

УДК 678.4.06:621.81

**А.Ф. Булат**, академик НАН Украины, д-р техн. наук, профессор,**В.И. Дырда**, д-р техн. наук, профессор

(ИГТМ НАН Украины)

**А.И. Хохотва**, магистр

(Государственная служба горного надзора

и промышленной безопасности Украины)

**ЭЛАСТОМЕРЫ В УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ВОПРОСЫ  
БЕЗОПАСНОСТИ****А.Ф. Булат**, академік НАН України, д-р техн. наук, професор,**В.І. Дирда В.І.**, д-р техн. наук, професор

(ІГТМ НАН України)

**А.І. Хохотва**, магістр

(Державна служба гірничого нагляду

і промислової безпеки України)

**ЕЛАСТОМЕРИ У ВУГІЛЬНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ. ПИТАННЯ БЕЗПЕКИ****A.F. Bulat**, Acad. NASU, D.Sc. (Tech.), Professor,**V.I. Dyrda**, D.Sc. (Tech.), Professor

(IGTM NAS of Ukraine)

**A.I. Khokhotva**, M.s. (Tech.),

(The State Service of Mining Supervision

and Industrial Safety of Ukraine)

**ELASTOMERS IN COAL INDUSTRY. SAFETY PROBLEMS**

**Аннотация.** Рассматривается проблема применения эластомерных материалов в угольной промышленности в контексте создания новых высокоэффективных машин, отвечающих современным технологиям добычи, переработки и обогащения минерального сырья, в частности углей. Отмечаются особые свойства эластомеров – способность к большим обратимым деформациям и высокие диссипативные свойства, что делает их ценным конструкционным материалом для таких изделий, как: шины, катки, транспортерные ленты, виброизоляторы, защитные футеровки, упругие звенья и т.д. Рассматриваются основные достижения в области механики эластомеров, тенденции развития конструкций современных машин с эластомерными элементами; изложены перспективы развития применения эластомеров в угольной промышленности.

**Ключевые слова:** эластомерные материалы, угольная промышленность, виброизоляторы, защитные футеровки, безопасность

В начале третьего тысячелетия многие научные школы подводят итоги своей деятельности, определяют свою роль в общих научных достижениях ушедшего двадцатого века. Заметно возросла активность в публикациях ретроспективных обзоров, обобщающих монографий, в проведении симпозиумов, конференций, совещаний и других научных форумов.

© А.Ф. Булат, В.И. Дырда, А.И.Хохотва, 2013

В этом контексте следует отметить важные научные достижения Украины в области теоретической и прикладной механики и, в частности, механики деформируемого твёрдого тела. Особенно следует отметить достижения в области механики новых конструкционных материалов, среди которых особое место занимают композиты и наноматериалы. К ним относятся и эластомеры (резины и полиуретаны), которые в значительной степени предопределили успех современного машиностроения, в том числе и угольной промышленности [1, 2].

Эластомеры по своему химическому составу и упругим свойствам резко отличаются от других конструкционных материалов, прежде всего высокими диссипативными характеристиками и большими обратимыми деформациями. Они ближе к биоматериалам и поэтому многие исследователи называют их материалом будущего. На сегодняшний же день эластомеры с успехом используются во многих отраслях машиностроения: шины и транспортные ленты, виброизоляторы и защитные футеровки, упругие элементы и уплотнительные изделия, бытовые и специальные изделия – это далеко не полный перечень изделий, в которых эластомеры не могут быть адекватно заменены ни одним из существующих материалов.

Девиз современного машиностроения: количество эластомеров, потребляемое отраслью, свидетельствует о степени развития отрасли; современные конструкции машин способны удовлетворять технологическим требованиям (примерно до 2030 года), если повысить их долговечность и надежность.

Именно эластомерные элементы – виброизоляторы, упругие звенья, защитные футеровки – введенные в структурные схемы машин, способствуют снижению вибронегативности, звукового давления, повышению долговечности и надежности. Все достижения в области машиностроения, в том числе и в угольной промышленности, в той или иной степени связаны с применением эластомеров как конструкционного материала.

