давления L_p в дБ в расчетных точках, если источник шума и расчетные точки расположены на территории жилой застройки или на площадке предприятия, следует определять по формуле:

$$L_p = L_w + 10 \lg \Phi - 10 \lg \Omega - 20 \lg r - \frac{\beta r}{1000} \quad (1.9)$$

где L_w – октавный уровень звуковой мощности источника шума, дБ; Φ – фактор направленности; r – расстояние от источника шума до расчетной точки, м; β – коэффициент поглощения звука в воздухе при 20°C и относительной влажности 60% в дБ/м (значения берутся из табл. 1.2; при $r < 50$ м поглощение в воздухе не учитывается); Ω – пространственный угол излучения звука. (Пространственный угол Ω для источника, находящегося в свободном пространстве равен 4π ; для источников расположенных на поверхности территории или ограждающих конструкций зданий $\Omega = 2\pi$; в двугранном угле, образованном названными поверхностями – $\Omega = \pi$; в трехгранном угле – $\Omega = \pi/2$.)

Таблица 1.2

Коэффициент поглощения звука в воздухе β

$f, \text{Гц}$	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\beta, \text{дБ/м}$	0,3	1,1	2,8	5,2	9,6	25	83

Расчет требуемого снижения уровней звукового давления. Уровни звукового давления в расчетных точках не должны превосходить уровней, допустимых по нормам во всех октавных полосах со средними геометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

Требуемое снижение уровней звукового давления определяется по формуле

$$\Delta L_{P_{i,pt}} = L_{P_i} - L_{P_{i,доп}}, \text{ дБ} \quad (1.10)$$

где $L_{P_{i,pt}}$ – уровень звукового давления в i -ой октавной полосе, определяемый в расчетных точках проектируемого предприятия; $L_{P_{i,доп}}$ – уровень звукового давления в той же полосе частот согласно допустимым нормам, определяемый в соответствии с ГОСТ 12.1.003-83 и СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [3, 8] (см. табл. Приложения).

Гигиеническими нормативами [7], используемыми для оценки уровней воздействия шума на рабочих местах, являются:

- эквивалентный уровень звука (L_{pAeqT} , дБА), уровень воздействующий на работающего за рабочую смену (измеренный или рассчитанный относительно 8 ч рабочей смены);

- максимальные уровни звука A , измеренные с временными коррекциями S и I ($L_{pA \max}$) - наибольшая величина уровня звука, измеренная на заданном интервале времени со стандартной временной коррекцией;

- пиковый скорректированный по C уровень звука ($L_{pC \text{ peak}}$), дБС - C - взвешенное наибольшее значение за время измерений.

Нормативным эквивалентным уровнем звука (L_{pAeqT} , дБ A), на рабочих местах, является 80 дБА. Максимальными уровнями звука A , измеренными с временными коррекциями S и I , являются 110 дБА и 125 дБА соответственно. Пиковым скорректированным по C уровнем звука ($L_{pC \text{ peak}}$), дБС является 137 дБС.

1.5. Расчет ожидаемых уровней звука. Определение класса условий труда при воздействии производственного шума

Расчет ожидаемых уровней звука с учетом поправки на коэффициент коррекции K_{Ai} (табл. 1.3) производится по формуле:

$$L = 10 \cdot \lg \sum_{i=1}^{\delta} 10^{0,1(L_{pi} - K_{Ai})}, \text{ дБА} \quad (1.11)$$

Таблица 1.3

Коэффициент коррекции K_{Ai}

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
K_{Ai}	+25	+16	+9	+3	0	-1	-1	+1

Определение класса условий труда при воздействии производственного шума [6]

Градация условий труда при воздействии на работающих производственного шума осуществляется по данным таблицы 1.4 в зависимости от величины превышения действующих нормативов.

Таблица 1.4

Классы условий труда в зависимости от уровня производственного шума на рабочих местах

Фактор	Класс условий труда					
	Допустимый 2	Вредный 3				Опасный (экстремальный) 4
		3.1	3.2	3.3	3.4	
Эквивалентный уровень звука L , дБА	\leq ПДУ	Превышение ПДУ				\geq 50
		10	25	40	50	

Строительно-акустические мероприятия, выполняемые для обеспечения требуемого снижения шума, рассмотрены ниже.

2. Способы защиты от шума

Согласно ГОСТ 12.1.003-2014 [3] при разработке технологических процессов, проектировании, изготовлении и эксплуатации машин, производственных зданий и сооружений, а также при организации рабочих мест следует принимать все необходимые меры по снижению шума, воздействующего на человека, до значений, не превышающих допустимые.

