

**ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРИНЦИПОВ БИОМЕХАНИКИ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ
ЭЛАСТОМЕРНЫХ ФУТЕРОВОК И ПОКРЫТИЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ, ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ АГРЕГАТОВ И СООРУЖЕНИЙ
ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

Настоящий В.А., к.т.н., профессор,
Яцун В.В., к.т.н., доцент,

Центральноукраинский национальный технический университет
brmb73@gmail.com

Аннотация. Развитие конструкции эластомерных (резина, полиуретан) износостойких покрытий и футеровок поверхностей бункеров, рудоспусков, перегрузочных узлов, непосредственно контактирующих с перерабатываемым материалом, возможно с использованием методики конструирования, основанной на принципах биомеханики.

Представлены общие принципы создания конструкции эластомерной футеровки, аналогичной устройству желудка птиц: многослойная футеровка имеет верхний слой с большой прочностью и жесткостью, средний слой из высокодемпфирующего материала и нижний слой из высокоэластического износостойкого материала, защищенного от износа конструктивными способами.

Ключевые слова: эластомерная футеровка, принципы биомеханики, модель желудка птиц, «идеализированная» конструкция футеровки.

**ПРО ВИКОРИСТАННЯ ПРИНЦИПІВ БІОМЕХАНИКИ
ПРИ КОНСТРУЮВАННІ ЕЛАСТОМІРНИХ ФУТЕРОВОК І ПОКРИТТІВ ПОВЕРХОНЬ
ТЕХНОЛОГІЧНИХ, ТРАНСПОРТУЮЧИХ АГРЕГАТІВ ТА СПОРУД
ПІДПРИЄМСТВ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ**

Настоящий В.А., к.т.н., профессор,
Яцун В.В., к.т.н., доцент,

Центральноукраїнський національний технічний університет
brmb73@gmail.com

Анотація. Розвиток конструкцій еластомерних (гума, поліуретан) зносостійких покриттів і футеровок поверхонь бункерів, рудоспусків, перевантажувальних вузлів, які безпосередньо контактують з матеріалом, що переробляється, можлива з використанням методики конструювання, заснованої на принципах біомеханіки.

Подані загальні принципи побудови конструкції еластомерної футеровки, аналогічної конструкції шлунку птахів: багат шарова футеровка має верхній шар з великою міцністю та жорсткістю, середній шар з високодемпфуючого матеріалу та нижній шар з еластичного зносостійкого матеріалу, захищеного від зносу конструктивними способами.

Ключові слова: еластомерне футерування, принципи біомеханіки, модель шлунку птахів, конструкція «ідеалізованого» футерування.

**ABOUT USING BIOMECHANIC PRINCIPLES DURING CONSTRUCTING
OF ELASTOMERIC LININGS AND COVERINGS OF SURFACES
OF TECHNOLOGICAL, TRANSPORTING AGGREGATES AND STRUCTURES
OF ENTERPRISES OF MINING AND METALLURGICAL COMPLEX**

Nastoyashiy V.A., PhD., Professor,

Abstract. Elastomeric materials (rubber, polyurethane) have firmly taken leading positions as structural materials of wear-proof coverings and linings of bunkers, ore discharges, reloading units that directly contact with the processed material. Further introduction of elastomeric coverings can be facilitated by design techniques based on the principles of biomechanics.

Useful during creation of multilayer coverings and linings from elastic materials can be the principles of the operation of the stomach of birds, since the model of the stomach can be represented in the form of a multilayer elastic shell in which, using muscle energy and more solid environment a «lump» of firm material is crushed.

From a purely mechanical point of view, the features of the structure of the stomach provided a perfect system for protecting the muscle layer from damage and deterioration. Part of these features can be used for creation of protective rubber and polyurethane linings and coverings of machines and equipment.

In this work, the general principles of creating an «idealized» lining design are presented: an elastomeric lining must be multi-layered; an upper layer (directly adjacent to the surface to be protected) must have high strength and rigidity; a middle layer must consist of highly damping material; a lower layer must consist of highly elastic wear-proof material and be protected against wear by structural methods.

The following principles will be useful during creation of new, more advanced constructions of elastomeric linings and coverings of surfaces of technological, transporting, shifting aggregates and buildings.

Keywords: elastomeric lining, principles of biomechanics, model of stomach of birds, construction of «idealized» lining.

Вступление. Эластомерные материалы (резина, полиуретан) прочно заняли ведущие позиции как конструкционные материалы износостойких покрытий и футеровок поверхностей бункеров, рудоспусков, перегрузочных узлов, непосредственно контактирующих с перерабатываемым материалом. Дальнейшему внедрению эластомерных покрытий могут способствовать методики конструирования, основанные на использовании принципов биомеханики.

Анализ литературных источников. В известной литературе имеется множество примеров, когда технологические особенности и устройства заимствовались из живой природы [1].

Проблема создания новых более совершенных конструкций эластомерных покрытий поверхностей транспортирующих и перегрузочных сооружений предприятий горно-металлургического комплекса требует поиска принципиально новых подходов, в том числе и обращения к принципам биомеханики.

Целью данной работы является применение принципов работы желудка птиц для создания многослойных конструкций эластомерных покрытий и футеровок.

Результаты исследований. Представим процесс измельчения в барабанной мельнице, например, мельнице мокрого самоизмельчения (ММС), в виде некоторой феноменологической модели; при вращении барабана перерабатываемый материал, измельчающая среда (крупные куски руды, металлические шары, рудная галля) и пульпа, имеющая довольно агрессивный характер, формируется в виде сегмента; процесс измельчения в этом «комке» осуществляется за счет ударных нагрузок и истирания между слоями. Если рассматривать процесс измельчения именно так, то наиболее близкую аналогию можно найти в работе желудка птиц [2, 3].

