

8. Кунаш, М.В. Влияние маскировки на порог слышимости в условиях шума тракторов: оценка рисков / М.В. Кунаш (аспирант), Г.И. Белохвостов // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2025. – N 1 (57). – С. 219–229.

9. Кунаш М.В. К вопросу баланса физиологических и психофизиологических аспектов безопасности труда при акустическом воздействии на работников аграрного сектора глушителей шума сельскохозяйственной техники / М.В. Кунаш, Г.И. Белохвостов // Современные тенденции развития сельскохозяйственного машиностроения и технического сервиса в АПК : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 25-летию образования факультета «Технический сервис в АПК», Минск, 4–5 июня 2025 г. – Минск : БГАТУ, 2025. – С. 472–475.

Summary. The modern approach to noise assessment in Belarus is shifting from fiscal recording of exceedances of maximum permissible levels to calculating the actual dose and managing health risks. However, the basic certification procedure remains strictly regulated: frequency analysis to assess infrasound and ultrasonic components, mandatory calculation of the equivalent level for non-permanent fields, and fundamental consideration of tonality.

УДК 331.452

Основин В.Н., кандидат технических наук, доцент;

Сергеев К.Л., старший преподаватель;

Сокол О.В., старший преподаватель

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ И РАСЧЕТ ОГРАДИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Аннотация. Обоснован выбор материалов в зависимости от условий действия ударных динамических нагрузок на оградительное устройство. Представлены инженерные методы проверочного расчета ограждений на прочность к ударным нагрузкам.

Abstract. The choice of materials depending on the conditions of action of shock dynamic loads on the protective device is substantiated. Engineering methods for checking the strength of fences to shock loads are presented.

Ключевые слова. Станочное оборудование, оградительное устройство, безопасность, выбор материалов, расчет на прочность.

Keywords. Machine tools, fencing device, safety, choice of materials, strength calculation.

Станочное оборудование – это совокупность машин, используемых для механической обработки деталей (резанием, давлением, пробивкой, строганием и т.д.). Основные виды включают токарные, фрезерные, сверлильные, шлифовальные и зубо- и резьбообрабатывающие станки, обеспечивающие создание поверхностей различной формы.

С целью обеспечения безопасности при работе на станках применяют оградительные устройства, представляющие собой физическую преграду между человеком и опасным или вредным производственным фактором. Они должны исключать [1]:

- возможность соприкосновения работника с движущимися частями машины;
- выпадение или вылет обрабатываемых деталей (материалов), а также частей рабочих органов при их поломках;
- попадание в рабочих частичек обрабатываемого материала;
- возможность травмирования при установке и смене рабочих органов или инструментов.

Оградительные устройства чаще всего изготавливают в виде сплошных жестких щитов и кожухов из листовой стали толщиной не менее 0,8 мм, либо листового алюминия толщиной не менее 2 мм, либо из прочной пластмассы толщиной не менее 4 мм. При необходимости осмотра ограждаемых механизмов или деталей оборудования ограждения снабжают смотровыми окнами из безопасного стекла толщиной не менее 4 мм. С этой же целью, а также для снижения массы конструкции ограждения выполняют с отверстиями. Они могут представлять собой решетки или сетки. Решетчатые и сетчатые ограждения необходимо располагать не ближе 50 мм от движущихся частей. Обычно размер ячеек сетки не превышает 10 x 10 мм.

В зависимости от назначения и условий работы ограждения изготавливают из различных материалов. Они могут одновременно выполнять роль паро-, газо- и пылеприемников, исключать воздействие тепловых и электромагнитных излучений на работающих, а в отдельных случаях снижать шум и т.п. Такие ограждения называют комбинированными. Например, ограждение заточного круга, кроме защиты человека от отлетающих частиц (в том числе и частей самого круга при его разрушении), выполняет функцию пылеприемника.

Оградительные устройства на движущиеся части оборудования выполняются из сплошного материала, а также в виде решеток или сеток. Размер ячеек в сетчатом ограждении или ширина щели между элементами решетки может быть определена из следующего выражения [2]:

$$b = 0,1 \cdot l + 5 \text{ мм}, \quad (1)$$

где b – ширина щели или ячейки, мм;

$l \leq 500$ мм – расстояние от ограждения до опасной зоны.

Если сетчатые ограждения выполнены в виде отверстий круглого сечения, то они должны удовлетворять следующим условиям:

$$\begin{aligned} &\text{при } x > 60, d \leq 0,1 \cdot x; \\ &\text{при } x \leq 60, d \leq 6, \end{aligned} \quad (2)$$

где x – расстояние от частей оборудования, представляющих опасность для работающих, до ограждения, мм;

d – диаметр отверстия, мм.