Защита от шума должна обеспечиваться разработкой шумобезопасной техники, применением средств и методов коллективной

защиты, в том числе строительно-акустических, применением средств индивидуальной защиты.

В первую очередь следует использовать средства коллективной защиты. По отношению к источнику возбуждения шума коллективные средства защиты подразделяются на *средства, снижающие шум в источнике* его возникновения, и *средства, снижающие шум на пути его распространения* от источника до защищаемого объекта.

Снижение шума в источнике осуществляется за счет улучшения конструкции машины или изменения технологического процесса. Средства, снижающие шум в источнике его возникновения в зависимости от характера шумообразования подразделяются на средства, снижающие шум механического происхождения, аэродинамического и гидродинамического происхождения, электромагнитного происхождения.

Методы и средства коллективной защиты в зависимости от способа реализации подразделяются на строительно-акустические, архитектурно-планировочные и организационно - технические и включают в себя:

- изменение направленности излучения шума;
- рациональную планировку предприятий и производственных помещений;
- акустическую обработку помещений;
- применение звукоизоляции.

2.1. Изменение направленности излучения шума

В ряде случаев величина показателя направленности G достигает 10 - 15 дБ, что необходимо учитывать при использовании установок с направленным излучением, ориентируя эти установки так, чтобы максимум излучаемого шума был направлен в противоположную сторону от рабочего места.

2.2. Рациональная планировка предприятий и производственных помещений

Это мероприятие позволяет снизить уровень шума на рабочих местах за счет увеличения расстояния до источников шума.

При планировке территории предприятий наиболее шумные помещения должны быть сконцентрированы в одном - двух местах. Расстояние между шумными и тихими помещениями должно обеспечивать необходимое снижение шума.

Если предприятие расположено в черте города, то шумные помещения должны находиться в глубине территории предприятия, как можно дальше от жилой застройки.

Внутри здания тихие помещения необходимо располагать вдали от шумных так, чтобы их разделяло несколько других помещений или ограждение с хорошей звукоизоляцией.

2.3. Акустическая обработка помещения

Акустическая обработка помещения – это облицовка части внутренних ограждающих поверхностей *звукопоглощающими* материалами, а также размещение в помещении штучных поглотителей, представляющих собой свободно подвешиваемые объемные поглощающие тела различной формы.

Под *звукопоглощением* понимают свойство поверхностей уменьшать интенсивность отраженных ими волн за счет преобразования звуковой энергии в тепловую.

Эффективность снижения шума звукопоглощением зависит в основном от акустических характеристик самого помещения и частотных характеристик материалов, применяемых для акустической обработки. Наиболее часто для акустической обработки применяют однородные пористые материалы, критерием выбора которых является соответствие максимума в частотной эффективности материала максимуму в спектре снижаемого шума в помещении.

Акустически обработанные поверхности помещения уменьшают интенсивность отраженных звуковых волн, что приводит к снижению шума в зоне отраженного звука; в зоне прямого звука эффект акустической обработки значительно ниже. Наибольший

эффект наблюдается на расстояниях от источника до расчетной точки $r \gg r_{гр}$, где $r_{гр} = (V/8\pi)^{1/2}$, м – граничное расстояние, V – постоянная помещения.

Звукопоглощающая облицовка размещается на потолке и в верхних частях стен (при высоте помещения не более 6-8 м) таким образом, чтобы акустически обработанная поверхность составляла не менее 60% от общей площади ограничивающих помещение поверхностей. В относительно низких (менее 6 м) и протяженных помещениях облицовки рекомендуется размещать на потолке. В узких и очень высоких помещениях целесообразно размещать облицовку на стенах, оставляя только их нижние части (2 м высоты) необлицованными. В помещениях высотой более 6 м следует предусматривать устройство звукопоглощающего подвесного потолка.

Если площадь поверхностей, на которых возможно размещение звукопоглощающей облицовки мала, или конструктивно невозможно выполнить облицовку на ограждающих поверхностях, то применяются *штучные звукопоглотители*.

В области средних и высоких частот эффект от применения акустической облицовки может составлять 6÷15 дБА.

2.4. Снижение шума с помощью звукоизоляции

Звукоизоляция относится к строительно-акустическим методам борьбы с шумом и состоит в том, что звуковая волна, падающая на ограждение, приводит его в колебательное движение с частотой, равной частоте колебаний частиц воздуха. В результате ограждающая конструкция сама становится источником звука, но интенсивность этого звука в сотни раз меньше интенсивности звука, падающего на преграду.

Методами звукоизоляции можно изолировать источник шума от рабочего пространства или изолировать помещение от шума, проникающего извне.

