

УДК: 621.01, 621.09

В.П. Надутый¹, д-р техн. наук, проф.,
В.В. Сухарев¹, канд. техн. наук,
Д.В. Белошин²

1 – Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова,
 г. Днепропетровск, Украина, e-mail: agnivik@ukr.net
 2 – Государственное высшее учебное заведение „Национальный горный университет“, г. Днепропетровск, Украина

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УДАРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КУСКОВОЙ ГОРНОЙ МАССЫ С ФУТЕРОВАННОЙ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ МАШИН

V.P. Nadutyi¹, Dr. Sci. (Tech.), Professor,
V.V. Sukharev¹, Cand. Sci. (Tech.),
D.V. Beliushin²

1 – N.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of National Academy of Science of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: agnivik@ukr.net
 2 – State Higher Education Establishment “National Mining University”, Dnepropetrovsk, Ukraine

RESULTS OF THE STUDIES OF THE IMPACT INTERACTION OF LUMPY ROCK MASS WITH LINING EFFECTIVE SURFACE OF MACHINES

Цель. Определение зависимостей напряжений в защищаемой металлической поверхности рабочего органа машины от параметров резиновой футеровки, условий соударения и выявления основных факторов, обуславливающих эффективность ее использования.

Методика. Эксперименты проведены на лабораторном стенде, который моделирует короб в соотношении 1:4. Измерение напряжения в металле при ударной нагрузке определяется тензометрическим методом с использованием стандартной регистрирующей аппаратуры. Количество проведенных экспериментов достаточно для получения результатов с достоверной вероятностью 0,95.

Результаты. Установлено, что факторами, существенно влияющими на снижение напряжений в защищаемой резиновой футеровкой поверхности машины при ударных нагрузках, являются толщина и твердость резинового слоя, глубина контакта соударения и его время. Резиновая футеровка снижает напряжение в защищаемой поверхности при ударе в 6–10 раз по сравнению с жестким ударом по незащищенной поверхности, что объясняется увеличением площади контакта соударения в 3–5 раз и времени контакта при соударении в 3–4 раза.

Научная новизна. Установлен нелинейный характер и численные значения зависимости напряжения в коробе, времени контакта и глубины соударения от толщины резинового слоя футеровки и твердости резины. Получено физическое объяснение фактора снижения напряжения в металлической конструкции при защите ее футеровкой за счет увеличения площади контакта и времени удара.

Практическая значимость. Полученные данные позволяют производить выбор параметров футерующей поверхности. В частности, по глубине контакта подбирается рабочая толщина резинового слоя футеровки из соображений сохранения ее целостности, а остальные факторы определяют защитные свойства футеровки и целесообразность ее применения.

Ключевые слова: *напряжение, поверхность, горная масса, удар, резиновая футеровка*

Введение. В настоящее время в машиностроении широко используются различные методы защиты рабочих поверхностей машин для уменьшения абразивного износа, понижения уровня производственного шума, снижения влияния агрессивной среды, коррозии и т. п.

Отдельной задачей является защита рабочих органов машин от ударных нагрузок, поскольку в этих условиях при взаимодействии рабочей поверхности машины с перерабатываемой кусковой массой возникают значительные контактные напряжения и деформации. Примером могут служить кузова карьерных машин, рабочие органы питателей, грохотов,

бункеров, течек в процессе загрузки и перегрузки горной массы.

Напряжения, возникающие в металлоконструкциях, часто превышают допустимые и приводят к преждевременному выходу из строя машины. Поломка машин по указанным причинам, ремонтные работы и простои, связанные с этим, составляют значительную часть стоимости добычи и переработки горной массы.

При решении вопроса повышения надежности и долговечности рабочих поверхностей применение дорогостоящих сталей и сплавов, увеличение запасов прочности за счет металлоемкости не является оптимальным, поскольку увеличивает стоимость и энергопотребление машины. Перспективным решением является применение полимерных упругих конструкций благодаря их небольшой, по отношению к ме-

таллу, масе, високим деформаційним і демпфуючим здібностям, технологічності виготовлення і відносно низької вартості. В горній промисловості широко застосовуються резинові конструкції в формі амортизаторів, муфт, футеровок і пружних зв'язей.

