

УДК 62-671:678.074:620.173

В.П. Надутый, д-р техн. наук, профессор,
В.В. Сухарев, канд. техн. наук, науч. сотр.
(ИГТМ НАН Украины),
Д.В. Белюшин, аспирант
(ГВУЗ «НГУ»)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭФФЕКТА ОБЪЕМНОГО
СЖАТИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ЗАЩИТНЫХ
ПОКРЫТИЙ ИЗ ЭЛАСТОМЕРОВ**

В.П. Надутый, д-р техн. наук, професор,
В.В. Сухарев, канд. техн. наук, наук. співр.
(ИГТМ НАН України),
Д.В. Белюшин, аспірант
(ДВУЗ «НГУ»)

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕФЕКТУ ОБ'ЄМНОГО
СТИСНЕННЯ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ПАРАМЕТРІВ ЗАХИСНИХ
ПОКРИТТІВ З ЕЛАСТОМЕРІВ**

V.P. Naduty, D.Sc. (Tech.), Professor,
V.V. Sukharyev, Ph.D. (Tech.), Researcher
(IGTM NAS of Ukraine),
D.V. Beliushin, Doctoral Student
(SHEI «NMU»)

**RESEARCH OF INFLUENCE THE EFFECT OF VOLUME COMPRES-
SION AT DETERMINATION OF PARAMETERS OF
SHEETING FROM ELASTOMERS**

Аннотация. Приведены результаты экспериментальных исследований влияния объемного сжатия при контактных деформациях защитных покрытий из эластомеров рабочих поверхностей горных машин при ударных нагрузках. Показано, что контактная жесткость деформируемой резиновой пластины футеровки увеличивается на 20-45 % по отношению к жесткости элементарного объема под индентором в результате влияния объемного сжатия эластичного материала пластины, вмещающей элементарный объем в зоне деформирования. Установлены зависимости силы вдавливания от площади резиновой футеровки и ее твердости при постоянной глубине вдавливания индентора в линейной зоне деформации резины. Рекомендовано в расчетах толщины футеровки при максимальных ударных нагрузках от падающих кусков горной массы учитывать установленный поправочный коэффициент путем увеличения динамического модуля сжатия эластомера. Приведена формула для пересчета твердости резины на модуль, используемый в расчетах.

Ключевые слова: резина, статический модуль, сила вдавливания.

Широкое использование полимеров в машиностроении позволяет снижать энергопотребление и металлоемкость машин и оборудования, повышать их надежность и ремонтпригодность.

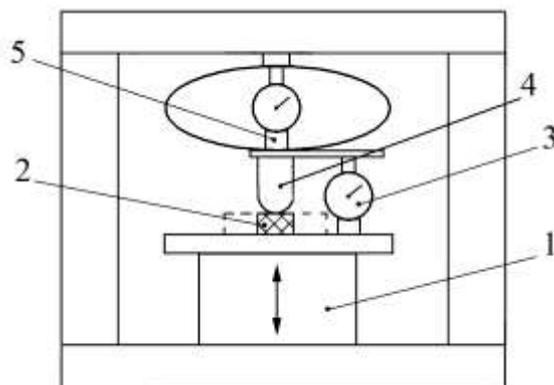
Примером такого использования могут быть защитные футеровки из эластомеров (резины, полиуретана и т. д.) рабочих органов тяжело нагруженных машин. Хорошо себя зарекомендовал опыт использования резиновой футеровки для защиты рабочих поверхностей кузовов карьерных грузовозов, барабанов шаровых мельниц, лотков вибропитателей и конвейеров, бункеров, течек и т. п. Во всех этих случаях преследовалась цель защиты рабочих органов от абразивного износа и для снижения ударных нагрузок при загрузке кусковой горной массы. Несмотря на то, что резина имеет на порядок ниже прочностные характеристики, чем защищаемая стальная поверхность, срок ее службы довольно часто превышает показатели срока службы металлических поверхностей из легированных сталей. При этом напряжения при ударах по защищенной резиной металлической поверхности рабочих органов машин, как минимум, в $3 \div 10$ раз меньше, чем при ударе по незащищенной поверхности. Если выбор толщины футеровок сделан правильно, ее разрушение не происходит. Согласно выполненным ранее исследованиям, это бывает потому, что при ударе через футеровку происходит значительная диссипация энергии удара в слое футеровки [1, 2]. Кроме того, как показали дальнейшие исследования [3], площадь контакта соударения через резину значительно (в $5 \div 10$ раз) больше точечного контакта при жестком ударе о металл. При этом время контакта при мягком ударе в $3 \div 4$ раза больше, чем при жестком. Поэтому имеет место не точечная нагрузка (напряжение в точке соударения), а распределенная по площади мягкого контакта, а импульс силы растянут во времени при той же выполненной энергии удара. Все это физически объясняет положительное влияние резиновой футеровки на снижение ударных нагрузок в защищаемой металлической поверхности при условии правильного выбора толщины резинового слоя, который должен соответствовать максимальной энергии удара и при этом в зоне контакта испытывать деформацию не более 20 % от толщины (линейная зона деформации) во избежание пробоя резины. При решении контактной задачи удара о резиновую футеровку из этих соображений определяется указанная допустимая деформация в площади соударения. В этом случае в расчетах используется статический или динамический модуль Юнга для резины.