Звукоизоляция достигается созданием герметичной преграды на пути распространения воздушного шума в виде стен, кабин, кожухов, экранов.

Звукоизолирующие свойства ограждения, установленного на пути распространения звука, характеризуются величиной, называемой звукоизоляцией ограждения.

Если звуковая волна встречает преграду с иным, чем акустическая среда, волновым сопротивлением, то часть звуковой энергии отражается от преграды, часть проникает в нее и поглощается преградой, превращаясь в тепло, а оставшаяся часть проникает сквозь преграду (рис. 2.1).

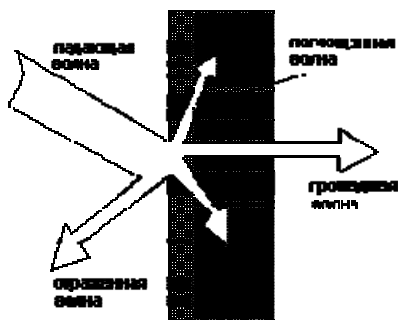


Рис.2.1. Взаимодействие звуковой волны с преградой

Свойства самой преграды и материала, покрывающего эту преграду, определяются следующими показателями:

1. Коэффициент звукопоглощения:

$$\alpha = \frac{I_{\text{погл}}}{I_{\text{пад}}}$$

где $I_{\text{погл}}$ – поглощенная материалом или преградой интенсивность звука;

$I_{\text{пад}}$ – падающая на преграду интенсивность звука.

2. Коэффициент отражения:

$$\beta = \frac{I_{\text{отр}}}{I_{\text{пад}}}$$

где $I_{\text{отр}}$ - отраженная от преграды интенсивность звука.

3. Коэффициент звукоизоляции (обратная величина по отношению к коэффициенту отражения):

$$\gamma = \frac{I_{\text{пад}}}{I_{\text{отр}}}$$

4. Коэффициент прохождения:

$$\tau = \frac{I_{\text{пр}}}{I_{\text{пад}}}$$

где $I_{\text{пр}}$ - прошедшая сквозь преграду интенсивность звука.

5. Коэффициент рассеяния от поверхности преграды:

$$\delta = \frac{I_{\text{пад}} - I_{\text{погл}} - I_{\text{пр}}}{I_{\text{пад}}}$$

Величины коэффициентов α , β , δ , τ зависят от частоты звуковой волны. Используя приведенные выше формулы, можно записать следующие соотношения:

$$\alpha = 1 - \beta$$

$$\beta + \delta + \tau = 1$$

Звукоизоляция преграды R оценивается в дБ:

$$R = 10 \lg \left(\frac{1}{\tau} \right)$$

Эффективность снижения шума звукоизоляцией определяется звукоизолирующими свойствами материала преграды, площадью, толщиной и массой преграды, отсутствием отверстий и щелей, частотой изолируемого звука. Чем больше масса конструкции, тем лучше ее изолирующие свойства, и чем выше частота изолируемого звука, тем больше эффект звукоизоляции при той же массе конструкции.

При проектировании ограждающих конструкций, предназначенных для защиты от шума следует принимать наиболее эффективные по изоляции воздушного шума конструкции – однослойные с пустотами или из бетонов на пористых заполнителях и ячеистых бетонов, или однослойные конструкции с тонкой облицовкой толщиной не более 1,5 см (сухая штукатурка и другие подобные материалы) с воздушным промежутком не менее 4 см.

Эффективным средством защиты работающих от шума оборудования является устройство *звукоизолированных кабин и постов управления*. Такие кабины представляют собой изолированные помещения, выполненные, как правило, из кирпича, бетона, шлакобетона или сборных металлических панелей.

Одним из наиболее эффективных средств уменьшения шума оборудования является устройство *звукоизолирующих кожухов*, полностью закрывающих источник шума. Это позволяет значительно

снизить шум в непосредственной близости к источнику. Кожухи могут быть съемными и разборными, иметь смотровые окна, открывающиеся двери, а также проемы для ввода коммуникаций. Стенки кожуха выполняются из листовых несгораемых или трудносгораемых материалов (стали, дюралюминия, пластмасс). Внутренняя поверхность кожуха обязательно должна облицовываться звукопоглощающими материалами толщиной 30÷50 мм для повышения его эффективности. Стенки кожуха не должны соприкасаться с изолируемой машиной.

В ряде случаев достаточное снижение шума оборудования достигается применением *акустических экранов*, отгораживающих наиболее шумные агрегаты или участки от соседних рабочих мест.