Об'єктом досліджень авторів є резинова футеровка робочих органів горних машин, підвержених інтенсивним ударним навантаженням крупнокускової горної маси. По даному питанню проведено значительне число досліджень, в результаті яких переконливо доведено високу ефективність застосування резинової футеровки вібропитателів при підземній добувці залізних руд і віброгрохотів при крупном грохоченні [1], при футеровці барабанів шарових млинів різної конструкції [2], для футеровки в вузлах перегрузки горної маси. Во всіх цих випадках встановлено зниження напружень в захищаній металічеської поверхні і підвищення її зносостійко-

сти. При цьому основне увагу приділено вивченню деформаційних властивостей гуми. Однак недостатньо повністю роз'яснені основні фактори, що впливають на процес соударення і їх кількісна оцінка.

Цілью даної роботи є визначення залежностей напружень в захищаній металічеської поверхні робочого органу машини від параметрів резинової футеровки, умов соударення і виявлення основних факторів, що обумовлюють ефективність її застосування.

Методика і результати досліджень. Розв'язання поставлених питань виконувалося експериментальним шляхом на лабораторному стенді, показаному на рис. 1 і складеному з опорної рами 1, стоек 2, по яким передвигалася поперечна балка з фіксатором 3 і набором грузів 4, при падінні яких здійснювалася ударна навантаження на модель металічеського корпусу питателя 5, корпус якого встановлено на пружні опори 6.

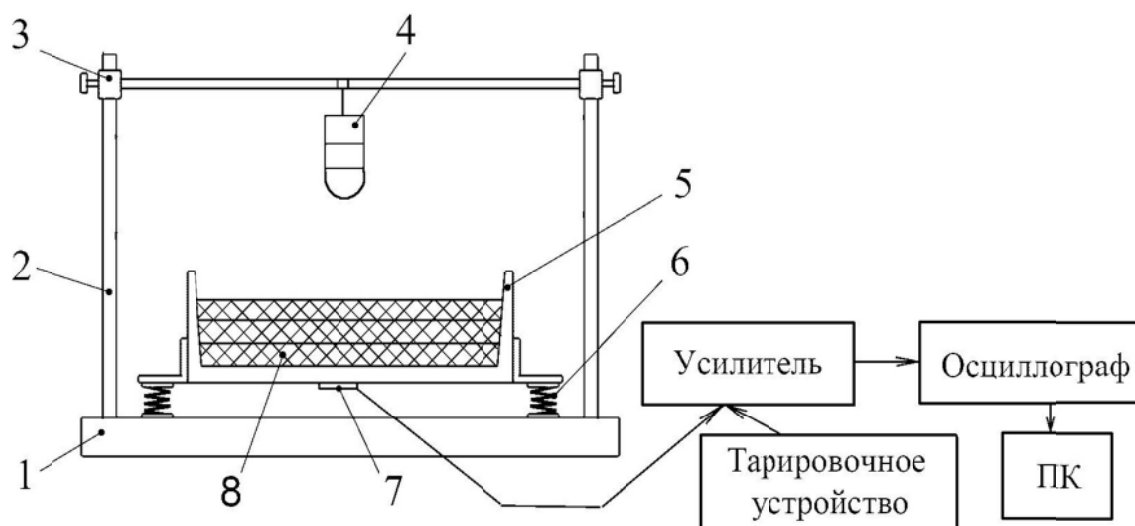


Рис. 1. Схема лабораторного стенда

Отличие выполненного эксперимента от предыдущих [3] состоит в том, что ударные напряжения в корпусе питателя, фиксируемые комплектом тензодатчиков 7, определяются с учетом резинового футеровки 8 на рабочем органе.

В процессе экспериментов наносился центральный удар грузом 4 по футерованному корпусу 5. Энергия удара изменялась путем регулирования высоты подъема груза и его массы. Сигнал при ударе от тензодатчика 7, установленного в области контакта соударения под днищем, передается на усилитель и фиксируется на осциллографе и компьютере. Контроль напряжений осуществлялся с помощью тарировочного устройства по амплитуде ударного импульса. Время контакта определялось отметчиком времени на осциллограмме. При заданной высоте падения груза H и его кинетической энергии E_k фиксировались величина напряжений в металле σ при ударе, продолжительность импульса

максимального напряжения t (время удара) и площадь контакта, по которой пересчитывалась глубина вдавливания (лунка) z падающего груза в резину постоянной твердости. Кроме величины энергии удара в экспериментах варьировалась толщина резинового футеровки h_p и твердость резины E_p , определяемой стандартным твердомером ТМ-2.

