

ISSN 1607-4556 (Print)  
ISSN 2309-6004 (Online)

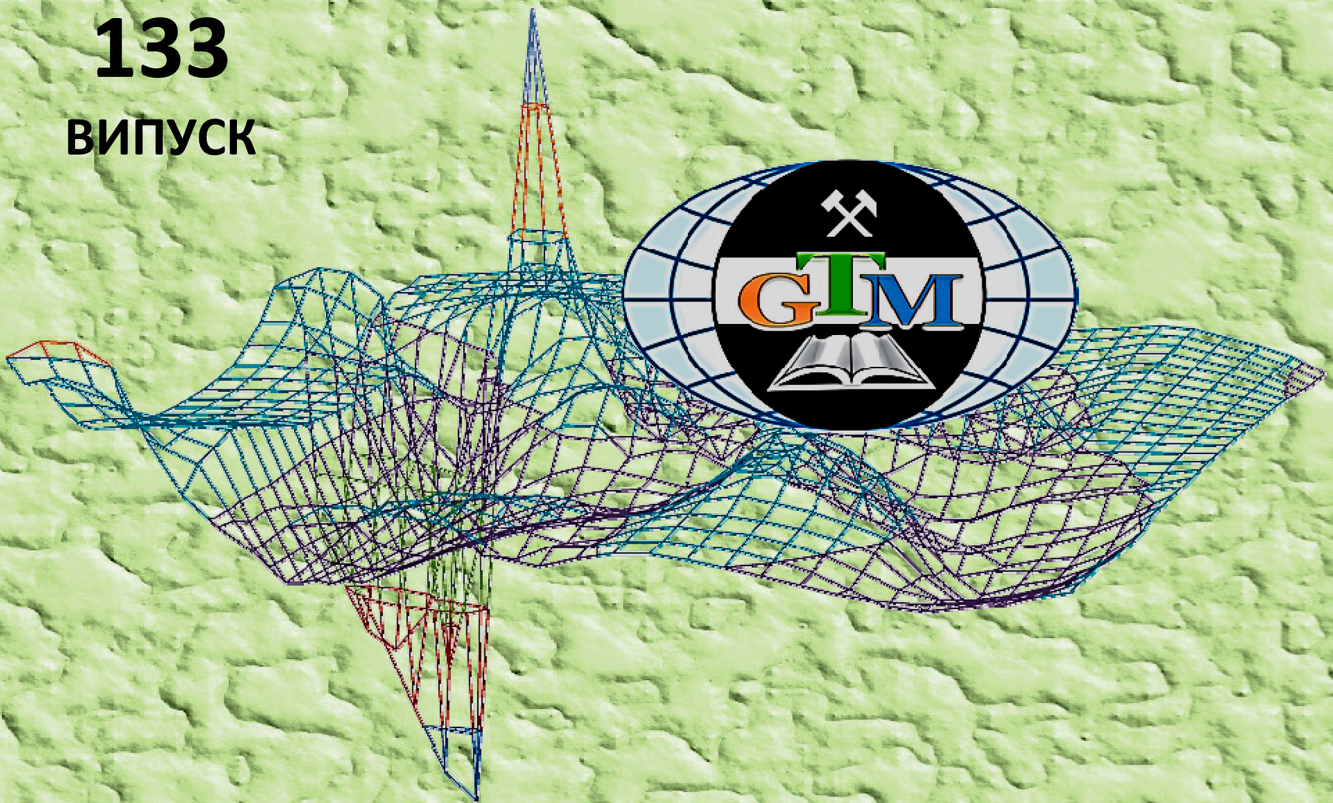


НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ГЕОТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ  
ім. М.С. Полякова

# **ГЕОТЕХНІЧНА МЕХАНІКА**

*Геотехническая механика*  
*Geo-Technical Mechanics*

**133**  
ВИПУСК



Дніпро 2017

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ГЕОТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ  
ім. М.С. Полякова

**Геотехнічна механіка**  
**Геотехническая механика**  
**Geo-Technical Mechanics**

МІЖВІДОМЧИЙ ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Головний редактор академік НАН України А.Ф. Булат

Збірник засновано в 1993 році

Випуск 133

Дніпро • 2017

Затверджено до друку Вченою Радою Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (протокол № 8 від 21.06.2017 року).

**Редакційна колегія:**

головний редактор –	академік НАН України <i>А.Ф. Булат</i> ;
заступники головного редактора –	чл.-кор. НАН України <i>О.І. Волошин</i> ;
	д-р техн. наук <i>О.П. Круковський</i> ;
відповідальний секретар –	д-р техн. наук <i>В.Г. Шевченко</i> .

**Члени редакційної колегії:**

д-р геол. наук *В.А. Баранов*; д-р геол. наук *К.А. Безручко*; д-р техн. наук *Б.О. Блюсс*; д-р техн. наук *Л.М. Васильєв*; д-р геол.-мінерал. наук *П.Ю. Гожик* (Інститут геологічних наук НАН України, директор інституту); д-р техн. наук *В.І. Дирда*; чл.-кор. НАН України *Е.І. Єфремов*; д-р техн. наук *Є.С. Лапшин*; д-р техн. наук *С.П. Мінєєв*; д-р техн. наук *В.П. Надутий*; д-р техн. наук *Т.А. Паламарчук*; д-р геол. наук *Л.І. Пимоненко*; д-р геол. наук *В.Ф. Приходченко* (Державний ВНЗ «Національний гірничий університет» МОН України, зав. кафедри геології та розвідки родовищ корисних копалин); д-р геол. наук *В.С. Савчук* (Державний ВНЗ «Національний гірничий університет» МОН України, професор кафедри геології та розвідки родовищ корисних копалин); д-р техн. наук *Є.В. Семененко*; д-р техн. наук *С.І. Скіпочка*; д-р техн. наук *К.К. Софійський*; д-р техн. наук *М.С. Четверик*; д-р техн. наук *Г.О. Шевченко*; д-р техн. наук *А.О. Яланський*.