### **Механика эластомеров. Актуальность проблемы.**

Украина достигла многого в развитии конструкционных материалов для различных отраслей промышленности. Эти достижения имеют общенаучную ценность, они оказали глубочайшее влияние на машиностроение и другие отрасли в целом, заложили прочную основу для дальнейшего развития. Но налицо также серьезные трудности и недостатки.

В настоящее время настоятельной необходимостью является проведение ряда мероприятий, направленных на развитие механики эластомеров. Эта необходимость вытекает из существования тесной связи развития этой проблемы с развитием машиностроения, в том числе и для угольной промышленности.

Развитие механики эластомеров должно способствовать развитию фундаментальной и прикладной науки в Украине, имеющей большое будущее.

Без коренного развития механики эластомеров невозможно решить многие стоящие проблемы: ряд отраслей не сможет развиваться нормально.

Есть основания полагать, что выраженная в этих тезисах точка зрения разделяется в той или иной степени значительной частью ученых-механиков Украины.

### **Механика эластомеров. Современные концепции и перспективы развития.**

Интенсификация работ в современной угольной промышленности Украины потребовала создания новых технологий, что в свою очередь привело к модернизации машиностроительной продукции и к созданию принципиально новых машин. Существенно повысились требования к энерго- и металлоемкости машин, к их надежности и долговечности, к экологической чистоте. С другой стороны, наметилась тенденция к интенсификации режимов работы машин, что привело к увеличению напряженности, износу, вредным колебаниям и т.д. С учетом специфики технологии работ эти задачи решались разными методами: созданием принципиально новых конструкций машин, использованием новых конструкционных материалов, изменением технологии и т.д. Однако неизменной для всей машиностроительной промышленности была концепция – введение в структурную схему машин упругих звеньев (виброизоляторов, компенсаторов сборки, износостойких покрытий и футеровок, упругих прокладок, демпферов и др.) из эластомеров – резин и полиуретанов. Эластомеры оказались уникальным конструкционным материалом, который в ряде случаев –вибро- и сейсмоопоры, упругие связи, прокладки и др. – невозможно заменить ни одним из существующих материалов.

Создалась довольно сложная ситуация. Практика настоятельно требовала эластомерные конструкции (ЭК), зарубежный опыт мало доступен, резин с подходящими свойствами не было, не было также нужного экспериментального оборудования. Механика деформирования и разрушения материалов была разработана преимущественно для металлов и частично для жестких пластиков и не учитывала специфику эластомеров: большие обратимые деформации, большую диссипацию энергии, нестабильность свойств во времени (старение) и др. К тому же для создания реальных конструкций необходимо было кроме вопросов теории решать ряд прикладных задач: технология изготовления ЭК, их оптимальное проектирование, защита от внешней агрессивной среды, вопросы взаимодействия с машинами, (задачи динамики машин) и т.д. Т.е. решение проблемы лежало на стыке науки и техники, и поэтому вполне правомерным оказался комплексный подход, включающий в себя: фундаментальные исследования – эксперимент – прикладные исследования – оптимальное проектирование – разработка новых резин – освоение продукции – машины с ЭК. Вместе с тем осуществление этого подхода сдерживало отсутствие экспериментальной информации и подходящего экспериментального оборудования.

Поэтому, прежде всего, были решены следующие задачи.

Разработаны методы и средства экспериментальных исследований физико-механических характеристик ЭК; наряду с собственными разработками были

использованы нетрадиционные методики эксперимента и уникальная аппаратура фирм MTS, Инстрон и т.д. (Япония, ФРГ, США).