На рис. 2 представлены экспериментальные результаты определения зависимости напряжений в корпусе питателя от толщины слоя резинового футеровки (h_p , мм) при разной энергии (E_k , Дж) удара и постоянной твердости резины $E_p=56$. Причиной существенного снижения напряжений в корпусе питателя при использовании футеровки является то, что кинетическая энергия относительного движения груза переходит в потенциальную энергию деформации плоскости, в данном случае – футеровки, частично в энергию упругих волн, энергию разрушения футеровки, энергию трения и т. д. При отсутствии футе-

ровки в стали при ударе развиваются касательные напряжения за пределами упругости материала, что приводит к появлению веера трещин на контуре поверхности давления и возникновению в зоне удара довольно высокой температуры, что компенсируется при использовании футеровки за счет ее высокой эластичности и диссипации энергии.

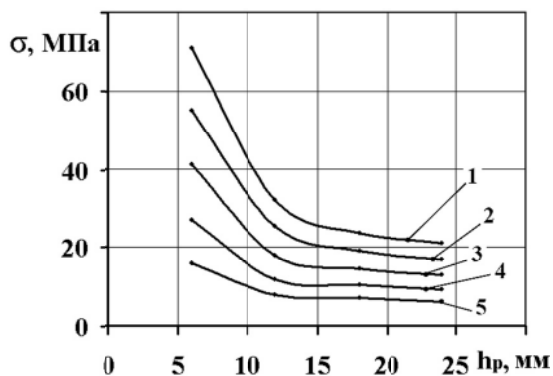


Рис. 2. Зависимость напряжения в коробе σ от толщины резинового слоя h_p футеровки: 1 – 43 Дж; 2 – 27 Дж; 3 – 15 Дж; 4 – 7 Дж; 5 – 1,7 Дж

Характер зависимостей напряжения в коробе питателя от толщины слоя резиновой футеровки – нелинейный, при этом наибольшее снижение напряжения в коробе наблюдается при высоте резины до 12 мм. После этой величины происходит равномерное и слабонелинейное уменьшение значений напряжения в коробе при увеличении высоты резины, что позволяет определить границы высоты применяемой футеровки и, как следствие, снизить ее вес и затраты на использование футеровки. В сравнении с жестким ударом по незащищенной поверхности [3], использование футеровки позволяет снизить напряжения в коробе в 6–10 раз.

Зависимость времени контакта t соударения от толщины резинового слоя h_p футеровки при тех же значениях энергии удара представлена на рис. 3.

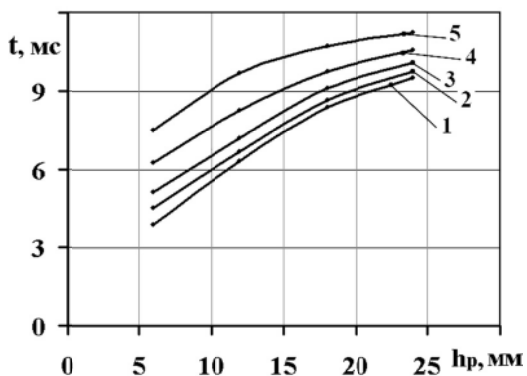


Рис. 3. Зависимость времени контакта соударения t от толщины резинового слоя h_p футеровки: 1 – 43 Дж; 2 – 27 Дж; 3 – 15 Дж; 4 – 7 Дж; 5 – 1,7 Дж

Важно отметить, что с ростом энергии удара и толщины резинового слоя постоянной твердости растет время контакта при соударениях, в виде нелинейной зависимости, что влияет на значения максимальных напряжений в коробе, при этом рост времени удара при увеличении высоты футеровки уменьшается. При жестком ударе по незащищенной поверхности время удара меньше в 3–4 раза по сравнению с ударом по футерованной поверхности, при прочих равных условиях, в частности энергии удара, это приводит к увеличению напряжения в конструкции при ударе по незащищенной поверхности в 6–10 раз.