**Іноземні члени редакційної колегії:**

д-р техн. наук *С.Д. Вікторов* (Інститут проблем комплексного освоєння надр Російської академії наук, Російська Федерація); д-р геол.-мінерал. наук *Б.І. Журбицький* (Всеросійський науково-дослідний геологорозвідувальний інститут вугільних родовищ, Російська Федерація); д-р техн. наук *Ю.П. Морозов* (Федеральна державна бюджетна освітня установа вищої професійної освіти Уральський державний гірничий університет, Російська Федерація); д-р техн. наук *Л.С. Шамганова* (Інститут гірничої справи ім. Д.А. Кунаєва Національної академії наук Республіки Казахстан, Республіка Казахстан).

Редактор видання (Print)	д-р техн. наук <i>Т.В. Бунько</i>
Редактор видання (Online)	канд. техн. наук <i>І.М. Слащов</i>

У збірнику представлені результати наукових досліджень в галузі динаміки та міцності, механіки еластомерів, безпеки складних технічних систем та проблем стійкого розвитку.

Для наукових працівників, аспірантів та студентів старших курсів вищих учбових закладів України.

Адреса веб-сторінки збірника: [www.geotm.dp.ua](http://www.geotm.dp.ua)

Рецензенти:	<i>Б.О. Блюсс</i> , д-р техн. наук, професор
	<i>В.П. Франчук</i> , д-р техн. наук, професор

## СОДЕРЖАНИЕ CONTENTS

1. **БУЛАТ А.Ф., ДЫРДА В.И., ЛИСИЦА Н.И., НЕМЧИНОВ Ю.И., МАРЬЕНКОВ Н.Г., КОЗУБ Ю.Г., НЕМЧЕНКО В.В., ГОЛУБЬ Л.А.**  
Сейсмоизоляция зданий и сооружений с помощью эластомерных блоков  
**BULAT A.F., DYRDA V.I., LISITSA N.I., NEMCHINOV YU.I., MARYENKOV N.G., KOZUB YU.G., NEMCHENKO V.V., GOLUB L.A.**  
Seismic insulation of buildings and structures with the help of elastomeric blocks ..... 3
2. **ЛОГИНОВА А.А.**  
Определение долговечности резиновых виброизоляторов опорного узла рабочего органа ударно-центробежных дезинтеграторов при старении в условиях агрессивной среды  
**LOGINOVA A.A.**  
Determination of the durability of rubber vibration isolators of the support unit of the working body of shock-centrifugal disintegrators at aging in aggressive environment conditions ..... 14
3. **ПУХАЛЬСКИЙ В.Н., СИНЧУК В.В., БАСАРАБ Н.Н.**  
Добыча и переработка урановой руды в Украине  
**PUHALSKIY V.N., SINCHUK V.V., BASARAB N.N.**  
Production and processing of uranium ore in Ukraine ..... 27
4. **ДЫРДА В.И., ГРЕБЕНЮК С.Н., РЕШЕВСКАЯ Е.С., СОКОЛ С.П., НОВИКОВА А.В.**  
Сжатие тонкослойных резинометаллических элементов  
**DYRDA V.I., GREBENYUK S.N., RESHEVSKAYA E.S., SOKOL S.P., NOVIKOVA A.V.**  
Compression of thin layer rubber-metal elements ..... 34
5. **КОБЕЦ А.С., ДЫРДА В.И., СОКОЛ С.П., ТОЛСТЕНКО А.В.**  
Некоторые проблемы безопасности тяжёлых вибрационных машин с эластомерными элементами  
**KOBETS A.S., DYRDA V.I., SOKOL S.P., TOLSTENKO A.V.**  
Some problems of safety of vibrative machines with elastomeric elements ..... 42
6. **КОБЕЦ А.С., ПУГАЧ А.Н.**  
Обоснование радиуса окружности направляющей кривой носка культиваторной лапы  
**KOBETS A.S., PUNACH A.M.**  
Substantiation of radius of the circle of guide curved of spearhead cultivation claw ..... 50
7. **ДЫРДА В.И., ЛИСИЦА Н.И., КОЗУБ Ю.Г., АГАЛЬЦОВ Г.Н., ЗАБОЛОТНАЯ Е.Ю., ТВЕРДОХЛЕБ Т.Е., ЛИСИЦА Н.Н.**  
Низкочастотная виброизоляция тяжёлых технологических машин с помощью эластомерных элементов  
**DYRDA V.I., LISITSA N.I., KOZUB YU.G., AGALTSOV G.N., ZABOLOTNAYA YE.YU., TVERDOKHLEB T.YE., LISITSA N.N.**  
Low-frequency vibration isolation of heavy technology machines using elastomeric elements ..... 56
8. **КАЛГАНКОВ Є.В.**  
Особливості фрактального аналізу поверхні руйнування гумових футерівок, що працюють в умовах абразивно-втомного зносу  
**KALGANKOV YE.V.**  
Features of fractal analysis of fractured surfaces of the rubber liners, which work in conditions of abrasive and fatigue wear ..... 66