В ограждениях с отверстиями в виде многоугольников вписанные в них окружности должны удовлетворять тем же условиям, а любые диагонали многоугольников не должны превышать удвоенного диаметра окружности.

Материалом для защитных ограждений (экранов) могут быть оргстекло, сталь, сплавы алюминия, механические свойства которых приведены в таблице 1.

Выбор материала и толщина экрана зависит от величины динамических нагрузок, действующих на экран. На экран может ударно воздействовать элементная стружка, а также режущий инструмент при его вылете вследствие плохого крепления или разрушения, на испытательных стендах – испытываемые образцы, узлы, элементы стенда. Экран может разрушиться вследствие возникающих изгибных деформаций либо может быть «прошит» насквозь стружкой или подобным ей элементом.

Таблица 1 – Материалы защитных экранов и их механические характеристики

Материал	Модуль продольной упругости E , МПа	Допускаемое напряжение на изгиб $[\sigma]$, МПа	Коэффициент Пуассона μ
Оргстекло «СОЛ»	$2,7 \cdot 10^3$	120	0,3
Оргстекло «СТ-1»	$2,9 \cdot 10^3$	140	0,3
Оргстекло «2-55»	$3,5 \cdot 10^3$	140	0,3
Сталь	$(2,0-2,1) \cdot 10^5$	140–230	0,24–0,28
Сплавы алюминия	$(7,0-7,2) \cdot 10^4$	46–75	0,32

Определение толщины сплошного экрана h при изгибном воздействии на него ведется для наиболее опасного случая – удар в центр экрана. При этом прочность экрана должна соответствовать условию [3]

$$[\sigma] > \sigma_{\text{экв}}, \quad (3)$$

где $[\sigma]$ – допускаемое напряжение на изгиб материала экрана, МПа;

$\sigma_{\text{экв}}$ – действующее эквивалентное напряжение на изгиб материала экрана, МПа;

$$\sigma_{\text{экв}} = \sigma_x - \sigma_y, \quad (4)$$

где σ_x – напряжение на изгиб в направлении по длине экрана, МПа;

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\mu^2} (\epsilon_x + \mu \epsilon_y), \quad (5)$$

σ_y – напряжение на изгиб в направлении по высоте экрана, МПа;

$$\sigma_y = \frac{E}{1-\mu^2} (\epsilon_y + \mu \epsilon_x), \quad (6)$$

где μ и E – соответственно коэффициент Пуассона и модуль продольной упругости материала экрана, МПа (таблица 1);

ε_x и ε_y – относительные деформации по осям x и y , рассчитываемые по формулам:

$$\varepsilon_x = \frac{2\delta_x F \cos \frac{2\pi x}{a} \left(1 - \cos \frac{2\pi y}{b}\right)}{\pi^2 D a b^3 \left(\frac{3}{a^4} + \frac{2}{a^2 b^2} + \frac{3}{b^4}\right)},$$

$$\varepsilon_y = \frac{2\delta_y F \cos \frac{2\pi y}{a} \left(1 - \cos \frac{2\pi x}{b}\right)}{\pi^2 D a^3 b \left(\frac{3}{a^4} + \frac{2}{a^2 b^2} + \frac{3}{b^4}\right)},$$
(7)

где σ_x , σ_y – статические деформации по осям x и y от $F_{ст}$, м;

F – динамическое воздействие на экран, Н; $F = 2 \cdot F_{ст}$;

$F_{ст}$ – значение статического воздействия на экран, Н, определяемое по формуле:

$$F_{ст} = \frac{m \cdot v}{t},$$
(8)

где m – максимальная масса элемента, вылет которого возможен, кг;

v – скорость элемента в момент удара, м/с;

$t = l/v$ – время соударения элемента с экраном, с;

l – расстояние от элемента до экрана в начальный момент, м;

a , b – соответственно высота и длина экрана, м, определяются размерами опасной зоны с учетом конструкции ограждаемого оборудования;

D – параметр, определяемый по формуле:

$$D = \frac{E \cdot \sigma_{ст}^2}{12(1 - \mu^2)},$$
(9)

где $\sigma_{ст}$ – статическая деформация от силы $F_{ст}$, м.

Применительно к имеющимся конструкциям ограждений типа защитных козырьков или щитков (рисунок) может быть использована следующая методика проверочного расчета на прочность. Из условий прочности должно выполняться условие

$$\sigma_{дин} < [\sigma],$$
(10)

где $\sigma_{дин}$ – напряжение при динамической нагрузке, МПа;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение на изгиб материала экрана, МПа (таблица 1)

$$\sigma_{дин} = \sigma_{ст} \cdot k_{дин},$$
(11)

где $\sigma_{ст}$ – напряжение при статической нагрузке, МПа;

$k_{дин}$ – динамический коэффициент.