Результаты деформационной зависимости резины постоянной твердости, определяемой глубиной лунки z , от энергии удара в площади контакта соударения представлены на рис. 4. Исследовался линейный участок деформации резины, поскольку допускаемые напряжения для нее рекомендуются при ударе в этой зоне деформации в пределах 20÷25 % от h_p . При данных условиях в резине не наблюдается остаточная деформация [2], что позволяет снизить погрешность проведения многократных эксперименты на данном участке футеровки.

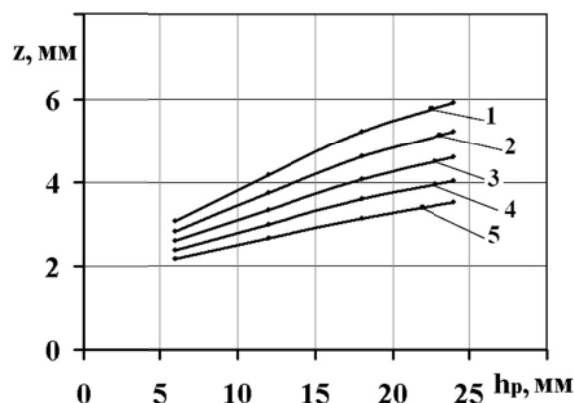


Рис. 4. Зависимость глубины лунки z от толщины резинового слоя h_p футеровки: 1 – 43 Дж; 2 – 27 Дж; 3 – 15 Дж; 4 – 7 Дж; 5 – 1,7 Дж

Полученная слабонелинейная зависимость глубины лунки от энергии удара позволяет выбрать рациональную толщину резинового слоя футеровки, при которой обеспечивается максимальная защита днища короба питателя без внутренних изменений и потере упругого состояния футеровки.

В экспериментах установлено, что напряжения в защищаемой поверхности существенно зависят от твердости резины E_p , поэтому определена зависимость напряжений в зоне контакта соударения от твердости резины при различных толщинах ее защитного слоя и при постоянной энергии удара $E_k = 15$ Дж, при этом эта высота слоя резины h_p варьировалась в пределах: 18; 12; 6 мм. Результаты проведенных экспериментов представлены на рис. 5.

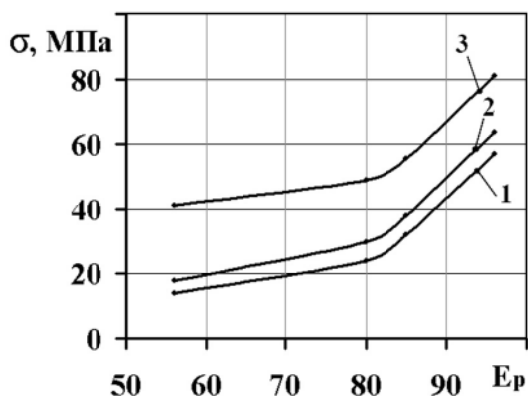


Рис. 5. Зависимость напряжения в коробе σ от твердости резины E_r футеровки: 1 – 18,0 мм; 2 – 12,0 мм; 3 – 6,0 мм

В исследуемом диапазоне энергии удара зависимость имеет нелинейный характер, при этом твердость резины играет существенную роль в снижении напряжения в защищаемой поверхности, и при выборе футеровки этот фактор должен обязательно учитываться. При анализе полученных зависимостей установлено, что при увеличении твердости резины свыше 80 ед. наблюдается резкий рост напряжения в конструкции короба. Данная закономерность сохраняется при различных высотах футеровки.

Время контакта, как один из важных факторов, также существенно зависит от твердости резины. Эта зависимость показана на рис. 6, при этом время контакта и глубина соударения связаны с величиной твердости резиновой футеровки и ее толщиной слабонелинейной зависимостью.