9. **ЦАНДІ І.М., КАЛГАНКОВ Є.В.**  
Захисні футерівки барабанних млинів: сучасний стан та перспективи розвитку  
**TSANIDY I.N., KALGANKOV YE.V.**  
Protective lining of drum mills: modern status and prospects of development ..... 75
10. **ДЫРДА В.И., ЧЕРНИЙ А.А., ТОЛСТЕНКО А.В.**  
Термомеханическая устойчивость эластомерных элементов тяжёлых вибромашин при длительных циклических нагрузках  
**DYRDA V.I., CHERNIY A.A., TOLSTENKO A.V.**  
Thermomechanical stability of elastomer elements of heavy vibromachines under long-term cyclic loading ..... 81
11. **КАЛАШНИКОВ В.А., ГОЛОВКО Л.Г., СТОЙКО А.В., ДЫРДА В.И., ХМЕЛЬ И.В.**  
Дезинтеграция железной руды в шаровых мельницах с резиновой футеровкой  
**KALASHNIKOV V.A., GOLOVKO L.G., STOIKO A.V., DYRDA V.I., KH MEL I.V.**  
Disintegration of iron ore in ball mills with rubber lining ..... 90
12. **ДЫРДА В.И., АГАЛЬЦОВ Г.Н., КОЗУБ Ю.Г., СОКОЛ С.П.**  
Промышленная безопасность в контексте защиты машин и операторов от вибрации и шума  
**DYRDA V.I., AGALTSOV G.N., KOZUB YU.G., SOKOL S.P.**  
Industrial safety in the context of protecting machinery and operators from vibration and noise..... 103
13. **PİŞKİN B., SAĞLAM R.**  
The important role of retrofitting in agricultural machinery: a case study for techniques and applications  
**ПИШКИН Б., САГЛАМ Р.**  
Важность модернизации в сельскохозяйственном машиностроении: тематическое исследование техники и приложений..... 114
14. **КРУКОВСКАЯ В.В., КРУКОВСКИЙ Д.А.**  
Метод расчёта параметров связанных процессов деформирования углепородного массива и фильтрации метана  
**KRUKOVSKAYA V.V., KRUKOVSKIY D.A.**  
Method of calculation parameters of coupled processes of coal-rock massif deformation and methane filtration..... 123
15. **КИРИЯ Р.В., ЛАРИОНОВ Г.И., ПАЗЫНИЧ А.В.**  
Определение дуги сцепления при взаимодействии ленты конвейера с футерованным барабаном  
**KIRIYA R.V., LARIONOV G.I., PAZYNICH A.V.**  
Determination of clutch arrangement at interaction conveyor belt with futer drum..... 136
16. **МИНЕЕВ С.П., КОЧЕРГА В.Н., ЯНЖУЛА А.С., САМОХВАЛОВ Д.Ю., ГУЛАЙ А.А., ГОЛУБ С.Н., ЛИСНЯК С.С.**  
Оценка концентраций индикаторных газов в очистных забоях ШУ «Покровское»  
**MINEYEV S.P., KOCHERGA V.N., YANZHULA A.S., SAMOKHVALOV D.YU., GULAY A.A., GOLUB S.N., LISNYAK S.S.**  
Evaluation of concentration of indicating gases in clearing slaughtering of mine management “Pokrovskoye”..... 148
17. **МИНЕЕВ С.П., ШУБИН В.П., КОСТРИЦА А.А., ЯНЖУЛА А.С., КИРЯКОВ М.А., КРИПЧЕНКО С.В.**  
Современная методология прогноза выбросоопасности песчаников при ведении горных работ на угольных шахтах Украины  
**MINEYEV S.P., SHUBIN V.P., KOSTRITSA A.A., YANZHULA A.S., KIRYAKOV M.A., KRIPCHENKO S.V.**  
Modern methodology of outburst sandstone forecast during mining operations at coal mines of Ukraine ..... 158

18. **МИНЕЕВ С.П., ЯНЖУЛА А.С., КОСТРИЦА А.А., КИРЬЯКОВ М.А., МИНЕЕВ А.С.**  
Особенности применения режима сотрясательного взрывания при проведении горных выработок  
**MINEYEV S.P., YANZHULA O.S., KISHKAN M.A., KIRYAKOV M.A., MINEYEV O.S.**  
Implementation of shock blasting mode in mine working conveying ..... 173
19. **МИНЕЕВ С.П., КОЧЕРГА В.Н., ПРУСОВА А.А., ГОЛОВКО Ю.И., ЯНЖУЛА А.С., ГУЛАЙ А.А.**  
Вопросы оценки эффективности мероприятий для исключения возможности загазирования горных выработок при обрушении пород кровли  
**MINEYEV S.P., KOCHERGA V.N., PRUSOVA A.A., GOLOVKO YU.I., YANZHULA A.S., GULAY A.A.**  
Questions of evaluation of the efficiency of activities to exclude the possibility of stocking mining processes when the roof disturbed ..... 190
20. **ИШКОВ В.В., КОЗИЙ Є.С.**  
Про розподіл токсичних і потенційно токсичних елементів у вугіллі пласта с10в шахти «Дніпровська» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району Донбасу  
**ISHKOV V.V., KOZIY E.S.**  
About peculiarities of distribution of toxic and potentially toxic elements in the coal of the layer с10в of the Dneprovskaya mine of Pavlogradsko-Petropavlovskiy geological and industrial district of Donbass ..... 213
21. **БУЛАТ А.Ф., БУНЬКО Т.В., КОКОУЛИН И.Е., ЯЩЕНКО И.А.**  
Критерии использования матрицы рисков при совершенствовании системы управления производством и охраной труда на угольных шахтах  
**BULAT A.F., BUNKO T.V., KOKOULIN I.YE., YASHCHENKO I.A.**  
Criteria of use matrix of risks at perfection of control system by production and labour protection on coal mines ..... 228
22. **ЯЛАНСКИЙ А.А., СЛАЩЕВ А.И., СЕЛЕЗНЕВ А.М.**  
Исследование способов борьбы с пучением почвы в горных выработках методом конечных элементов  
**YALANSKIY A.A., SLASHCHEV A.I., SELEZNEV A.M.**  
Study of methods for controlling the floor swelling In the mine workings with the help of finite-element methods ..... 239
23. **НАУМЕНКО М.М., СОКОЛ С.П., ФІЛІПЕНКО Д.В., ГУРІДОВА В.О.**  
Математична модель руху зернової суміші в циліндричному решеті, що обертається навколо осі  
**NAUMENKO M.M., SOKOL S.P., FILIPENKO D.V., GURIDOVA V.A.**  
Mathematical model of the grain mix in a cylindrical grid rotating around the axis ..... 250

УДК 678.4.06

**Дырда В.И.**, д-р техн. наук, профессор,  
**Агальцов Г.Н.**, инженер  
 (ИГТМ НАН Украины),  
**Козуб Ю.Г.**, канд. техн. наук, доцент  
 (ЛНУ ім. Тараса Шевченка),  
**Сокол С.П.**, канд. техн. наук  
 (ДГАЭУ),