Получена комплексная экспериментальная информация по результатам исследований реологических, термомеханических и усталостных характеристик ЭК в широком диапазоне изменений режимов их напряжения и условий взаимодействия с окружающей средой, характерных для машин в основном горно-металлургического производства, в экстремальных условиях эксплуатации. Частотный диапазон исследований охватывал девять порядков ( $10^{-3}$  -  $10^6$  Гц), температурный был в пределах 223 - 473 К; внешняя среда в виде жесткого ионизирующего излучения – поглощенная доза 0 - 200 Мрад; кривые долговечности для натуральных ЭК при циклической нагрузке до отказа получены в пределах  $10^7$  -  $4,9 \cdot 10^9$  циклов. При этом получены уникальные данные по влиянию старения на реологические и усталостные свойства резин, на их долговечность и диссипативный саморазогрев; показана положительная роль диссипации при циклическом разрушении ЭК.

Для модельных образцов получена информация о процессах микроразрушения при циклическом нагружении: с помощью метода ИКС получена кинетика накопления микроповреждений в объеме и на поверхности образцов; отмечена роль поверхности в общем механизме разрушения (концентрация микроповреждений в тонком поверхностном слое толщиной 1-2 мкм нарастает на 2-3 порядка быстрее, чем в объеме); при циклическом нагружении кинетика накопления микроповреждений подчиняется уравнению первого порядка, в которой константа скорости зависит от напряжения, температуры и дозы радиации; с помощью ИК-радиометрии исследованы локальные экзотермические эффекты; в устье трещины температура термодеструкции может достигать 480 К.

Для натуральных ЭК из новых марок резин установлены основные закономерности механизмов циклического разрушения: установлена кинетика развития усталостных трещин для различных состояний материала (в зависимости от степени поврежденности, дозы облучения, степени изменения структуры от наполнения и т.д.); изучены микромеханизмы разрушения и выявлены основные фрактографические особенности; выявлен эффект самозалечивания (торможения трещин) и раскрыта роль диссипации энергии в развитии и остановке усталостных трещин: изучена взаимосвязь между механизмами разрушения и реологией ЭК при различных состояниях структуры материала и влиянии внешней среды; выявлена неоднозначная роль диссипации энергии в общем механизме разрушения ЭК.

Все это вместе позволило: разработать критерии отказа ЭК; с учетом связи диссипация – разрушение сформулировать общие требования к эластомерам с учетом специфики эксплуатации; разработать феноменологические модели макроразрушения ЭК для различных механизмов их циклического разрушения.

На базе полученной экспериментальной информации разработаны математические модели, критерии разрушения и методы прогнозирования долговечности ЭК при многофакторном воздействии стационарных циклических нагрузок

и влияния внешней агрессивной среды: при изотермических условиях обоснован и разработан энергетический критерий диссипативного типа и получены аналитические выражения для расчета долговечности по координатам ЭК; разработан критерий разрушения по развивающейся в материале поврежденности и получены выражения для прогнозирования долговечности ЭК; разработаны и широко используются инженерные методы расчета ЭК различных машин.

Теоретической базой данного направления служили фундаментальные основы механики сплошной среды, термодинамики необратимых процессов, ряд концепций синергетики и теории катастроф, опираясь на которые решались прикладные задачи. Главным условием успеха при решении этих задач являлся учет реальных свойств конкретных материалов.

Проведенный комплекс теоретических и экспериментальных исследований и полученная при этом научная информация позволили в целом осуществить программу обширных прикладных исследований (в том числе по технологии эластомеров, оптимальному синтезу новых резин, динамике машин с резиновыми элементами, оптимальному проектированию ЭК) с выходом на инженерную практику.

Прежде всего следует отметить создание низко модульных резин (первое в СССР авторское свидетельство по эластомерам) на базе отечественных полиизопреновых каучуков. Эти резины по долговечности, стабильности свойств во времени (сопротивление старению) и радиационной стойкости превышают все существующие мировые аналоги.