Снижение шума экранными глушителями происходит за счет отражения части звуковой энергии назад к источнику. Если длина звуковой волны меньше размеров экрана, то за экраном образуется "звуковая тень". Использование акустических экранов целесообразно, когда в расчетной точке уровень звукового давления прямого звука значительно выше, чем отраженного.

Экраны изготавливают из стальных или алюминиевых листов толщиной 1,5÷2 мм. Листы облицовывают звукопоглощающим материалом толщиной не менее 50 мм.

В акустически необработанных помещениях снижение уровня шума экраном составляет обычно не более 2÷3 дБ. Эффективность экрана повышается при облицовке звукопоглощающими материалами, прежде всего, потолка помещения.

Максимальная эффективность экранов на открытом воздухе 25 – 30 дБА.

2.5. Санитарно-защитные зоны вокруг предприятий

К архитектурно-планировочным решениям также относится создание *санитарно-защитных зон* вокруг предприятий. По мере увеличения расстояния от источника уровень шума уменьшается. Поэтому создание санитарно-защитной зоны необходимой ширины является наиболее простым способом обеспечения санитарно-гигиенических норм вокруг предприятий.

Выбор ширины санитарно-защитной зоны зависит от установленного оборудования, например, ширина санитарно-защитной зоны вокруг крупных ТЭС может составлять несколько километров. Для объектов, находящихся в черте города, создание такой санитарно-защитной зоны порой становится неразрешимой задачей. Сократить ширину санитарно-защитной зоны можно уменьшением шума на путях его распространения.

2.6. Средства индивидуальной защиты (СИЗ)

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) применяются в том случае, если другими способами обеспечить допустимый уровень шума на рабочем месте не удастся.

Принцип действия СИЗ – защитить наиболее чувствительный канал воздействия шума на организм человека – ухо. Применение СИЗ позволяет предупредить расстройство не только органов слуха, но и нервной системы от действия чрезмерного раздражителя.

Наиболее эффективны СИЗ, как правило, в области высоких частот.

СИЗ включают в себя противошумные вкладыши (беруши), наушники, шлемы и каски, специальные костюмы.

3. Расчетное задание

В соответствии с заданным преподавателем вариантом выполнить акустический расчет в расчетной точке, расположенной на рабочем месте в производственном помещении с несколькими источниками шума.

Характеристика помещения, количество источников и расстояния от акустического центра источников до расчетной точки приведены в табл. 3.1.

Спектр шума, создаваемого источниками, задан в табл. 3.2.

При расчете источники шума считать точечными, фактор направленности излучения шума и искажение диффузности звукового поля не учитывать ($\Phi=1$, $\psi=1$); принять отношение расстояния от

рабочего места до источника шума к максимальному габаритному размеру источника $r/l_{\max} > 2$.

Результаты акустического расчета свести в таблицу, форма которой представлена в табл. 3.3.

По результатам расчета и исходным данным построить шумовую характеристику рабочего места. График строится в полулогарифмическом масштабе, где по оси абсцисс откладываются значения среднегеометрических частот октавных полос в логарифмическом масштабе, а по оси ординат – уровни звукового давления. На графике отложить две зависимости: ожидаемый уровень звукового давления в расчетной точке $L_p = f(f)$ и допустимый уровень звукового давления на рабочем месте $L_{p \text{ доп}} = f(f)$.

Сделать вывод о необходимости проведения дополнительных акустических мероприятий (в случае необходимости предложить конкретные мероприятия).

Таблица 3.1

Варианты расчетного задания

№ варианта задания	Производственное помещение	Размеры помещения			Количество источников шума	Источники шума	Расстояние от центра i -го источника до расчетной точки			
		Длина a , м	Ширина b , м	Высота c , м			r_1 , м	r_2 , м	r_3 , м	r_4 , м
1	Цех агломерационного производства	20	25	5	4	1 – Дробилка молотковая ДР-10; 2 – Грохот для просеивания известняка; 3 – Вибропитатель для подачи шихты; 4 – Смеситель первичный	2	5	6	7
2	Цех коксохимического производства	20	10	6	4	1 – грохот; 2 – привод ленточного конвейера; 3 – дробилка молотковая; 4 – углережущая	5	6	10	8
3	Цех коксохимического производства	15	10	5	3	1 – привод ленточного конвейера; 2 – дробилка барабанная; 3 – привод дробилки барабанной	10	5	6	-
4	Цех агломерационного производства	20	25	5	3	1 - Дробилка четырехвалковая УЗГМ; 2 – Экстаустер; 3 – Смеситель вторичный	3	5	6	-