### **ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В КОНТЕКСТЕ ЗАЩИТЫ МАШИН И ОПЕРАТОРОВ ОТ ВИБРАЦИИ И ШУМА\***

**Дирда В.І.**, д-р техн. наук, професор,  
**Агальцов Г.М.**, інженер  
 (ІГТМ НАН України),  
**Козуб Ю.Г.**, канд. техн. наук, доцент  
 (ЛНУ ім. Тараса Шевченка),  
**Сокол С.П.**, канд. техн. наук  
 (ДДАЕУ),

### **ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА В КОНТЕКСТІ ЗАХИСТУ МАШИН І ОПЕРАТОРІВ ВІД ВІБРАЦІЇ І ШУМУ**

**Dyrda V.I.**, D. Sc. (Tech.), Professor,  
**Agaltsov G.N.**, M. S. (Tech.)  
 (IGTM NAS of Ukraine),  
**Kozub Yu.G.**, Ph. D. (Tech.), Associate Professor  
 (LTSNU),  
**Sokol S.P.**, Ph. D. (Tech.)  
 (DSAEU),

### **INDUSTRIAL SAFETY IN THE CONTEXT OF PROTECTING MACHINERY AND OPERATORS FROM VIBRATION AND NOISE**

**Аннотация.** Рассматриваются важные проблемы промышленной безопасности на горных предприятиях в контексте защиты машин и операторов от вибрации и шума. Вибрация является одной из основных причин разрушения машин, оборудования, зданий и сооружений, она уменьшает долговечность и надёжность машин, нарушает режим их работы, ухудшает технологический процесс. Вибрация и шум оказывают вредное воздействие на человека-оператора, на его физиологическое и психологическое состояние; вибрационная патология стоит на втором месте (после пылевых) среди профессиональных заболеваний. Рассматриваются приоритетные научные направления по проблеме обеспечения безопасности машин и сооружений: развитие методов и критериев оценки безопасности и риска; разработка и развитие методов защиты критически важных объектов от приоритетных техногенных аварий и катастроф; разработка многокритериальных подходов к проблеме безопасности; разработка методов и средств защиты обслуживающего персонала, машин и оборудования, зданий и сооружений от действия интенсивных вибрационных нагрузок с использованием эластомерных элементов. Одним из направлений решения этой проблемы является разработка принципов выбора параметров вибрационных систем. Рассматриваются также методы оценки безопасности горных машин с учётом риска техногенных аварий. Приведены критерии вибробезопасности машин, которые включают два аспекта: во-первых, обеспечение эффективности виброзащиты и во-

\* © Дырда В.И., Агальцов Г.Н., Козуб Ю.Г., Сокол С.П., 2017

вторых, соответствие долговечности конкретного объекта. Эффективность виброзащиты определяется по следующему принципу: частота собственных колебаний объекта должна в 3-5 раз отличаться от частоты нижнего порога спектра частот возбуждающих сил, что является достаточным для предотвращения резонансных явлений. Вторым аспектом критерия вибробезопасности связан непосредственно со сроком эксплуатации машин и сооружений.

**Ключевые слова:** промышленная безопасность, критически важные объекты, вибрация, шум, методы оценки вибробезопасности, критерии вибробезопасности.

## 1. Некоторые проблемы промышленной безопасности

Концепция перехода Украины к устойчивому развитию предусматривает технологическую модернизацию производства, разработку систем мероприятий по повышению уровня техногенной безопасности, внедрение в производство новых средств повышения безопасности и их контроля.

Наличие в Украине развитой тяжёлой горно-металлургической промышленности, сверхвысокая её концентрация в отдельных регионах, большие промышленные комплексы, большинство из которых потенциально опасны, концентрация на них агрегатов и установок большой и сверхбольшой мощности – вибрационных грохотов, дробилок, мельниц, вентиляторов, смесителей, окомкователей и других машин, большое количество энергетических объектов, использование в производстве значительных количеств потенциально опасных веществ – всё это увеличивает вероятность возникновения техногенных чрезвычайных ситуаций, которые содержат в себе угрозу для человека, экономики и окружающей среды.

Наиболее тяжёлое состояние техногенной безопасности на предприятиях горнодобывающей и обогатительной отраслей, которые характеризуются большой изношенностью оборудования и его малым остаточным ресурсом.

Технический прогресс в горном производстве в первую очередь связан с ростом интенсивности действия неблагоприятных факторов – рост вибраций, шума, ударных нагрузок, пыли и т.д. Так, отставание показателей динамического качества машин при росте их производительности привело к тому, что 70 % рабочих мест не удовлетворяют требованиям санитарно-гигиенических норм по шуму и вибрациям. По количеству заболеваний, связанных с вибрацией, добывающие отрасли занимают одно из ведущих мест, а виброзаболеваемость прогрессирует среди многих видов профессиональных заболеваний. Поэтому разработка и внедрения средств по снижению вибрационной нагрузки имеет большое социальное значение.

Проблема безопасности даже одной машины может перерасти в проблему безопасности и устойчивого развития предприятия. Об этом свидетельствуют примеры многих аварий, в том числе и на горно-металлургических предприятиях, когда вследствие вибрационных перегрузок, усталости некоторых узлов машин, разрушения ответственных элементов сложных динамических систем случались серьёзные аварии, приводящие к гибели людей и загрязнению окружающей среды.

Современное горное оборудование должно иметь не только высокие показатели эффективности (высокую производительность, низкие энергозатраты), но и низкий уровень техногенной и экологической опасности. Но этот показатель



не всегда можно снизить, так как в оборудовании возникают процессы, при которых образовывается или тратится большое количество энергии.

Наибольшую опасность в техногенной сфере представляют аварии на предприятиях горной промышленности, где люди и машины работают в экстремальных условиях.

Это связано, прежде всего, со спецификой труда горнорабочих, низкой надёжностью оборудования, высокой степенью риска как техногенного характера (отказ оборудования, энергоснабжения, вентиляции, возможность возникновения пожара и т.д.), так и природного характера (взрыв метана, выбросы горной породы, обрушение кровли, сильные морозы, затопление, ураганы и т.д.).

