

## УДК 331.45

Фокин Д.Р. , аспирант, младший научный сотрудник кафедры  
инженерной защиты окружающей среды  
Донцов С.А., канд. техн. наук, доцент кафедры инженерной за-  
щиты окружающей среды  
Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)

Fokin D.R., postgraduate student, junior researcher of the Department of  
Environmental Engineering  
Dontsov S.A., Ph.D. Tech. Sciences, associate professor of the Department  
of Environmental Engineering  
Saint-Petersburg State Institute of Technology (Technical University)

### **ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ УМЕНЬШЕНИЯ ВИБРОАКУ- СТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ДЛЯ ЭКСКАВАТОРОВ**

### **TECHNICAL SOLUTIONS FOR REDUCING VIBROACOUSTIC HAZARDS FOR EXCAVATORS**

**Аннотация.** Исследование посвящено оценке воздействия производственного шума и вибрации на здоровье работников горнодобывающей отрасли, а также разработке эффективных мер защиты. На примере гусеничного экскаватора ZX400LCH-5G проведены замеры шума, проанализирован его спектральный состав и предложены технические решения для снижения уровня вредных факторов. Использование стальных экранов, звукоизоляционных материалов и резиновых виброизоляторов позволило улучшить класс условий труда с вредного до допустимого. Результаты подтверждают необходимость внедрения подобных мер для минимизации профессиональных рисков и устойчивого развития отрасли.

#### **Введение**

Исследования показывают, что шум может сокращать среднюю продолжительность жизни человека на 8-10 лет. На производстве, органы слуха работников постоянно подвергаются нагрузкам, поэтому необходимо принимать меры по защите от шума.

Согласно СанПиН 1.2.3685-21 [1], для некоторых отраслей (подотраслей) экономики допускается уровень шума на рабочих местах от 80 до 85 дБА, при условии подтверждения приемлемого риска для здоровья работающих после проведения оценки профессионального риска и выполнения мероприятий по минимизации рисков. Если уровень шума превышает

80 дБА, работодатель должен провести оценку риска и подтвердить приемлемость риска. Работы в условиях шума выше 85 дБА запрещены. Специалистами разработаны средства индивидуальной защиты (СИЗ), такие, как беруши и наушники, которые могут предоставить надежную защиту от пагубного воздействия слишком громких звуков.

Согласно данным Государственного доклада «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в России в 2022 году» показатель распространенности профессиональных заболеваний был зафиксирован на уровне 0,1% (одного случая на десять тысяч работников). Это значение на 0,09 меньше, чем в 2021 году, и на 0,79 ниже, чем в 2013 году – самом раннем году, используемом для сравнения. Всего было зарегистрировано 4286 случаев профессиональных заболеваний. Среди них 81 % составляют мужчины и 19 % - женщины. Наблюдается тенденция к сокращению числа случаев профессиональных заболеваний за последние 9 лет. Число смертельных случаев увеличивается с каждым годом. Исследователи объясняют это с длительным трудовым стажем под воздействием вредных производственных факторов. Около 450 человек скончалось от воздействия профессиональных патологий. Вибраакустические факторы оказывают наибольшее негативное воздействие, составляя 47,11 %. Тяжесть и напряженность труда занимают вторую строчку статистики (20,7 %). Химическое воздействие на организм на третьем месте (17,76). Половина зарегистрированных случаев приходится на работников старше 50 лет. Треть от общего числа приходится на предпенсионный возраст. 20% занимают работники в возрастной группе от 35 до 45. 21 регион России превышает среднее значений патологий, чаще всего профессиональные заболевания регистрирует в регионах с развитой промышленностью и горнодобывающих регионах. Это обусловлено статистикой риска возникновения патологий. Горнорабочие, водители экскаваторов проходчики наиболее распространенные профессии с патологией.