Продолжение табл. 3.1

№ варианта задания	Производственное помещение	Размеры помещения			Количество источников шума	Источники шума	Расстояние от центра r -го источника до расчетной точки			
		Длина a , м	Ширина b , м	Высота c , м			r_1 , м	r_2 , м	r_3 , м	r_4 , м
5	Горно-обогатительное производство (Корпус обогащения)	30	40	6	4	1 – Насос центробежный грунтовый ГРАК 700/40; 2 – Углесос У900-90; 3 – Насосная установка ВВН-12; 4 – Конвейер ленточный В-1000	5	10	6	8
6	Горно-обогатительное производство (Корпус обогащения)	30	30	5,5	4	1 – Насос центробежный грунтовый ГРАК 85/40; 2 – Углесос У900-90; 3 – Турбовоздуходувка ТВ-80-1,4; 4 – Конвейер ленточный В-1000	6	8	10	12
7	Горно-обогатительное производство (Аккумуляторные бункера)	25	30	6,5	4	1 – Конвейер ленточный; 2- Пробоотборник маятниковый ПММ-120; 3 – Машина для подготовки проб МПЛ-150; 4 – питатель ПКЛ-12	5	10	15	18

Продолжение табл. 3.1

№ варианта задания	Производственное помещение	Размеры помещения			Количество источников шума	Источники шума	Расстояние от центра i -го источника до расчетной точки			
		Длина a , м	Ширина b , м	Высота c , м			r_1 , м	r_2 , м	r_3 , м	r_4 , м
8	Мастерская по-верхностного комплекса угледобывающего предприятия (Механическое отделение)	30	35	6	4	1 – Станок 1и63; 2- Станок 16д20; 3 – Станок 16б16; 4 - Станок 6т80ш	15	12	10	19
9	Мастерская по-верхностного комплекса угледобывающего предприятия (Механическое отделение)	25	40	6	3	1 – Станок 2Г125; 2- Станок 7307д; 3 – Станок 6т80ш; 4 - Станок 1и63	10	10	15	8
10	Цех по производству ферросплавов	15	10	5	3	1 – Печь медеплавильная 250 кВА; 2 – дробилка «Цемаг»; 3 – мельница стержневая СМ-15	15	10	5	-
11	Цех по производству ферросплавов	20	15	5,5	3	1 – Печь медеплавильная 250 кВА; 2 – грохот отсева ферросплавов; 3 – мельница стержневая СМ-15	15	10	5	-

Продолжение табл. 3.1

№ варианта задания	Производственное помещение	Размеры помещения			Количество источников шума	Источники шума	Расстояние от центра r -го источника до расчетной точки			
		Длина a , м	Ширина b , м	Высота c , м			r_1 , м	r_2 , м	r_3 , м	r_4 , м
12	Литейный цех	25	15	5,5	3	1 – Печь термическая закалочная; 2 – грохот ГР-21; 3 – мельница шаровая СМ-174	15	10	5	-
13	Литейный цех	30	15	5,5	3	1 – Печь термическая закалочная; 2 – грохот ГРЛ-62; 3 – мельница шаровая СМ-15	15	10	5	-
14	Цех по производству огнеупоров	25	10	5	4	1 – дробилка щековая УЗТМ; 2 – мельница шаровая сухого помола; 3 – барабан сушильный СМ-147; 4 – обжиговая печь производительностью 11,5 т/ч	10	5	10	15

Продолжение табл. 3.1

№ варианта задания	Производственное помещение	Размеры помещения			Количество источников шума	Источники шума	Расстояние от центра r -го источника до расчетной точки			
		Длина a , м	Ширина b , м	Высота c , м			r_1 , м	r_2 , м	r_3 , м	r_4 , м
15	Цех по производству огнеупоров	25	10	5	3	1 – дробилка роторная С-687; 2 – мельница двухкамерная шаровая СМ-436; 3 – барабан сушильный СМ-447;	15	10	10	-
16	Ремонтно-строительный цех	20	10	5	3	1 – строгальный станок С 26-2; 2 – токарный станок 1325; 3 – фрезерный станок 6МП2П	10	15	5	-
17	Ремонтно-строительный цех	25	10	5	3	1 – строгальный станок С 26-2; 2 – токарный станок 1325; 3 – шлифовальный станок	15	10	5	-
18	Энергосиловой цех	20	10	5	3	1 – турбогенератор ВПТ-50-2; 2 – компрессор воздушный К-1450-61-1; 3 – питательный насос	10	5	10	-