Одной из причин возрастания количества аварий на Украине есть увеличение доли устаревших технологий и износа основных фондов. К таким отраслям относится горно-металлургическая промышленность Украины, которая насыщена сложными системами устаревших типов, износ которых значителен и поэтому имеет высокую степень риска. К таким машинам относятся: рудоразмольные мельницы различного технологического назначения, дробилки, виброгрохоты, вибропитатели, окомкователи-смесители, вихревые смесители, дымососы, вентиляторы и др. Машины такого типа имеют большую массу (10-300 т), большой объём крупнокускового материала, имеютдвигающиеся неуравновешенные массы, устанавливаются на перекрытиях, конструктивно сами являются источником вибрации. Все эти машины вместе с инфраструктурой других технических средств, управляемых человеком, составляют сложные человеко-машинные системы. Эти системы вследствие объективных причин имеют низкий уровень надёжности, а расположение их в зонах большой концентрации населения резко повышает опасность технических и природно-техногенных аварий и катастроф. Отказ одной такой машины можно рассматривать как техногенную аварию, приводящую к остановке технологической цепи и экономическим потерям. Но уже отказ группы таких машин может привести к техногенной катастрофе.

К факторам риска таких машин относятся:

- постоянно и длительно действующие вибрационные нагрузки, вызванные работой технологического оборудования, которые приводят к разрушению самих машин, фундаментов, несущих колонн и других инженерных сооружений; состояние значительно ухудшается наличием активной внешней среды;
- интенсивный абразивный износ (футеровка рудоразмольных мельниц), приводящий к частым заменам футеровки рабочей части барабанов, к их разрушению и разрушению приводов барабанов;
- интенсивное звуковое влияние (шумовое загрязнение), приводящее к травматизму рабочих.

Вибрация, сопутствующая работе любой вибрационной машины, оказывает вредное воздействие на человека и, прежде всего, на человека-оператора, обслуживающего такую технику. Защита от вибраций – одна из важнейших научно-технических проблем, решить которую можно только изучив всю систему «человек – машина – обрабатываемая среда» («ч-м-ос»).

Специфичность объекта и предмета безопасности определяется объективной сложностью системы «ч-м-ос», обусловленной наличием в её составе нескольких самих по себе сложных и взаимосвязанных компонентов, целенаправленностью или стохастичностью поведения отдельных из них. Последняя особенность связана с тем, что такие компоненты, как человек и машина могут вести себя самым неожиданным образом, вследствие случайных воздействий внешней среды, чрезвычайной нестабильности собственных параметров. Неопределённость усугубляется и тем, что выходные характеристики одних компонентов рассматриваемой системы являются для других входными воздействиями.

Исходя из сложности современных человеко-машинных систем и комплексов, многоаспектности их воздействия на окружающую среду, большой продолжительности создания и эксплуатации их, огромного многообразия влияющих на безопасность факторов, для обеспечения и повышения их безопасности необходимо использовать программно-целевые методы.

Решение проблемы усугубляется не только её сложностью, но и целым рядом факторов научного и социального значения. Рассмотрим основные из них, акцентируя внимание на безопасности критически важных объектов (КВО).

1. К КВО обычно относят предприятия горно-металлургической промышленности (шахты, рудники, обогатительные предприятия, металлургические заводы, предприятия по переработке цветных руд, цемента и т.д.), сооружения и здания, находящиеся в области сейсмоактивности, воздействия взрывов и вибрационного воздействия; машины и комплексы с интенсивным динамическим нагружением и т.д. Всем этим машинам и сооружениям свойственны низкочастотные колебания большой интенсивности: частота низкочастотных колебаний обычно находится в пределах (0,2-25) Гц; наиболее опасные для здоровья человека-оператора частота – (0,2-50) Гц.

2. Проблема безопасного функционирования КВО, инфраструктуры и обслуживающего персонала является актуальной не только для Украины, стран СНГ, но и для развитых стран зарубежья.

3. Страны СНГ приняли Межгосударственную программу общих научных исследований в области чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера на период до 2020 года.

4. Безопасность КВО обеспечивается анализом процессов её функционирования, мониторингом состояния, моделированием и оценкой рисков отказов, оценкой ущерба, разработкой эффективных стратегий безопасности.

Анализ тенденций развития КВО показывает, что риск аварий в результате прямого воздействия неблагоприятных факторов, в будущем будет возрастать. Данная проблема усложняется отсутствием единого комплексного подхода к оценке безопасности КВО. Каждая область человеческой деятельности оперирует своим инструментарием и понятийным аппаратом анализа безопасности. Различия в понимании проблемы приводят к разнообразию методов, применяемых для оценки безопасности КВО.

5. Критически важные объекты могут существовать отдельно, но обычно они входят как составляющие в сложные технические системы.

Систематические исследования в области надёжности и безопасности сложных технических систем (СТС) начали проводиться во всём мире в последние 30-40 лет. Сначала они касались только аэрокосмической и атомной областей промышленности, но в последние годы охватывают химическую промышленность, горно-металлургическую, угольную, транспорт и др. виды деятельности, содержащие опасности для общества. В настоящее время теория безопасности и надёжности СТС представляет собой далеко продвинутовую область науки, основанной на мощном и разнообразном математическом аппарате. Применение в широких пределах компьютерной техники позволит в ближайшем будущем распространить использование методов теории надёжности и безопасности на всё более широкие слои инженеров, конструкторов и проектировщиков.

6. В целом методы исследований, применяемые в теории безопасности и теории надёжности, очень сходны между собой и фактически неразделимы. Эти теории отличаются скорее целями, чем используемыми средствами. Теория надёжности имеет целью обеспечение работоспособности систем, а теория безопасности нацелена на максимально возможное устранение технических опасностей. Поскольку безопасная СТС должна быть надёжной, то можно считать, что проблема обеспечения надёжности есть составная часть проблемы безопасности.

7. Из анализа всей имеющейся литературы по надёжности и безопасности сложных технических систем следует, что наиболее обоснованным, плодотворным и перспективным направлением в решении этой проблемы является подход, основанный на анализе риска, а чтобы обеспечить эффективность безопасности, необходимо его дополнить теорией управления безопасностью, основанной на оптимальном сочетании технологий предупреждения (минимизации) и технологий устранения последствий от аварии.