Перед выполнением всех работ были рассмотрены исследования отечественных и зарубежных ученых, посвященные изучению воздействия производственного шума и вибрации на человеческий организм, а также методы и средства борьбы с этими вредными факторами. Исследования оценки шума на горнодобывающих предприятиях провели Д.Н. Девятловский, Э.И. Денисов, В.А. Фокин [2]. В работах были рассмотрены вред шума на органы слуха работников, также отмечается необходимость комплексного подхода к оценке воздействия вредных факторов и использования средств индивидуальной защиты. Для этого используются информационно-измерительные системы, которые представляют собой проводную сеть датчиков, регистрирующих значения показателей ОВПФ в режиме реального времени. Такой подход позволяет наблюдать ситуацию на протяжении длительного периода и подобрать оптимальное решение по охране

труда. В противовес ставится экономический фактор с большим количеством затрат. М. К. Мадахана, О.Т. Ньяндро и Н. Ф. Морое [3] предложили использовать шумомеры, встроенные в различные станки и движущие машины, для контроля шума в источнике. В своих исследованиях Ю.Г. Эланский, Г.А. Суворов, В.Ю. Николенко [4] отметили, что при развитии вибрационной болезни ухудшается кровоснабжение головного мозга и возникает энцефалопатия. Это приводит к проблемам с координацией движений и асимметрии рефлексов.

### **Методика исследования**

Измерения проводились для ZX400LCH-5G с модификациями производства и изменением конструкции, который является самым крупным гусеничным экскаватором Hitachi серии ZAXIS среднего класса. Модель оснащена ковшом типа «обратная лопата» емкостью 1,9 м<sup>3</sup>. Технические характеристики: Масса: 38,3 т; Мощность двигателя: 246 л.с.; Скорость движения: 2,9–5 км/ч; Объем ковша: 1,9 м<sup>3</sup>; Максимальная глубина копания: 6,74 м. Размеры: 11180×3290×3260 мм.

В рамках исследования были предложены различные технические решения для карьеров, которые помогают снизить класс условий труда с вредного до допустимого, оценена их эффективность, а также выбрана наиболее экономически выгодный и эффективный способ решения проблемы.

Анализ спектрального состава шума выполнялся посредством измерений уровней звукового давления шумомером с октавными фильтрами, и по результатам измерений строился график - спектр шума в октавных полосах частот. Полученные таким образом уровни шума сравнивались с допустимыми значениями. В качестве средств уменьшения шума были использованы стальные экраны толщиной от 0,002 до 0,006, вариации кожухов из пластин стали и АМГ с разной толщиной стенок и изоляция кабины звукопоглощающими материалами.

Вычисления уменьшения шума проводились с использованием компьютерной программы ОКП-5.

**Таблица 1 - Исходные данные для построения спектра шума**

Частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000
Без средств, дБ	111,59	105,46	99,18	92,88	86,59	80,34	74,11

Норма, дБ	95	87	82	78	75	73	71
Со средствами, дБ	89,67	79,87	69,48	58,75	47,73	36,35	24,52