Однако деформирование резины в этом случае происходит не как упругого элемента в площади контакта соударения, а как соударение с пластиной с конечными размерами, в десятки раз превышающими площадь контакта соударения. Поэтому деформирование будет стеснено объемным сжатием вокруг площади контакта, и жесткостные показатели резины в расчетах должны учитывать влияние объемного модуля.

Целью исследований авторов является определение степени влияния объемного сжатия на жесткостные параметры резиновой футеровки пластинчатой формы в зоне контакта с падающим грузом. При этом устанавливались зависимости силы вдавливания P сферического индентора от площади резиновых пластин S , постоянной толщины, но разной твердости E_r (в условных единицах

по Шору), а также зависимость величины изменения силы вдавливания ΔP от коэффициента изменения площади резины K_r при разной ее твердости E_r .

Методика исследований предусматривает статические испытания, в которых сила удара заменена силой вдавливания на лабораторном стенде, показанном на рис. 1.

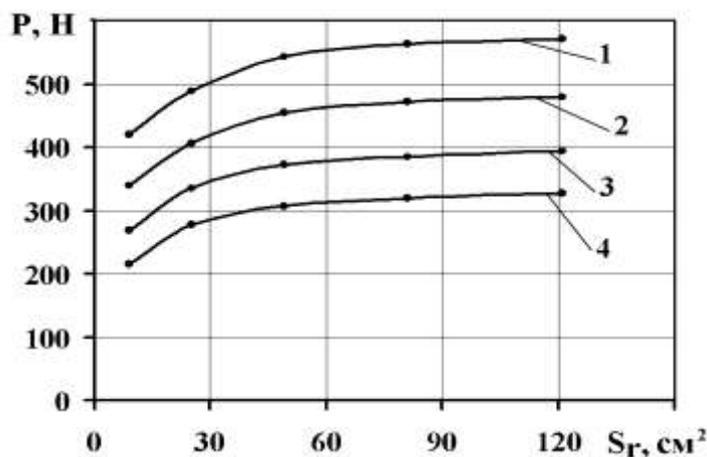


1 – механический пресс; 2 – резина разной площади; 3 – индикатор перемещения;
4 – сферический индентор; 5 – динамометр

Рисунок 1 – Схема лабораторного стенда

Лабораторный стенд состоит из механического пресса 1, резины разной площади 2, индикатора перемещения 3, сферического индентора 4 и динамометра 5. Исследовался процесс вдавливания сферического индентора 4 диаметром $D = 58$ мм в листовую резину толщиной 24 мм и твердостью по Шору $E_r = 52-64$. Сила внедрения индентора 4 в резину создавалась ручным механическим прессом 1. Фиксировались глубина погружения индентора в резину z с помощью индикатора перемещения часового типа 3 и сила вдавливания P , которая измерялась динамометром 5 (ДОСМ 3 – 0,1). В данных экспериментах постоянной величиной являлась глубина погружения индентора в резину $z = 4$ мм, а переменными величинами – площадь S_r и твердость резины E_r , при прочих равных условиях. Исследование изменения величины z не проводилось, вследствие того, что в области малых деформаций (10÷15 %) зависимость "сила-деформация" линейна.

Экспериментальная часть. С целью определения влияния эффекта объемного сжатия были проведены эксперименты, характеризующие изменение величины силы вдавливания P в зависимости от площади S_r и твердости резины E_r . В результате были получены данные в виде зависимости силы вдавливания P от площади резины S_r при разной твердости резины E_r , представленные на рис. 2.