Эффективное управление безопасностью в этом случае достигается минимизацией общих затрат и их оптимальным перераспределением между технологией предупреждения катастрофы и технологией устранения её негативных последствий при условии, что совместно обе технологии обеспечивают стабильность (предельно допустимый риск).

8. Приоритетными научными разработками по проблеме обеспечения безопасности и защиты населения, среды и объектов от естественных и техногенных катастроф, являются:

- развитие методов и критериев оценки безопасности и риска, как в техногенной, так и в природно-техногенной сфере;
- разработка и развитие интегральных методов защиты от природно-техногенных аварий и катастроф, с учётом возможности технологического терроризма;
- разработка и развитие научно-методической базы на основе многокритериальных подходов теории безопасности.

9. В настоящее время среди наиболее распространённых причин аварий и катастроф можно с большой уверенностью назвать вредные вибрации техногенного и природно-техногенного характера (сейсмические возбуждения являются одним из случаев вибрационных нагрузок). В первую очередь это имеет отношение к КВО предприятий горно-металлургической промышленности, где в 2-3 раза превышены санитарно-технические нормы.

10. Одним из направлений решения проблемы защиты обслуживающего персонала, машин, оборудования, фундаментов и строительных конструкций от действия вибрационных нагрузок большой интенсивности, в том числе при низкочастотных спектрах их действия является разработка принципов выбора параметров виброзащитных систем с использованием эластомерных (резиновых и резинометаллических) элементов при конструировании таких систем.

## **2. Защита машин и операторов от вибрации и шума**

Одной из проблем современного горно-металлургического производства является борьба с вредным воздействием шума и вибраций на оборудование, строительные конструкции, на здоровье и работоспособность обслуживающего персонала [1].

Производственная вибрация выступает как вредное явление, прежде всего по отношению к самим машинам – её источникам, так как интенсифицирует износ, снижает их надёжность и долговечность, повышает уровни излучаемого шума. В этой связи по интенсивности вибрации принято судить о качестве машины, её техническом состоянии. Распространяясь по конструкциям и грунту, вибрация воздействует на другие объекты, вызывает разрушения строительных конструкций, ухудшает работу приборов, точных станков. И, наконец, в случае контакта человека с вибрирующими поверхностями возникает ряд новых специфических проблем, обусловленных отрицательным влиянием вибрации на здоровье и работоспособность людей.

Систематическое воздействие вибрации на работающих приводит к повышению утомляемости, снижению производительности и качества их труда, а также к развитию профессионального заболевания, именуемого вибрационной болезнью.

Общая вибрация передаётся через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека. Она вовлекает в колебательный процесс всё тело человека, когда оператор выполняет работу сидя или стоя, находясь непосредственно на вибрирующих поверхностях машин, агрегатов или в непосредственной близости от них на вибрирующих фундаментах или участках пола.

Локальная вибрация передаётся человеку через руки. Она возникает при использовании ручных машин, при контакте рук рабочего с вибрирующими поверхностями.

Производственная вибрация, имея широкий частотный диапазон (от десятых долей до нескольких тысяч Гц) колебаний, воздействует посредством раздражения периферических нервных окончаний в местах контакта, вызывая изменение как физиологического, так и функционального состояния организма человека.

Действие вибрации на человека становится особенно опасным, если частота колебаний приближается к собственной частоте колебаний человеческого тела (5 Гц). При воздействии вибрации на тело человека в разных положениях можно представить в виде кинематически изменяемой системы, отдельные части которой имеют свои собственные частоты колебаний: 4-6 Гц – плечевой пояс, бедра и голова (в положении стоя); 4-8 Гц – брюшная полость; 20-30 Гц – голова

(в положении сидя). Внутренние органы имеют собственную частоту колебаний, которая находится в диапазоне 6-9 Гц. Вертикальная составляющая вибрации неблагоприятна для людей, работающих сидя, а горизонтальная – для работающих стоя.

Ухудшение зрительного восприятия происходит под действием вибраций в диапазоне 25-40 Гц и 60-90 Гц.

Между ответными реакциями организма и уровнем воздействующей вибрации нет линейной зависимости. Причину этого явления видят в резонансном эффекте. Резонанс человеческого тела, отдельных его органов наступает под действием внешних сил при совпадении собственных частот колебаний внутренних органов с частотой внешних сил.

Сроки развития расстройств зависят не столько от уровня, сколько от дозы (эквивалентного уровня) вибрации в течение рабочей смены. Преимущественное значение имеет время непрерывного контакта с вибрацией и суммарное время воздействия вибрации за смену.

Гигиеническое нормирование вибраций регламентируют государственные санитарные нормы производственной общей и локальной вибрации ДСН 3.3.6.039-99, разработанные и утверждённые МОЗ Украины в 2000 году [2].

Государственные санитарные нормы подготовлены с учётом современных научных исследований, а также с учётом ранее действующих нормативно-методических документов.

ДСН 3.3.6.039-99 обязательны для исполнения согласно закону Украины «Про охрану труда» и «Про обеспечение санитарного и эпидемиологического благополучия населения Украины».

Разграничивают вибрацию на опасную и безопасную научно-обоснованные предельно допустимые значения её параметров, которые и составляют гигиенические нормы вибрации. Если параметры вибрации на рабочем месте не превышают установленные нормативные уровни в течение рабочей смены, то условия труда характеризуются как вибробезопасные; если имеет место превышение норм – возникает виброопасная ситуация.

Гигиенической характеристикой вибрации являются нормируемые параметры, выбранные в зависимости от принятого метода её оценки. Этими параметрами являются средние квадратичные значения виброскорости  $V$  (и их логарифмические уровни  $L_V$ ) или виброускорения в октавных или третьоктавных полосах.

Для общей и локальной вибрации зависимость допустимого значения виброскорости от времени фактического воздействия вибрации, не превышающего 480 мин (восьмичасовой рабочий день), определяется по формуле:

$$V_f = V_{480} \sqrt{480/T},$$

где  $V_{480}$  – допустимое значение виброскорости для длительности воздействия 480 мин.