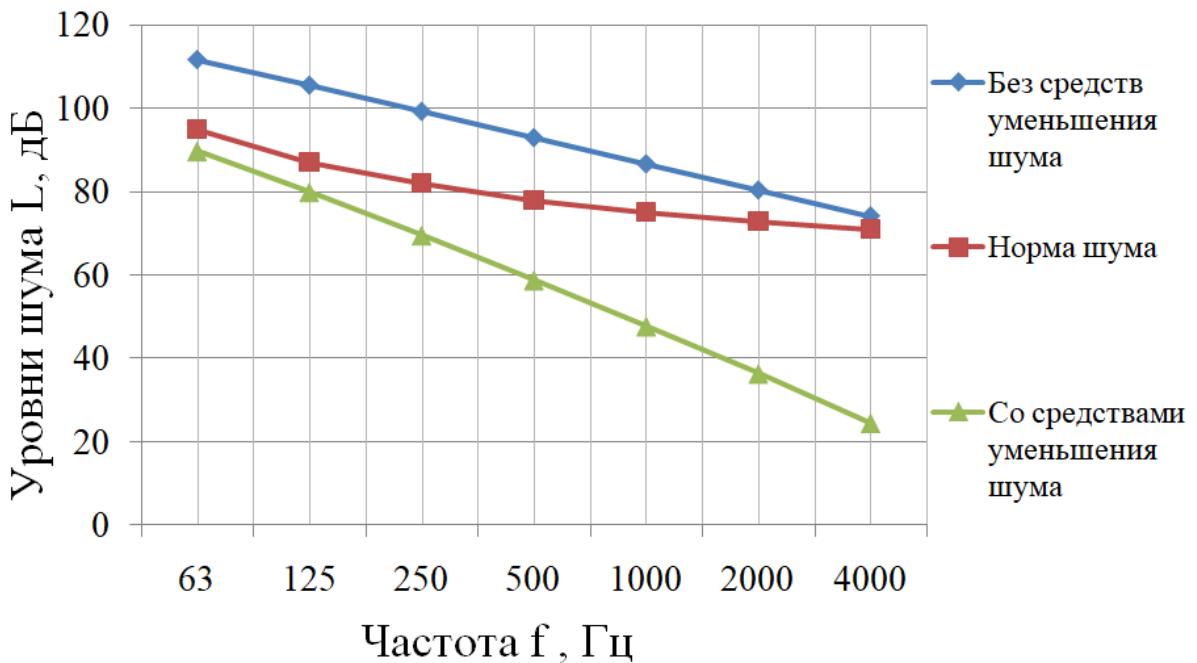


Рисунок 1 - Спектр шума

Расчет резиновых виброизоляторов сводился к определению их площади, рабочей высоты и эффективности виброизоляции. В работе были рассмотрены губчатая и мягкая резины.

Площадь поперечного сечения всех резиновых элементов

$$F = \frac{Q_p}{\sigma} = \frac{9000}{0,8 \cdot 10^5} = 0,1125 \text{ м}^2. \quad (1)$$

Форму резиновых элементов принимаем цилиндрической с диаметром отверстия для крепления  $\varnothing 10$  мм. ( $r=5$  мм).

Тогда радиус наружной поверхности виброизолятора

$$R = \sqrt{\frac{F'_p}{\pi} + r^2} = \sqrt{\frac{0,014}{3,14} + 0,005^2} = 0,067 \text{ м.} \quad (2)$$

$H > 0,45 \cdot R$ , т.е. условие выполняется.

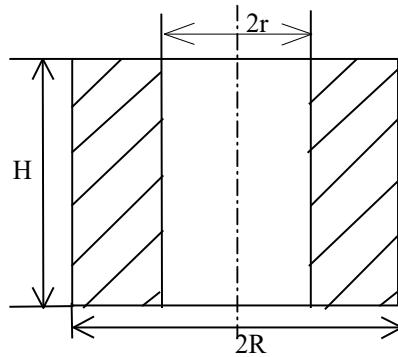


Рисунок 2 - Общий вид резинового виброизолятора

Фактическая статическая осадка резиновых элементов

$$X_{cm}^{\phi} = \frac{Q_p \cdot H}{E_g \cdot m \cdot F_1} = \frac{9000 \cdot 0,336}{5 \cdot 10^6 \cdot 900 \cdot 0,014} = 4,8 \cdot 10^{-5} \text{ м.} \quad (3)$$

Фактическая собственная частота резиновых виброизоляторов

$$f_{\phi_o}^{\phi} = \frac{0,5}{\sqrt{X_{ct}^{\phi}}} = \frac{0,5}{0,007} = 72,2 \text{ Гц.} \quad (4)$$

Для поршневых машин частота вынуждающей силы определяется, Гц,

$$f_{\text{в}} = \frac{nmK}{60} = \frac{2000 \cdot 6 \cdot 2}{60} = 400, \quad (5)$$

где  $n$  – частота вращения коленчатого вала, мин<sup>-1</sup>;  $m$  – число цилиндров;  $K$  – тактность двигателя (для четырехтактного  $K=2$ ).