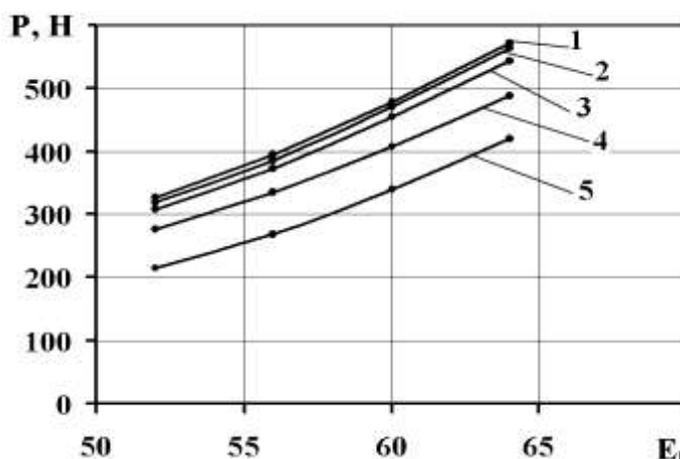


1 – $E_r = 64$; 2 – $E_r = 60$; 3 – $E_r = 56$; 4 – $E_r = 52$

Рисунок 2 – Зависимость силы вдавливания P от площади резины S_r при разной твердости резины E_r

Зависимость силы вдавливания от площади резины имеет параболический характер: с увеличением площади резины, при прочих равных условиях, необходимо прикладывать все большую силу вдавливания P для поддержания постоянной глубины погружения индентора в резину. Физическое объяснение этого заключается в том, что при увеличении площади резины проявляется эффект объемного сжатия и, чем площадь резины больше площади отпечатка, тем больше проявляется его влияние, и все большее усилие необходимо прикладывать для достижения заданной деформации.

В то же время на величину силы вдавливания влияет и твердость резины. Для определения характера этой зависимости были построены графики зависимости силы вдавливания P от твердости резины E_r при разной площади резины S_r , представленные на рис. 3.



1 – $S_r = 121 \text{ cm}^2$; 2 – $S_r = 81 \text{ cm}^2$; 3 – $S_r = 49 \text{ cm}^2$; 4 – $S_r = 25 \text{ cm}^2$; 5 – $S_r = 9 \text{ cm}^2$

Рисунок 3 – Зависимость силы вдавливания P от твердости резины E_r при разной площади резины S_r

Характер зависимости силы вдавливания от твердости резины слабонелинейный. При увеличении твердости резины сила, необходимая для внедрения индентора на заданную глубину, увеличивается.

Для практического использования данных результатов необходимо получить величину изменения силы вдавливания ΔP и коэффициента изменения площади резины K_r . Величина ΔP отображает, на какой процент увеличивается сила вдавливания по отношению к единичной площади (площади резины, равной площади отпечатка индентора) и является поправочным коэффициентом к модулю упругости.

$$\Delta P_i = (P_i 100 / P_e) - 100,$$

где P_e – сила вдавливания при единичной площади резины, равной площади отпечатка индентора.

Коэффициент изменения площади резины K_r представляет собой отношение площади резины S_r к площади отпечатка сферического индентора S_o и характеризует влияние эффекта объемного сжатия.

Площадь отпечатка сферического индентора S_o рассчитывается по формуле

$$S_o = \pi D z$$

На основании расчетов получена зависимость величины изменения силы вдавливания ΔP от коэффициента изменения площади резины K_r при разной твердости резины E_r , представленная на рис. 4.

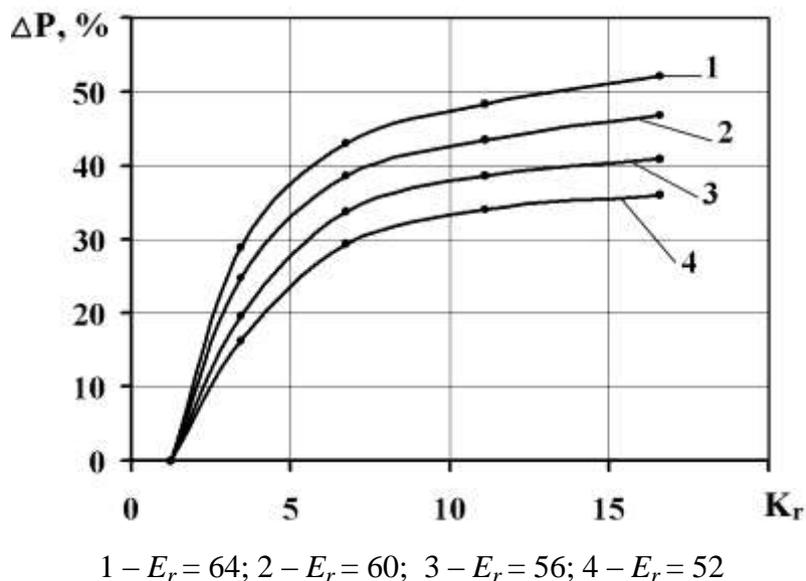


Рисунок 4 – Зависимость величины изменения силы вдавливания ΔP от коэффициента изменения площади резины K_r при разной твердости резины E_r