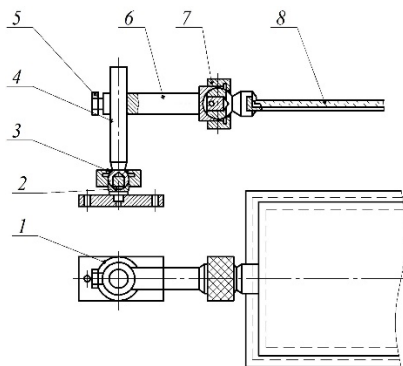


Рисунок – Ограждение типа защитного козырька (щитка)

1 – фланец; 2 – подшипник; 3 – пята шаровая; 4 – стойка; 5 – винт;
6 – кронштейн; 7 – шаровой шарнир; 8 – рамка

Динамический коэффициент определяется по формуле:

$$k_{\text{дин}} = 1 + \frac{v^2}{g \delta_{\text{ст}} \left(1 + \frac{kM}{m} \right)}, \quad (12)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2 ;

$\delta_{\text{ст}}$ – статическая деформация от силы mg , м ;

k – коэффициент приведения; в первом приближении значение его может быть принято $k = 1/3$;

M – масса ограждения, кг ;

m – масса ударяющего тела, кг .

Значение статической деформации с учетом многообразия способов крепления защитного козырька определяют экспериментально путем нагружения передней его кромки силой mg (в точке, делящей ширину щитка пополам). Возможно нагружение единичной либо любой другой силой тяжести $F_{\text{нагр}}$. Полученное в этом случае значение статической деформации корректируется пропорционально отношению $mg/F_{\text{нагр}}$.

Для исключения «прошивания» защитного экрана должно выполняться условие

$$v < v_0, \quad (13)$$

где v – скорость элемента в момент удара, м/с (в первом приближении принимается равной максимальной скорости элемента либо окружной скорости вращения объекта или максимальной скорости резания), $v = 16,7 \text{ м/с}$;

v_0 – минимальная скорость, с которой элемент массой m «прошивает» экран

$$v_o = \xi d \sqrt{h \cdot \left(\frac{h}{m}\right)^n}, \quad (14)$$

где ξ – коэффициент, значение которого принимается для пластиков равным $1,1 \cdot 10^6$, для металлов $1,23 \cdot 10^7$;

d и m – размер и масса вылетающей стружки; определяются в каждом конкретном случае с учетом обрабатываемого материала, параметров резания, типа режущего инструмента и условий его заточки; наличия и типа стружкоколбмателя;

h – толщина экрана,

n – показатель степени, учитывающий толщину экрана, обычно $n = 2$.

Варьируя значения h по формуле (14), определяют значение v_o и производят его сравнение со значением фактической скорости соударения v . В качестве расчетного принимается наименьшее значение толщины экрана, при котором выполняется условие ($v < v_o$). По рассмотренной методике может быть проведен также расчет толщины ограждений типа щитов и экранов-кожухов.

Сетчатые оградительные устройства применяются только при отсутствии вероятности динамических воздействий на защитный экран. Расстояния от опасного элемента оборудования до ограждения установлены ГОСТ 12.2.062-81 (таблица 2).

Таблица 2 – Расстояния от опасного элемента оборудования до ограждения

Наибольший диаметр окружности, вписанной в отверстие решетки (сетки), мм	До 8	Св. 8 до 10	Св. 10 до 25	Св. 25 до 40
Безопасное расстояние, мм, не менее	15	15...35	35...120	120...200

Ко всем оградительным устройствам независимо от вида оборудования, на котором они установлены, предъявляются требования надежности, безопасности и удобства в эксплуатации.

Список использованных источников

1. Опасные зоны станков. Оградительные и тормозные устройства. Электронный ресурс Режим доступа <http://delta-grup.ru/bibliot/32/33.htm>
2. Основин, В. Н. Безопасность работы технических систем : учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности «Управление охраной труда в сельском хозяйстве» / В. Н. Основин, Л. Г. Основина, О. В. Сокол ; Минсельхозпрод РБ, УО «БГАТУ». – Минск : БГАТУ, 2016. - 256 с.
3. Курдюмов, А. С. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности/ А. С. Курдюмов, Б.И. Зотов. – М.: Колос, 2005. – 215 с.

Summary. All protective devices, regardless of the type of equipment on which they are installed, must meet requirements for reliability, safety and ease of use.