Продолжение табл. 3.1

№ варианта задания	Производственное помещение	Размеры помещения			Количество источников шума	Источники шума	Расстояние от центра r -го источника до расчетной точки			
		Длина a , м	Ширина b , м	Высота c , м			r_1 , м	r_2 , м	r_3 , м	r_4 , м
19	Энергосиловой цех	20	10	5	3	1 – турбогенератор ВПТ-50-2; 2 – компрессор воздушный К-1450-61-1; 3 – насос высокого давления АТК-700-2	10	5	10	-
20	Цех по производству огнеупоров	15	10	5	4	1 – дробилка роторная С-687; 2 – мельница двухкамерная шаровая СМ-436; 3 – барабан сушильный СМ-447; 4 – обжиговая печь производительностью 22,5 т/ч	10	10	10	5
21	Цех механической обработки деталей	20	5	5	3	1- токарный станок 1К36; 2- токарный станок 1А62; 3- штамповочный автомат АТ60	1	5	4	-

Продолжение табл. 3.1

№ варианта задания	Производственное помещение	Размеры помещения			Количество источников шума	Источники шума	Расстояние от центра I -го источника до расчетной точки			
		Длина a , м	Ширина b , м	Высота c , м			r_1 , м	r_2 , м	r_3 , м	r_4 , м
22	Штамповочный цех	25	6	5	3	1- штамповочный автомат АТ60; 2- штамповочный автомат АТ60; 3- пресс К222	2	5	7	-
23	Мастерская	15	5	3	3	1- токарный станок 1К36; 2- токарный станок 1А62; 3- пресс К222	4	3	5	-
24	Конструкторское бюро	10	5	3	4	1- ПЭВМ; 2- ПЭВМ; 3- принтер HP; 4 - плоттер HP DesignJet 10 PS A3+	0,7	2	3	3
25	Комната программистов	5	3	3	4	1- ПЭВМ; 2- ПЭВМ; 3- принтер HP; 4- принтер DeskJet 820 Cxi	3	0,8	1	3
26	Экспериментальная лаборатория	4	5	4	3	1- ПЭВМ; 2- ПЭВМ; 3- принтер HP	3	5	3	-

Продолжение табл. 3.1

№ варианта задания	Производственное помещение	Размеры помещения			Количество источников шума	Источники шума	Расстояние от центра r -го источника до расчетной точки			
		Длина a , м	Ширина b , м	Высота c , м			r_1 , м	r_2 , м	r_3 , м	r_4 , м
27	Комната менеджеров	5	5	3	4	1-ПЭВМ; 2-ПЭВМ; 3-принтер HP; 4-ксерокс Xerox 5310	4	1	3	3
28	Бухгалтерия	5	6	4	4	1-ПЭВМ; 2-ПЭВМ; 3-принтер HP; 4-ксерокс Xerox 5310	3	5	4	2
29	Научно-исследовательская лаборатория	4	3	3	3	1-ПЭВМ; 2-ПЭВМ; 3-принтер HP	3	1	3	-
30	Читальный зал библиотеки	6	8	3	4	1-ПЭВМ; 2-ПЭВМ; 3-ПЭВМ; 4-ПЭВМ	5	3	6	3

Таблица 3.2

Октавные уровни звукового давления L_w источников шума, дБ

Октавные полосы со среднегеометрическими частотами f, Гц	Агломерационное производство							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Дробилка молотковая ДР10	106	108	107	106	102	98	95	87
Дробилка четырехвалковая УЗТМ	111	115	114	112	110	108	101	94
Грохот для просеивания из-вестняка	95	100	101	104	106	104	101	98
Экстаустер	105	105	106	108	109	109	99	106
Питатель тарельчатый	93	96	97	97	90	90	81	74
Вибропитатель для подачи шихты	116	107	103	103	97	94	90	86
Смеситель: первичный	86	107	108	105	100	93	85	87
вторичный	106	105	104	101	96	90	84	76
Коксохимическое производство								
Грохот	112	118	115	110	105	97	98	85
Привод ленточного конвейера	103	101	100	101	95	95	90	103
Углеретружатель	102	103	98	88	92	86	90	102
Дробилка барабанная	109	104	104	101	98	93	87	109
Привод дробилки барабанной	110	107	108	106	102	100	94	110
Дробилка молотковая	106	108	107	106	102	98	95	106
Горно-обогатительное производство								
<i>Корпус обогащения:</i>								
Насос центробежный грунто-вый ГРАК 700/40	80	83	83	82	81	78	74	73
Углесос У900-90	97	94	92	97	92	88	79	70