Зависимость величины изменения силы вдавливания от коэффициента изменения площади резины имеет параболический характер: на участке от $K_r = 1$ до $K_r = 7$ наблюдается резкий рост силы вдавливания, необходимой для преодоления эффекта объемного сжатия. При дальнейшем увеличении коэффициента изменения площади резины K_r рост силы вдавливания несуществен.

Следует отметить, что в процессе экспериментов жесткостная характеристика исследуемой резины определялась ее твердостью непосредственно прибором. Поскольку при расчетах величина твердости не используется, то возможно определение модуля упругости через твердость резины, как это рекомендовано в литературе [4]: $E = 3,57 \cdot e^{0,033H}$ – модуль сжатия в МПа, $G = 0,126 \cdot e^{0,039H}$, где $H = E_r$ – твердость резины в единицах по Shore.

Выводы

Исследование показало необходимость применения поправочного коэффициента при использовании в расчетах модуля упругости, так как ранее не учитывалось влияние эффекта объемного сжатия при изменении площади резины, а применялись значения модуля упругости, полученные для единичного участка. В зависимости от твердости резины поправочный коэффициент составляет 20÷45 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Потураев, В.Н. Резина в горном деле / В.Н. Потураев, В.И. Дырда, В.П. Надутый. – М.: Недра, 1974. – 150 с.
2. Потураев, В.Н. Прикладная механика резины / В.Н. Потураев, В.И. Дырда, И.И. Круш. – К.: Наук. думка, 1975. – 214 с.
3. Надутый, В.П. Исследование напряженного состояния рабочего органа вибрационной машины с защитным слоем при ударных нагрузках / В.П. Надутый, В.В. Сухарев, Д.В. Бельюшин // Вібрації в техніці та технологіях. – 2012. – Вип. 4(68). – С. 71-75.
4. Дырда, В.И. Резиновые детали в машиностроении / В.И. Дырда, Е.Ф. Чижик. – Днепропетровск: Полиграфист. 2000. – 581 с.

REFERENCES

1. Poturayev, V.N., Dyrda, V.I. and Naduty, V.P. (1974), *Rezina v gornom dele* [Rubber in mountain business], Nedra, Moscow, USSR.
2. Poturayev, V.N., Dyrda, V.I. and Krush, I.I. (1975), *Prikladnaya mekhanika reziny* [Applied mechanics of rubber], Naukova dumka, Kiev, USSR.
3. Naduty, V.P., Sukharyev, V.V. and Beliushin, D.V. (2012), "Research of the tense state of working organ of oscillation machine with a protective layer at the shock loading", *Vibratsi v tekhnitsi ta tekhnologiyakh*, no. 4, pp. 71-75.
4. Dyrda, V.I. and Chizhik, Ye. F. (2000), *Rezinovyye detali v mashinostroyenii* [Rubber details are in an engineer], Poligrafist, Dnepropetrovsk, Ukraine.

Об авторах

Надутый Владимир Петрович, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом механики машин и процессов переработки минерального сырья, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, NadutyVP@yandex.ua

Сухарев Виталий Витальевич, кандидат технических наук, научный сотрудник отдела механики машин и процессов переработки минерального сырья, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, agnivik@ukr.net.

Белюшин Дмитрий Владимирович, аспірант, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепропетровск, Украина.

About the authors

Naduty Vladimir Petrovich, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor, Head of Department of Mechanics of Mineral Processing Machines and Processes, M.C. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, NadutyVP@yandex.ua

Sukharyev Vitaliy Vitalievich, Candidate of Technical Sciences (Rh.D), Researcher in Department of Mechanics of Mineral Processing Machines and Processes, M.C. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, agnivik@ukr.net,

Beliushin Dmitriy Vladimirovich, Doctoral Student of the State Higher Educational Establishment is the "National Mining University", Zaporozhye iron-ore combine, designer, Dnepropetrovsk, Ukraine.