Коэффициент вибропередачи для резиновых элементов

$$\text{КП} = \frac{1}{\left(\frac{f_{\phi}}{f_o}\right)^2 - 1} = \frac{1}{\left(\frac{400}{72,2}\right)^2 - 1} = 0,034. \quad (6)$$

Эффективность виброизоляции с применением резиновых виброизоляторов

$$\mathcal{E} = (1 - \text{КП}) \cdot 100\% = (1 - 0,034) \cdot 100\% = 97\%. \quad (7)$$

## **Результаты исследования и их обсуждение**

Проведенное исследование подтвердило значительное негативное воздействие производственного шума и вибрации на здоровье работников горнодобывающей отрасли, особенно в условиях длительного стажа работы. Анализ спектрального состава шума экскаватора ZX400LCH-5G показал превышение допустимых уровней, что требует внедрения эффективных защитных мер.

Результаты исследования показали, что применение кожуха и виброзоляторов, в качестве предлагаемого решения, минимизирует влияние вредных производственных факторов, рассмотренных в данной работе. По результатам предложенных корректирующих мероприятий, получено улучшение класса условий труда с вредного (первой и второй степени) до оптимального (класс 2). Результаты исследования подчеркивают необходимость комплексного подхода к охране труда на горнодобывающих предприятиях, включая регулярный мониторинг вредных факторов, использование современных СИЗ и внедрение инженерных методов защиты. Основываясь на проведенных исследованиях и разработанных корректирующих решениях можно сделать вывод о необходимости принятия аналогичных мер по обеспечению повышения безопасности труда работников карьеров, что позволит минимизировать интенсивность воздействия ОВПФ, снизить акустическое загрязнение окружающей среды и обеспечить устойчивое развитие горнодобывающей отрасли.

## **Список литературы**

1. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 N 3 (ред. от 15.11.2024) "Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 2.1.3684-21 "Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий"
2. Фокин В.А., Шляпников Д.М., Редько С.В. Оценка связи заболеваемости профессиональными и профессионально обусловленными заболеваниями с воздействием шума, превышающего предельно допустимые. Медицина труда и промышленная экология. 2018;10:17-9.

3. Madahana, M.C., Nyandoro, O.T., Moroe, N.F. Engineering noise control for mines: Lessons from the world // M. C. Madahana, O. T. Nyandoro, N. F. Moroe // South African Journal of Communication Disorders, 67(2), 2020, С. 684.
4. Николенко В.Ю., Ласткова Н.Д. От локальной вибрации до вибрационной болезни // Международный неврологический журнал. - 2011. - № 1(39). - с. 131-139

### References

1. Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation of January 28, 2021 No. 3 (as amended on November 15, 2024) "On approval of sanitary rules and regulations SanPiN 2.1.3684-21 "Sanitary and epidemiological requirements for the maintenance of the territories of urban and rural settlements, for water bodies, drinking water and drinking water supply, atmospheric air, soils, residential premises, the operation of industrial, public premises, the organization and implementation of sanitary and anti-epidemic (preventive) measures"
2. Fokin V.A., Shlyapnikov D.M., Redko S.V. Assessment Relationships between occupational and occupationally related diseases and noise exposure exceeding maximum permissible levels. Occupational Medicine and Industrial Ecology. 2018;10:17-9.
3. Madahana, M.C., Nyandoro, O.T., Moroe, N.F. Engineering noise control for mines: Lessons from the world // M. C. Madahana, O. T. Nyandoro, N. F. Moroe // South African Journal of Communication Disorders, 67(2), 2020, p. 684.
4. Nikolenko, V.Yu., Lastkova, N.D. From local vibration to vibration disease // International Neurological Journal. - 2011. - No. 1(39). - pp. 131-139