Октавные полосы со среднегеометрическими частотами f, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Насос центробежный грунто- вый ГРАК 85/40	80	83	83	82	81	78	74	73
Насосная установка ВВН-12	86	81	87	88	90	86	79	62
Турбовоздуходувка ТВ-80-1,4	92	90	87	90	90	88	79	73
Конвейер ленточный В-1000	85	88	86	82	82	77	71	68
<i>Аккумуляторные бушера:</i>								
Конвейер ленточный	85	88	86	83	83	78	72	68
Проботборник маятниковый ПММ-120	80	84	87	84	83	76	72	83
Машина для подготовки проб МПЛ-150	72	81	80	82	83	83	83	79
Питатель ПКЛ-12	88	86	83	85	82	77	72	70
<i>Мастерская поверхностного комплекса угледобывающего предприятия</i>								
Механическое отделение:								
Станок 1и63	112	106	102	99	97	95	93	92
Станок 16д20	72	83	88	90	91	87	86	74
Станок 16616	82	86	89	90	87	84	73	96
Станок 6т80ш	82	83	88	91	91	90	82	74
Станок 7307д	70	73	80	80	77	75	73	71
Станок 2т125	76	81	84	87	87	87	79	78

Продолжение табл. 3.2

Октавные полосы со среднегеометрическими частотами f, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ферросплавное производство								
Печь медеплавильная 250 кВА	120	128	106	105	111	108	120	128
Дробилка "Цемаг"	93	113	105	107	98	102	93	113
Машина чистки металла	105	107	107	105	113	111	105	107
Грохот отсева ферросплавов	102	104	108	111	112	109	102	104
Мельница стержневая СМ-15	102	105	109	111	113	111	102	105
Печь медеплавильная 250 кВА	120	128	106	105	111	108	120	128
Литейное производство								
Печь термическая закалочная	103	110	108	107	99	89	81	81
Мельница шаровая: СМ-15	101	103	104	107	110	109	104	85
СМ-174	99	115	117	123	123	121	117	107
Грохоты:								
ГРД-62	112	106	104	105	100	96	95	90
ГР-21	114	107	104	109	106	104	102	92
ВГО-7	95	106	104	102	101	98	94	86
Огнеупорное производство								
Дробилка: щековая, конструкции УЗПМ	114	112	109	108	103	102	101	94
роторная С-687	99	99	98	101	100	102	103	102
двухвалковая	93	95	96	97	96	92	93	90
конусная КМД-1750	100	104	105	108	109	108	107	107
КСД-2100	106	107	107	108	109	108	106	103
Мельница шаровая сухого помола (2700x1450)	105	104	104	108	105	101	95	89
двухкамерная шаровая СМ-436	105	108	113	115	116	115	111	103

Продолжение табл. 3.2

Октавные полосы со среднегеометрическими частотами f, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Вибропроход с пылезащитным кожухом	103	97	98	100	103	106	104	104
Барaban сушильный СМ-147, СМ-147А	105	111	115	113	120	120	120	115
СМ-447	94	98	96	93	92	89	90	85
Обжиговые печи производительностью:								
7,1 т/ч	121	117	110	107	102	100	105	106
11,5 т/ч	104	107	109	108	104	103	105	102
22,5 т/ч	112	112	113	110	108	110	123	119
Дымосос ДУ-21,5	101	97	96	99	99	95	98	88
Энергосиловые цехи								
Турбогенератор ВП-502	103	99	101	105	110	111	113	114
Компрессор воздушный К-1450-61-1	105	106	98	99	107	105	104	98
Насосы:								
питательный	105	107	95	96	104	105	101	101
высокого давления АТК-700-2	99	103	105	104	103	102	99	95
Ремонтно-строительные цехи								
Строгальный станок С26-2	98	104	111	115	113	107	99	95
Токарный станок 1325	113	112	113	110	113	114	113	114
Фрезерный станок 6МП2П	81	85	86	92	94	91	87	90

Продолжение табл. 3.2

Октавные полосы со среднегеометрическими частотами f, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Шлифовальный станок 3А64М	93	101	99	101	100	94	95	101
Цех механической обработки деталей								
Штамповочный автомат АТ60	98	102	102	105	101	99	92	92
Пресс К222	106	103	102	101	102	102	98	89
Токарный станок 1К36	96	94	95	98	93	90	90	86
Токарный станок 1А62	84	87	90	92	91	87	82	80
Научно-исследовательские, экспериментальные лаборатории, бухгалтерия, читальные залы библиотеки								
ПЭВМ	40	59	42	42	43	41	39	36
Принтер HP	50	59	44	45	46	40	36	35
Плоттер HP DesignJet 10 PS A3+	60	57	50	42	47	43	41	39
Ксерокс Xerox 5310	60	55	45	47	48	39	40	41

Таблица 3.3

Результаты акустического расчета (вариант №...)