На базе этих резин, а также с использованием других марок резин, были созданы оригинальные ЭК: блоки, шарниры, виброопоры, муфты, герметизаторы, виброизоляторы, сейсмоопоры, защитные футеровки и т.п. Большинство из них защищены а.с., на ряд разработаны отраслевые стандарты. Всего разработано свыше 12 типов ЭК (каждый тип включает параметрический ряд из 2-10 наименований). В принципе они охватывают весь круг тяжелых машин общего назначения, некоторые из них по своим характеристикам и долговечности не уступают лучшим мировым образцам.

В свою очередь разработанные ЭК позволили создать новые и повысить эффективность и качество существующих машин. За счет особых свойств новых резин (высокая усталостная прочность, сопротивление старению, большие обратимые деформации) удалось создать современного уровня класс вибрационных машин (конвейеры, грохоты, питатели и др.) с принципиально новыми технологическими режимами – низкие частоты и высокие амплитуды, что позволило в 2-3 раза увеличить производительность, резко снизить (до 30-50 %) металлоемкость за счет замены металлических пружин и рессор резиновыми элементами, уменьшить звуковое давление и т.д.

Из многообразия инженерных приложений ЭК в машиностроении и других областях можно выделить четыре основных направления.

Первое касается создания класса машин с ЭК для осуществления прогрессивных технологий, охватывающих единый комплекс добычи и переработки

минерального сырья, в том числе и угля. Первая из рассматриваемых технологий связана с машинами (вибропитатели, вибробункеры, конвейеры, грохоты) для выпуска и доставки материалов. Вторая технология охватывает переработку, сепарацию, дробление, герметичное транспортирование и другие технологические операции, для чего были разработаны следующие вибромашины с ЭК: конвейеры, дробилки (КИД и др.), вибросита, грохоты, питатели и т.д. – всего около 20 наименований машин, выпускаемых серийно.

Второе направление связано с применением ЭК для снижения вибронпряженности уже существующих машин, используемых в основном в горно-металлургической, и угольной промышленности. Сюда относятся специальные дробилки, окомкователи, виброжелоба, вихревые смесители, вентиляторы и т.д. К этому же направлению можно отнести защитные футеровки вагонов и вагонеток, защитные футеровки вибропитателей, элементы гашения высокочастотных вибраций и др. Во всех случаях применение ЭК повышают долговечность машин, снижают звуковое давление, ударные нагрузки, износ и т.д.

Третье направление связано с созданием сейсмо- и виброопор под здания, сооружения, мосты и т.д. Именно ЭК позволяют резко снизить тяжелые последствия катастроф техногенного и природного характера.

В целом изложенные достижения можно рассматривать лишь как первую ступень для создания конкурентоспособного направления.

Необходимы значительные усилия, как в области фундаментальных исследований, так и при решении прикладных задач.

#### **Резюмируя сказанное, следует отметить наиболее важные моменты.**

Тенденцией развития современной промышленности является включение в структурную схему машин, механизмов и сооружений вязкоупругих звеньев: виброизоляторов, прокладок, уплотнений, демпферов, защитных футеровок и т.д. Материалом для них служат эластомеры – резины и полиуретаны, обладающие уникальными конструктивными свойствами: простотой и технологичностью переработки, устойчивостью к агрессивным средам, высокой усталостной и надежностью, большой диссипацией и способностью к большим обратимым деформациям, сравнительно низкой стоимостью. В ряде случаев (шины, виброизоляторы, сейсмоопоры, футеровки) эластомеры не могут быть заменены ни одним из существующих материалов.

Эластомерные конструкции позволяют: повысить в 2-3 раза производительность машин за счет интенсификации режима; снизить (до 50 %) металлоемкость; в 2-10 раз повысить долговечность и надежность; снизить вибро- и сейсмонапряженность машин и сооружений; создать принципиально новые конструкции машин.

Одной из причин отставания отечественного машиностроения, в том числе и угольного, является именно недостаточное использование эластомеров. Вместе с тем на Украине имеются все необходимые предпосылки для развития этой важной для народного хозяйства проблемы.