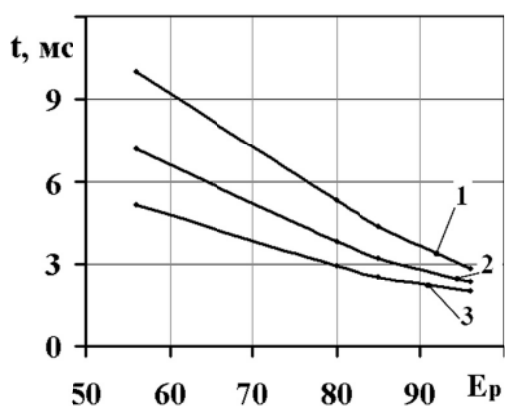


Рис. 6. Зависимость времени контакта t от твердости резины E_r футеровки: 1 – 18,0 мм; 2 – 12,0 мм; 3 – 6,0 мм

Характер зависимости глубины соударения от твердости резины при разной высоте резины показан на рис. 7. Он позволяет оценивать допускаемые деформации резинового слоя при постоянной энергии

удара и подбирать его рациональные параметры для каждого типа резины.

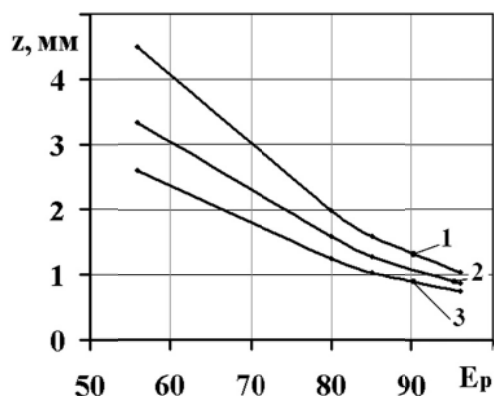


Рис. 7. Зависимость глубины лунки z от твердости резины E_r футеровки: 1 – 18,0 мм; 2 – 12,0 мм; 3 – 6,0 мм

Выполненные исследования показали характер зависимости напряжений в защищаемой поверхности короба питателя от энергии удара падающей горной массы, от толщины и твердости резинового слоя футеровки. Существенное уменьшение напряжений в металле связано с увеличением площади контакта соударений при наличии резинового слоя по сравнению с точечным контактом при незащищенной поверхности. Увеличение времени контакта соударения при постоянной энергии удара позволяет существенно снижать амплитуду ударного импульса и, как следствие, напряжение в защищаемой поверхности.

Выводы. Таким образом, доминирующими факторами, существенно влияющими на снижение напряжений в защищаемой резиновой футеровкой металлической поверхности машины при ударных нагрузках от падающей горной массы, являются толщина и твердость резинового слоя, площадь и глубина контакта соударения, его время. По глубине контакта подбирается толщина резинового слоя футеровки из соображений сохранения ее целостности, а остальные факторы определяют защитные свойства футеровки. При этом следует учитывать, что принятая толщина резиновой футеровки способна противостоять лишь ударному нагружению без разрушения резины, поэтому толщину футеровки следует увеличивать, исходя из ее износа (срока службы) и крепления.

По данным эксперимента, количественная оценка каждого фактора свидетельствует о том, что резиновая футеровка снижает напряжение в защищаемой поверхности при ударе в 4–6 раз в зависимости от твердости резины при ее рациональной толщине и (опираясь на результаты предыдущих исследований [3]) в 6–10 раз по сравнению с жестким ударом по незащищенной поверхности. Такой эффект основан на увеличении площади контакта соударения в 3–5 раз и времени контакта при соударении в 3–4 раза.

Список літератури / References

1. Потураев В.Н. Вибрационная техника и технологии в энергоемких производствах / Потураев В.Н., Франчук В.П., Надутый В.П. : монография / Национальная горная академия Украины. – Днепропетровск, 2002. – 230 с.

Poturaev, V.N., Franchuk, V.P. and Nadutyi, V.P. (2002), *Vibratsionnaya tekhnika i tekhnologii v energoemkikh proizvodstvakh* [Vibration technics and technologies in power-consuming production], Monograph, National Mining Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk.

2. Рабочие поверхности и футеровки барабанных и вибрационных мельниц: монография / Франчук В.П., Настоящий В.А., Маркелов А.Е., Чижик Е.Ф. – Кременчуг : изд-во Щербакowych А.В., 2008. – 384 с.