Исходные данные и результаты расчета	Октавные полосы со среднегеометрическими частотами f , Гц								Уровень звука, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
L_w , дБ, источника шума 1, $r_1 = \dots$ м									-
L_w , дБ, источника шума 2, $r_2 = \dots$ м									-
L_w , дБ, источника шума 3, $r_3 = \dots$ м									-
L_w , дБ, источника шума 4, $r_4 = \dots$ м									-
Постоянная помещения B , m^2									-
Ожидаемый уровень звукового давления в расчетной точке L_p , дБ									
Допустимый уровень звукового давления на рабочем месте $L_{p \text{ доп}}$, дБ									
Требуемое снижение шума ΔL , дБ									
Класс условий труда									
Предлагаемые акустические мероприятия (если требуются)									

4. Содержание отчета по выполнению расчетно-графической работы

1. Титульный лист (с указанием № варианта)
2. Методика расчета ожидаемых уровней звукового давления в расчетной точке.
3. Исходные данные для расчета
4. Результаты расчета с примером расчета
5. График
6. Выводы по результатам расчета

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гендлер С.Г.* Безопасность жизнедеятельности. Гигиеническая оценка условий труда: Учеб. пособие / С.Г.Гендлер, Е.И. Домпальм, И.А. Павлов, В.Б. Соловьев. Санкт-Петербургский государственный горный ин-т. СПб, 2009, 173 с.

2. *Глебова Е.В.* Производственная санитария и гигиена труда: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 2005, 383 с.

3. ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

4. *Занько Н.Г.* Безопасность жизнедеятельности [Электронный ресурс]: учеб. / Н.Г. Занько, К.Р. Малаян, О.Н. Русак. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург: Лань, 2017. – 704 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/92617>.

5. *Потоцкий Е.П.* Безопасность жизнедеятельности [Электронный ресурс]: учеб. пособие – Электрон. дан. – Москва: МИСИС, 2012. – 77 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/47487>.

6. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса Р 2.2.2006-05 // Бюллетень нормативных и методических документов Госсанэпиднадзора № 3, 2005 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://base.garant.ru/12142897/b6e274ad6eba78cee49e6763e1809abf/>

7. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»

8. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

9. *Ушаков К.З.* и др. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для ВУЗов. М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2000, 430 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П.1

**Предельно-допустимые уровни звукового давления,
уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных
видов трудовой деятельности и рабочих мест
по СН 2.2.4/2.1.8.562-96 (извлечение)**

№	Вид трудовой деятельности, рабочее место (примеры)	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	Творческая деятельность, научная деятельность, программирование, преподавание и обучение	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
2	Высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности, административно-управленческая деятельность	93	79	70	68	58	55	52	52	49	60
3	Операторская работа по точному графику с инструкцией, диспетчерская работа	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
4	Работа, требующая сосредоточенности, в помещениях лабораторий с шумным оборудованием	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75

Продолжение табл. П.1

№	Вид трудовой деятельности, рабочее место (примеры)	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
5	Постоянные рабочие места в производственных помещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Методика выполнения акустического расчета	3
1.1. Расчет ожидаемых октавных уровней звукового давления в помещении с одним источником шума.....	5
1.2. Расчет ожидаемых октавных уровней звукового давления в помещении с несколькими источниками шума.....	7
1.3. Расчет ожидаемых уровней звукового давления в помещении, изолированном от источника шума.....	8
1.4. Расчет ожидаемых октавных уровней звукового давления при распространении звука в свободном пространстве.....	9
1.5. Расчет ожидаемых уровней звука. Определение класса условий труда при воздействии производственного шума.....	10
2. Способы защиты от шума.....	11
2.1. Изменение направленности излучения шума.....	12
2.2. Рациональная планировка предприятий и производственных помещений.....	13
2.3. Акустическая обработка помещения.....	13
2.4. Снижение шума с помощью звукоизоляции.....	14
2.5. Санитарно-защитные зоны вокруг предприятий.....	17
2.6. Средства индивидуальной защиты (СИЗ).....	18
3. Расчетное задание	18
4. Содержание отчета по выполнению расчетно-графической работы.....	33
Рекомендательный библиографический список	34
Приложение.....	35

**ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ САНИТАРИЯ
И ГИГИЕНА ТРУДА
АКУСТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ**

*Методические указания к самостоятельным работам
для студентов специальности 21.05.04*

Сост.: *В.В. Смирнякова, В.В. Смирняков*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
безопасности производств

Ответственный за выпуск *В.В. Смирнякова*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 03.12.2021. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 2,2. Усл.кр.-отт. 2,2. Уч.-изд.л. 2,0. Тираж 50 экз. Заказ 1094.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2