На Украине традиционно развита фундаментальная и прикладная механика. Имеется мощный научно-технический и производственный потенциал развития резинотехнической, шинной и шиноремонтной отраслей, способный не только обеспечить потребности государства, но и в значительной мере выполнять поставки за ее пределами, в т.ч. и за рубеж.

Для угольной промышленности Украины выполнены следующие работы.

1. Созданы параметрические ряды резиновых и резинометаллических виброизоляторов типа ВР, ВРМ и ВРМ. Виброизоляторы типа ВРМ (ДСТУ 3853-99 (ГОСТ 30644-99) – Межгосударственный стандарт «Виброизоляторы резиновые для взрывозащищенных вентиляторов») используются в качестве упругих подвесок для взрывозащищенных вентиляторов.

Виброизоляторы указанных выше типов прошли приемочные и промышленные испытания на различных типах технологических машин. Их использование позволило значительно – в  $1,5 \div 2$  раза увеличить долговечность основных узлов и деталей машин, снизить динамические нагрузки на поддуживающие конструкции, интенсифицировать технологические процессы, снизить производственный шум.

2. Создана резиновая футеровка шахтных вагонеток для транспортировки сильноналипающих грузов.

Конструкция футеровки защищена патентом (а.с. № 1063675), прошла испытания в условиях урановых шахт (г. Ж. Воды), предприятий «Уралзолото» и угольных шахт России.

Эксплуатация вагонеток с резиновой футеровкой показало, что степень очистки вагонетки составляет 95 %, снижены динамические нагрузки на ходовую часть, увеличена производительность откатки, появилась возможность ликвидации существующих систем вибрационной и механической очистки вагонеток с глухим днищем.

3. Созданы и внедрены оригинальные виброизолирующие системы для параметрического ряда молотковых (ДМРЭ) и инерционных дробилок (КИД). Указанные дробилки широко используются для измельчения углей на коксохимзаводах. Параметрический ряд дробилок типа КИД с разработанной ИГТМ НАН Украины виброизолирующими системами выпускаются серийно предприятиями России и поставляются во многие страны мира. Для ОАО «Запорожжкокс» институтом разработаны виброизолирующие системы для 4-х дробилок типа ДМРЭ  $14,5 \times 13$ , которые находятся в стадии внедрения. Для ОАО «Днепродзержинский КХЗ» спроектирована и сдана в эксплуатацию виброизолирующая система дробилки ДМРЭ  $1000 \times 1000$ . Применение виброизолирующей системы на этой дробилке позволило снизить уровни вибронагруженности перекрытий и близлежащих построек до значений ниже, чем допускаемые по санитарным нормам.

4. Для ленточных конвейеров (участковых и магистральных) разработано устройство для предотвращения порезов конвейерных лент на виброизолирующем основании. Опыт эксплуатации более, чем 200 устройств показал, что их

применение позволяет практически полностью исключить продольные порезы конвейерных лент.

Решение рассматриваемой проблемы открывает широкие перспективы для осуществления практических задач:

создания новых высоконадежных и эффективных машин для угольной промышленности: грохотов, питателей, конвейеров, центрифуг, дробилок, сит, и т.д. для осуществления ресурсосберегающих природоадекватных экологически чистых технологий;

повышения долговечности и надежности, снижения металлоемкости и энергоемкости, повышения износостойкости машин и оборудования;

защиты машин и сооружений (мостов, промышленных зданий) от вибраций, шума, сейсмоздействия с целью предупреждения аварий и катастроф природного и техногенного происхождения.

Решение этих проблем чрезвычайно актуально для угольной промышленности Украины с ее развитой сырьевой, машиностроительной и энергетической базами и интенсивным строительством промышленных зданий и сооружений.

**Вопросы промышленной безопасности.** Одной из причин возрастания количества аварий на Украине есть увеличение доли устаревших технологий и износа основных фондов. Так, износ основных производственных фондов во всех отраслях экономики Украины составляет в среднем около 50 %, а по отдельным отраслям и выше.