ДСН 3.3.6.039-99 [2] устанавливает три метода оценки вибрации, воздействующей на человека в производственных условиях:

- частотный (спектральный) анализ нормируемого параметра;
- интегральная оценка по частоте нормируемого параметра;
- по дозе вибрации.

Вибрацию, воздействующую на человека, нормируют отдельно для каждого установленного направления  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , исходя из длительности воздействия 480 мин (8 ч). Ось  $X$  – в направлении от спины к груди, ось  $Y$  – от правого плеча к левому,  $Z$  – вертикально, вдоль туловища.

Основными параметрами вибрации являются:

- амплитуда виброперемещения  $x_m$ , м;
- виброскорость  $V_m$ , м/с;
- виброускорение  $a_m$ , м/с<sup>2</sup>;
- период колебаний  $T$ , с;
- частота колебаний  $f$ , Гц (с<sup>-1</sup>).

В силу специфических свойств органов чувств определяющим при оценке воздействия вибрации являются действующие значения вышеперечисленных параметров. Так, действующее значение виброскорости есть среднеквадратичное мгновенных значений скорости  $V(t)$  за время усреднения  $t_y$ , которое выбирают с учётом характера изменения виброскорости во времени:

$$V_y = \sqrt{\frac{1}{t_y} \int_t^{t+t_y} V^2(t) dt}.$$

При логарифмической оценке уровень виброскорости определяется по формуле:

$$L_v = 10 \lg(V^2/V_0^2) = 20 \lg(V_y/V_0),$$

где  $V_y$  – усреднённое значение виброскорости в соответствующей полосе частот;  $V_0$  – опорное значение виброскорости, равное  $5 \cdot 10^{-8}$  м/с, международная стандартная величина.

Уровень виброускорения определяется выражением:

$$L_a = 20 \lg(a/10^{-6}).$$

Выбор метода нормирования определяется поставленными задачами анализа вибрационного воздействия на работающих, наличием соответствующей аппаратуры, выбором средств виброзащиты. Причём метод спектрального анализа является универсальным, так как позволяет аналитически переходить к методам одночисловой оценки. Интегральный и дозовый методы удобнее использовать для оперативного контроля условий труда, оценки их виброопасности.

Проблема защиты от вибрации существует практически на каждом предприятии. Её успешное решение во многом зависит от умелого использования приёмов управления колебательными процессами, возникающими в машинах, реализации эффективных способов и средств виброзащиты. Работа в этом направлении требует комплексного системного подхода на всех этапах проектирования, производства и эксплуатации машин и агрегатов.

Метод защиты – снижение параметров вибрации на пути её распространения от источника возбуждения путём использования виброизоляторов.

**Шумовое загрязнение.** Шум оказывает воздействие на физическое и психологическое состояние человека. При повышении уровня шума у человека возникают: временное или постоянное ухудшение слуха, возбуждение нервной системы, развитие сердечно-сосудистых заболеваний, гипертония и т.п. В качестве единицы измерения используется уровень шума в децибелах (дБ) с коррекцией по шкале «А» стандартного шумомера при логарифмическом осреднении за годовое (ночное) время. Различают две категории шума и источников шума: 1 – проникающие в помещение звуки, источники которых находятся вне рассматриваемого объекта недвижимости; к числу таких источников шума относятся транспорт, шумящие агрегаты и установки производственных предприятий; 2 – звуки, проникающие в отдельные помещения рассматриваемого объекта недвижимости от источников, находящихся в том же здании (шум лифтов и другого инженерного оборудования).

Шум с уровнем звукового давления до (30...35) дБ привычен для человека и не беспокоит его. Повышение этого уровня до (40...70) дБ в условиях среды обитания создаёт значительную нагрузку на нервную систему, вызывая ухудшение самочувствия и при длительном действии, может быть причиной неврозов. Воздействие шума уровнем свыше 75 дБ может привести к потере слуха – профессиональной тугоухости. При действии шума высоких уровней (более 140 дБ) возможен разрыв барабанных перепонок и контузия.

### **3. Методы оценки безопасности горных машин с учётом риска техногенных аварий**

Одним из направлений решения проблемы защиты обслуживающего персонала, машин, оборудование, фундаментов и строительных конструкций от действия вибрационных нагрузок большой интенсивности, в том числе при низкочастотных спектрах их действия есть разработка принципов выбора параметров виброзащитных систем с использованием резиновых и резинометаллических элементов.

**Методы повышения вибробезопасности машин и сооружений.** Анализ существующих методов виброзащиты свидетельствует, что наиболее эффективным есть метод виброизоляции на базе эластомерных элементов конструкций. Такой подход принят за основу при разработке методов повышения безопасности тяжёлых горных машин и обслуживающего персонала от действия интенсивных вибраций.

**Критерии вибробезопасности машин и сооружений.** Критерии вибробезопасности машин и сооружений должны включать два аспекта: во-первых, обеспечивать эффективность виброзащиты; во-вторых, соответствовать долговечности конкретного объекта.

Эффективность виброзащиты определяют с помощью методов теории колебаний. Её основной принцип заключается в том, что частота собственных колебаний  $\omega_{соб}$  в несколько (3-5) раз отличается от частоты  $\omega_n$  нижнего порога спектра частот возбуждающих сил. Это условие есть необходимым и достаточным

условием предотвращения резонансных явлений, которые обуславливают аварийные ситуации, разрушение машин и сооружений. Математическим выражением этого условия есть

$$\omega_{\text{соб}} \leq \omega_{\text{кр}}, \quad \omega_{\text{кр}} = \omega_n / k, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент, который определяет эффективность виброизоляции с учётом санитарно-гигиенических норм, предназначения объекта и др.

Второй аспект критерия вибробезопасности связан с надёжностью систем виброзащиты, в частности со сроком эксплуатации систем, несущей способностью и прочностью эластомерных элементов, их долговечностью.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дырда, В.И. Защита машин, оборудования и обслуживающего персонала от вредного воздействия производственной вибрации / В.И. Дырда, Н.И. Лисица, Т.Е. Твердохлеб, Е.Ю. Заболотная, Г.Н. Агальцов, А.В. Гончаренко // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2009. – Вып. 84. – С. 23-29.

2. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації: ДСН 3.3.6.039-99. – [Чинний від 1999-12-01] / О.О. Меньшов, В.І. Чернюк, В.І. Назаренко, М.Г. Карнаух [та ін.]. – Офіц. вид. – К.: МОЗ України, 2000. – 39 с. – (Нормативний документ МОЗ України. Державні санітарні норми).

### REFERENCES

1. Dyrda, V.I, Lisitsa, N.I., Tverdokhle, T.Ye., Zabolotnaya, Ye.Yu., Agaltsov, G.N. and Goncharenko, A.V. (2009), "Protection of machines, equipment and maintenance personnel from the harmful effects of industrial vibration", *Geo-Technical Mechanics*, no. 84, pp. 23-29.

2. Ministry of Health of Ukraine. The main sanitary-epidemiological control (1999), *DSN 3.3.6.039-99. Derzhavni sanitarni normy vyrobnychoi zagalnoi ta lokalnoi vibratsii*: [SSN 3.3.6.039-99. State sanitary norms of production of general and local vibration], Ministry of Health of Ukraine. The main sanitary-epidemiological control, Kyiv, Ukraine.

### Об авторах

**Дырда Виталий Илларионович**, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом механики эластомерных конструкций горных машин, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепр, Украина, vita.igtm@gmail.com

**Агальцов Геннадий Николаевич**, инженер, младший научный сотрудник отдела механики эластомерных конструкций горных машин, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепр, Украина, ag.gena@gmail.com

**Козуб Юрий Гордеевич**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологий производства и профессионального образования, Луганский национальный университет им. Тараса Шевченко (ЛНУ им. Тараса Шевченко), Луганск, Украина, kosub@rambler.ru

**Сокол Сергей Петрович**, канд. техн. наук, старший преподаватель Днепропетровского государственного аграрно-экономического университета (ДГАЭУ), Днепр, Украина, info@dsau.dp.ua

### About the authors

**Dyrda Vitaly Illarionovich**, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Professor, Head of Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, vita.igtm@gmail.com

**Agaltsov Gennady Nikolaevich**, Master of Science, Junior Researcher of Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, ag.gena@gmail.com

**Kozub Yuriy Gordeyevich**, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor, Associate Professor in Department of Technology of Production and Trade Education, Taras Shevchenko National University of Lugansk (LNU), Lugansk, Ukraine, kosub@rambler.ru

**Sokol Sergey Petrovich**, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior Teacher of Dnepropetrovsk State Agrarian and Economic University (DSAEU), Dnipro, Ukraine, info@dsau.dp.ua



**Анотація.** Розглядаються важливі проблеми промислової безпеки на гірничих підприємствах в контексті захисту машин і операторів від вібрації і шуму. Вібрація є однією з основних причин руйнування машин, устаткування, будівель і споруд, вона зменшує довговічність і надійність машин, порушує режим їх роботи, погіршує технологічний процес. Вібрація і шум шкідливо впливають на людину-оператора, на його фізіологічне і психологічний стан; вібраційна патологія стоїть на другому місці (після пилових) серед професійних захворювань. Розглядаються пріоритетні наукові напрямки з проблеми забезпечення безпеки машин і споруд: розвиток методів і критеріїв оцінки безпеки і ризику; Розробка та розвиток методів захисту критично важливих об'єктів від пріоритетних техногенних аварій і катастроф; розробка багатокритеріальних підходів до проблеми безпеки; розробка методів і засобів захисту обслуговуючого персоналу, машин і устаткування, будівель і споруд від дії інтенсивних вібраційних навантажень з використанням еластомерних елементів. Одним з напрямків вирішення цієї проблеми є розробка принципів вибору параметрів вібраційних систем. Розглядаються також методи оцінки безпеки гірничих машин з урахуванням ризику техногенних аварій. Наведено критерії вібробезпечного машин, які включають два аспекти: по-перше, забезпечення ефективності віброзахисту і подруге, відповідність довговічності конкретного об'єкта. Ефективність віброзахисту визначається за наступним принципом: частота власних коливань об'єкта повинна в 3-5 разів відрізнятись від частоти нижнього порога спектра частот збуджуючих сил, що є достатнім для запобігання резонансних явищ. Другий аспект критерію вібробезпечного пов'язаний безпосередньо з терміном експлуатації машин і споруд.

**Ключові слова:** промислова безпека, критично важливі об'єкти, вібрація, шум, методи оцінки вібробезпечного, критерії вібробезпечного.

**Abstract.** Important problems of industrial safety in mining enterprises are considered in context of protecting machines and operators against vibration and noise. Vibration is one of the main reasons of machine, equipment, building and structure destruction, it reduces their service life and reliability, disrupts their operation and technological process. Vibration and noise harmfully affect the human organism and physiological and psychological state of operators. Vibration pathology ranks the second (after dust) among the occupational diseases. The considered priority scientific directions on solving the problem of ensuring safety for the machines and structures are as follows: development of methods and criteria for assessing safety and risk; creation and development of methods for protecting crucially important facilities against the greatest man-caused accidents and disasters; development of multi-criteria approaches to the problem of security; development of methods and means for protecting maintenance personnel, machinery and equipment, buildings and structures against the effects of intensive vibration loads by using elastomeric elements. One of the directions of solving this problem is development of principles for choosing proper parameters for the vibration systems. Methods for assessing mining machine safety with taking into account risk of man-caused accidents are also considered. The criteria for the machine vibration safety are given in terms of two aspects: first, ensured effective vibration protection and, secondly, correspondent service life of a particular facility. Effectiveness of vibration protection is determined by the following principle: frequency of natural oscillations of the object should differ by 3-5 times from the frequency of the lower threshold of the frequency spectrum of the exciting forces: such rate is sufficient for preventing resonant phenomena. The second aspect of the vibration safety criterion directly relates to the machine and structure service life.

**Key words:** industrial safety, critical objects, vibration, noise, methods of vibration safety assessment, vibration safety criteria

*Статья поступила в редакцию 30.05.2017*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук В.П. Надутым*