Анотація. Приведені результати експериментальних досліджень впливу об'ємного стиснення при контактних деформаціях захисних покриттів з еластомерів робочих поверхонь гірських машин при ударних навантаженнях. Показане, що контактна жорсткість деформуємої гумової пластини футеровки збільшується на 20-45 % стосовно жорсткості елементарного об'єму під індентором у результаті впливу об'ємного стиснення еластичного матеріалу пластини, що вміщає елементарний об'єм у зоні деформування. Установлені залежності сили вдавнення від площі гумової футеровки і її твердості при постійній глибині вдавнення індентора в лінійній зоні деформації гуми. Рекомендовано в розрахунках товщини футеровки при максимальних ударних навантаженнях від падаючих шматків гірської маси враховувати встановлений поправочний коефіцієнт шляхом збільшення динамічного модуля стиснення еластомеру. Наведена формула для перерахування твердості гуми на модуль, використовуваний у розрахунках.

Ключові слова: резина, статичний модуль, сила вдавлювання.

Abstract. The article presents results of experimental researches of impact of the 3D compression occurred at the impact loads due to the contact deformations of elastomeric protective layer on the working surfaces of mining machines. It is shown that contact rigidity of the deformable rubber plate in the liner increases by 20-45% to rigidity of elementary volume under the indenter due to the action of the 3D compression in the elastic plate containing the elementary volume in zone of deformation. The author revealed dependence between indentation force and area and hardness of the rubber liner at permanent depth of hardness indentation in zone of the rubber linear deformation. While calculating the liner thickness for maximal impact loads caused by falling pieces of rocks, it is recommended to take into account a fixed correction factor by way of increasing dynamic module of elastomer compression. A formula is presented for re-calculating of the rubber hardness for the module used in the calculations.

Keywords: rubber, static module, indentation force.

Статья поступила в редакцию 5.02. 2013

Статья рекомендована к печати д-ром техн. наук В.И.Дырдой

УДК 622.648

С.Н. Пономаренко, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.
(ИГТМ НАН Украины)

**ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОСМЕСИ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
ПАРАМЕТРЫ ПНЕВОТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ЗАКЛАДОЧНЫМИ
УСТАНОВКАМИ ЭЖЕКТОРНОГО ТИПА**

С.М. Пономаренко, канд. техн. наук, ст. наук співр.
(ИГТМ НАН України)

**ВПЛИВ ХАРАКТЕРИСТИК АЕРОСУМІШІ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ
ПАРАМЕТРИ ПНЕВОТРАНСПОРТУВАННЯ ЗАКЛАДАЛЬНИМИ
ПРИСТРОЯМИ ЕЖЕКТОРНОГО ТИПУ**

S.N. Ponomarenko, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher
(IGTM NAS of Ukraine)

**INFLUENCE OF THE AERO MIXTURE CHARACTERISTICS ON
TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF PNEUMATIC TRANSPORTATION
STOWING SETTINGS THE EJECTOR TYPE**

Аннотация. Статья направлена на изложение результатов получения новых зависимостей в методах расчета параметров пневмотранспортирования горной породы закладочными установками эжекторного типа.

В теоретической части исследования основное внимание уделялось особенностям взаимодействия потоков аэросмеси в зоне смешения кольцевого эжектора. Получены зависимости основных технологических параметров пневмотранспортирования от характеристик аэросмеси для установок эжекторного типа. Приведены результаты исследований влияния характеристик горной породы на технологические параметры ее пневмотранспортирования закладочными установками с кольцевым эжектором.

В статье предложен новый метод описания движения аэросмеси в пневматических закладочных установках с кольцевым эжектором. Метод основан на применении трех коэффициентов: интегрального коэффициента сопротивления, коэффициентов рассеивания энергии потока сжатого воздуха и степени расширения этого потока. Полученные результаты могут быть применены при расчете и проектировании пневматических закладочных установок с кольцевым эжектором для технологий горного производства.

Ключевые слова: аэросмесь, горная порода, эжектор, пневмотранспорт.

Основной проблемой, сдерживающей широкое промышленное применение трубопроводных пневмотранспортных систем, является значительный удельный расход воздуха, который необходим для обеспечения требуемых производительности и дальности транспортирования. В связи с этим возникает необходимость более досконального исследования взаимосвязи основных технических и технологических параметров пневмотранспортирования. В первую очередь это относится к характеристикам транспортируемого материала, параметрам подаваемого сжатого воздуха и конструктивным параметрам пневмотранспортной установки.