К таким отраслям относится горно-металлургическая промышленность Украины, которая насыщена сложными системами устаревших типов, износ которых составляет до 80 % и поэтому имеют 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 объем крупнокускового материала, имеютдвигающиеся неуравновешенные, 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 надежности, 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, 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 ее 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. Неопределенность 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 ее 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. К работе, согласно программе, привлечены такие известные институты как: Институт машиноведения РАН (г. Москва),

Институт безопасности систем (ИБС, г. Москва), Институт проблем прочности (ИПП) и Институт механики НАН Украины (ИМЕХ НАН Украины, г. Киев), ИГТМ НАН Украины (г. Днепропетровск) и пр.

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 надежности и безопасности сложных технических систем начали проводиться во всем 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 надежности СТС представляет собой далеко продвинутую область науки, основанной на мощном и разнообразном математическом аппарате. Применение в широких пределах компьютерной техники позволит в ближайшем будущем распространить использование методов теории надежности и безопасности на все более широкие слои инженеров, конструкторов и проектировщиков.

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

7. Из анализа всей имеющейся литературы по надежности 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 техноло-

гией предупреждения катастрофы и технологией устранения ее негативных последствий при условии, что совместно обе технологии обеспечивают стабильность (нулевой конечный 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 резино-металлических) элементов при конструировании таких систем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прикладная механика упругонаследственных сред: В 3-х томах. – Т. 1. Механика деформирования и разрушения эластомеров / А.Ф. Булат, В.И. Дырда, Е.Л. Звягильский, А.С. Кобец. – Киев: Наук. думка, 2011. – 568 с.
2. Прикладная механика упругонаследственных сред: В 3-х томах. – Т. 2. Методы расчета эластомерных деталей / А.Ф. Булат, В.И. Дырда, Е.Л. Звягильский, А.С. Кобец. – Киев: Наук. думка, 2012. – 616 с.

#### REFERENCES

1. Bulat, A.F., Dyrda, V.I., Zvjagylskiy, E.L. and Kobets, A.S. (2011), *Prikladnaya mekhanika uprugonasledstvennykh sred: v 3-kh tomakh.- T.1. Mekhanika deformirovaniya i razrusheniya elastomerov* [Applied mechanics of elastic-hereditary environments: In 3th volumes. T. 1. Mechanics of deformation and destruction of elastomers], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.
2. Bulat, A.F., Dyrda, V.I., Zvjagylskiy, E.L. and Kobets, A.S. (2012), *Prikladnaya mekhanika uprugonasledstvennykh sred: v 3-kh tomakh.- T.2. Metody rascheta elastomernich detalej* [Applied mechanics of elastic-hereditary environments: In 3th volumes. T. 2. Methods of calculation of elastomer details], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.

#### Об авторах

**Булат Анатолий Федорович**, академик Национальной академии наук Украины, доктор технических наук, профессор, директор института, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, [igtmnanu@yandex.ru](mailto:igtmnanu@yandex.ru)

---

*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), Днепропетровск, Украина, [vita.igtm@mail.ru](mailto:vita.igtm@mail.ru)

*Хохотва Александр Иванович*, инженер, председатель Государственной службы горного надзора и промышленной безопасности Украины, Киев, Украина

#### About the authors

*Bulat Anatoly Fedorovich*, Academician of the National Academy of Science of Ukraine, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Professor, Director of the Institute, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [igtmnanu@yandex.ru](mailto:igtmnanu@yandex.ru)

*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), Dnepropetrovsk, Ukraine, [vita.igtm@mail.ru](mailto:vita.igtm@mail.ru)

*Khokhotva Alexander Ivanovich*, Engineer, The Head of The State Service of Mining Supervision and Industrial Safety of Ukraine, Kiev, Ukraine