Franchuk, V.P., Nastoyashchii, V.A., Markelov, A.Ye. and Chizhyk Ye.F. (2008), *Rabochiye poverkhnosti i futerovki barabannykh i vibratsionnykh melnits* [Effective surfaces and linings of drum and vibratory mills], Monograph, Izdatelstvo Shcherbakovykh, A.V., Kremenchug.

3. Надутый В.П. Анализ ударного взаимодействия кусковой горной массы с рабочими поверхностями машин и оборудования / В.П. Надутый, В.В. Сухарев, Д.В. Белошин // Геотехническая механика : межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – 2012. – Вып. 103. – С. 152–159.

Nadutyi, V.P., Sukharev, V.V. and Beliushkin, D.V. (2012), “The analysis of impact interaction of the lumpy rock mass with effective surfaces of machines and equipment”, *Geotekhnicheskaya mekhanika*, Interdepartmental papers of IGTM NAS of Ukraine, issue 103, p. 152-159.

Мета. Визначення залежностей напружень у металевій поверхні робочого органу машини, що захищає від параметрів гумової футеровки, умов співудару та виявлення основних факторів, що обумовлюють ефективність її використання.

Методика. Експерименти проведені на лабораторному стенді, що моделює короб у співвідношенні 1:4. Вимірювання напруги в металі при ударному навантаженні визначається тензометричним методом з використанням стандартної реєструючої апаратури. Кількість проведених експериментів достатня для отримання результатів із довіркою ймовірністю 0,95.

Результати. Встановлений, що факторами, які суттєво впливають на зниження напружень у поверхні машини, що захищається гумовою футеровкою при ударних навантаженнях, є товщина та твердість гумового шару, площа, глибина контакту співудару та його час. Гумова футеровка знижує напругу в поверхні, що захищається, при ударі в 6–10 разів у порівнянні з жорстким ударом по незахищеній поверхні, що пояснюється збільшенням площі контакту співудару у 3–5 разів і часу контакту при зіткненні у 3–4 рази.

Наукова новизна. Встановлено нелінійний характер і чисельні значення залежності напруги в коробі, часу контакту та глибини співудару від товщини гумового шару футеровки та твердості гуми. Отримано фізичне пояснення фактора зниження напруги в металевій конструкції при захисті її футеровкою за рахунок збільшення площі контакту й часу удару.

Практична значимість. Отримані дані дозволяють проводити вибір параметрів футеруючої поверхні. Зокрема, за глибиною контакту підбирається робоча товщина гумового шару футеровки з міркувань збереження її цілісності, а інші чинники визначають захисні властивості футеровки та доцільність її застосування.

Ключові слова: напруга, поверхня, гірська маса, удар, гумова футеровка

Purpose. Defining the dependencies of tensions in the metal surface of effective unit of protective machine on the parameters of the rubber lining, conditions of the joint impact and identification of the main factors that determine the efficiency of its use.

Methodology. The experiments were performed on a laboratory bench, which models the box in the ratio of 1:4. Measurement of tension in metal at impact load is determined by the strain gauge method with a standard recording devices. Number of experiments is enough to obtain results with a confidence probability of 0.95.

Findings. It has been found that the factors that significantly affect the reduction of tension in protected by rubber lining surface of machine at impact loads are the thickness and hardness of the rubber layer, area and depth of the joint impact contact and its time. Rubber lining reduces tension on protected surface at the impact by 6–10 times in comparison with a hard impact to the exposed surface, due to increasing of the contact area of joint impact by 3–5 times and a contact time of the collision by 3–4 times.

Originality. It has been set the linear character and numerical values of dependence of the tension in the box, the contact time and the depth of the joint impact on the thickness of the rubber layer of lining and rubber hardness. A physical explanation of the tension reducing factor in the metal structure at its protection with lining by increasing the contact area and the time of impact.

Practical value. The obtained data allow to make a choice of parameters of a lining surface, particularly operating thickness of a rubber layer of lining is selected by the depth of the contact for reasons of saving its integrity, and other factors define protective properties of lining and expediency of its application.

Keywords: tension, surface, rock mass, impact, rubber lining

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук Б.О. Блюссом. Дата надходження рукопису 02.01.13.