---

**Анотація.** Розглядається проблема вживання еластомірних матеріалів у вугільній промисловості в контексті створення нових високоефективних машин, що відповідають сучасним технологіям видобутку, переробки і збагачення мінеральної сировини, зокрема, вугілля. Наголошуються особливі властивості еластомерів – здібність до великих оборотних деформацій і високі дисипативні властивості, що робить їх цінним конструкційним матеріалом для таких виробів як: шини, катки, транспортерні стрічки, віброізолятори, захисні футеровки, пружні ланки і т.д. Розглядаються основні досягнення в області механіки еластомерів, тенденції розвитку конструкцій сучасних машин з еластомерними елементами; викладені перспективи розвитку вживання еластомерів у вугільній промисловості.

**Ключові слова:** еластомерні матеріали, вугільна промисловість, віброізолятори, захисні футеровки, безпека

**Abstract.** Usage of elastomeric materials in the coal industry is considered in context of creation of new high-performance machines for the latest technology of mining, processing and enrichment of mineral raw materials, such as coal. Specific advantages of elastomers - great reversible deformation and high dissipation properties– are described that make the elastomeres a valuable structural material for such products as tires, rollers, conveyor belts, vibration isolators, protective lining, elastic links, etc. Basic achievements in the field of mechanics of elastomers, development trend of modern machinery designs with elastomeric elements are considered, and promising use of the elastomers in the coal industry is presented.

**Keywords:** elastomeric materials, coal industry, vibroinsulators, protective linings, safety

*Статья поступила в редакцию 20.01.2013*

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

УДК 539.375: 621.763

**С.И. Скипочка**, д-р техн. наук, профессор,  
**Т.А. Паламарчук**, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.,  
**Н.Т. Бобро**, магистр  
(ИГТМ НАН Украины)  
**В.П. Куринной**, д-р техн. наук, доцент  
(ГВУЗ «НГУ» )

## **К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**С.І. Скіпочка**, д-р техн. наук, професор,  
**Т.А. Паламарчук**, д-р техн. наук, ст. наук. співроб.,  
**М.Т. Бобро**, магістр  
(ІГТМ НАН України)  
**В.П. Курінний**, д-р техн. наук, доцент  
(ДВНЗ «НГУ» )

## **ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНИХ РІВНІВ ВТРАТИ СТІЙКОСТІ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ**

**S.I. Skipochka**, D.Sc. (Tech.), Professor,  
**T.A. Palamarchuk**, D.Sc. (Tech.), Senior Researcher,  
**N.T. Bobro**, M.S (Tech.)  
(IGTM NAS of Ukraine)  
**V.P. Kurinnoy**, D.Sc. (Tech.), Associate Professor  
(SHEI "NMU")

## **TO QUESTION OF DETERMINATION OF CRITICAL LEVELS LOSSES OF STABILITY OF COMPOSITE MATERIALS**

**Аннотация.** Прочность хрупких материалов снижается с ростом абсолютных размеров тела и это, как правило, объясняют с позиции теории «слабейшего звена», т.е. повышением вероятности попадания в нагруженную зону достаточно опасного дефекта, снижающего реализацию прочности. Однако масштабный эффект следует также из предположения, что накопленная в объеме тела упругая энергия переходит в работу разрушения по некоторой поверхности. В результате рассмотрения и анализа особенностей структурно-неоднородных тел выявлены в качестве наиболее информативных параметров, характеризующих устойчивость различных композитных конструкций, следующие величины: критическое значение межслойных касательных напряжений, межслойная сдвиговая прочность при кручении, предел прочности при сжатии композитного прямоугольного образца, обобщенной критерий прочности А. К. Малмейстера, вероятность разрушения элемента структуры композитного материала, вероятность совместного разрушения двух произвольных элементов композитных материалов, критическое значение амплитуды волн напряжений, критическое значение скорости изменения напряжения, критическое значение градиента напряжений, критическое значение удельной упругой мощности.

**Ключевые слова:** композитные материалы, критерии устойчивости, прочность, разрушение.