Желудок – ventriculus, gaster – состоит из двух отделений – железистого и мышечного; в железистом отделении вырабатываются ферменты; в мышечном происходит механическая

обработки пищи; у птиц мышечное отделение заменяет жевательный аппарат. Сокращается желудок ритмически 2-3 раза в минуту, имеет давление 265-280 мм ртутного столба и температуру до 42°C. Поступившая в желудок кормовая масса вместе с ферментами формируется в виде «комка» и тщательно растирается, а находящиеся в желудке гравий и другие камни увеличивают степень дробления.

Стенка измельчительной части желудка (рис. 1) состоит из слизистой оболочки с подслизистой основой, мышечной и адвентициальной оболочек. Мышечная оболочка образована гладкой мышечной тканью и состоит из трех слоев: адвентициальная (наружная оболочка) образована фиброзной соединительной тканью с большим количеством эластических волокон; слизистая оболочка состоит из эпителия, вырабатывающего вязкую слизь, и рыхлой соединительной ткани. Поверхность слизистой покрыта плотной кератиноподобной пленкой – кутикулой, которая в процессе истирания самовосстанавливается. Поверхность кутикулы покрыта столбиками, которые обуславливают ее шероховатость и улучшают способность к перетиранию пищи. Кутикула вместе со слизью предохраняет слизистую оболочку от механических повреждений, а также способствует также перетиранию пищи.

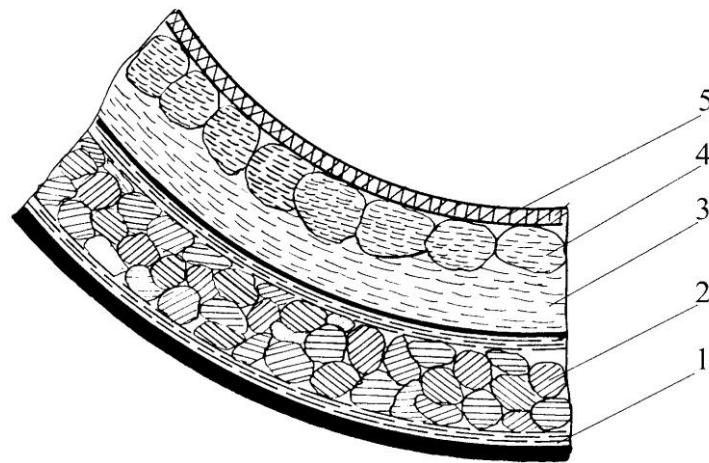


Рис. 1. Гистологическое строение стенки мышечного отделения желудка утки:
1 – адвентициальная оболочка; 2 – мышечный слой; 3 – подслизистая оболочка;
4 – слизистая оболочка; 5 – кутикула

Как видно, технологический процесс измельчения материала в барабанной мельнице и желудке птицы (исключая, естественно, его физиологическую сторону) в механическом смысле вполне совпадает. Для дальнейших исследований выделим некоторые особенности строения желудка (следует подчеркнуть, что эти особенности с небольшими изменениями характерны для гистологического строения всех элементов пищеварительного тракта большинства животных, птиц и человека).

1. Механическую модель желудка можно представить в виде многослойной эластической оболочки, в которой с помощью мышечной энергии измельчается «комоч» твердого материала; процесс измельчения осуществляется в основном за счет истирания между слоями загрузки, в том числе с помощью более твердой измельчающей среды (гравий, камни).

2. Стенка желудка представляется многослойной и состоит из трех основных слоев: внешнего слоя из прочных гибких соединительнотканых волокон; среднего мышечного слоя и внутреннего слизистого слоя, состоящего из рыхлой соединительной ткани; у птиц она дополнительно покрыта плотным износостойким слоем (кутикула).

3. С точки зрения динамики наибольшую прочность и жесткость имеет внешний слой; наибольшую диссипацию средний и внутренний слои; наибольшую сопротивляемость к истиранию имеет внутренний слой.

4. Защита мышечного слоя от механических повреждений и слизистой от повреждения и изнашивания обеспечивается как особенностями строения слизистой оболочки (рыхлая ткань с большим коэффициентом диссипации, наличие на поверхности многочисленных сосочков, складок, самовосстанавливающейся износостойкой пленки кутикулы и т.п.), так и выделением особой слизи, которая существенно уменьшает трение между «комком» пищи и слизистой оболочкой.

Если рассматривать желудок с чисто механической точки зрения, то следует отметить, что именно отмеченные особенности его строения обеспечили создание такой совершенной системы защиты мышечного слоя от повреждений и изнашивания. Часть этих особенностей, безусловно, можно использовать при создании защитных резиновых и полиуретановых футеровок и покрытий машин и оборудования. Все сказанное выше позволяет сформулировать в общих чертах основные принципы конструирования многослойных эластомерных футеровок барабанных мельниц и других машин и сооружений, в которых имеются перемещение и падение больших потоков крупнокусковых материалов руды то есть ударные нагрузки сочетаются с интенсивным изнашиванием, а именно мельниц других типов, кузовов автомобилей, горных питателей, рудоспусков и т.д. Безусловно, автоматическое перенесение особенностей гистологического строения стенки желудка на конструкцию эластомерной футеровки вряд ли возможно, а в некоторых случаях и экономически нецелесообразно. Поэтому ниже ограничимся общими принципами для создания варианта «идеализированной» (рис. 2) конструкции футеровки.

1. Эластомерная футеровка должна быть многослойной; толщина каждого слоя диктуется следующим: высотой технологической загрузки и падения перерабатываемых материалов, прочностью руд, режимом измельчения и транспортирования, наличием крупных кусков руды и металлических шаров и т.д.

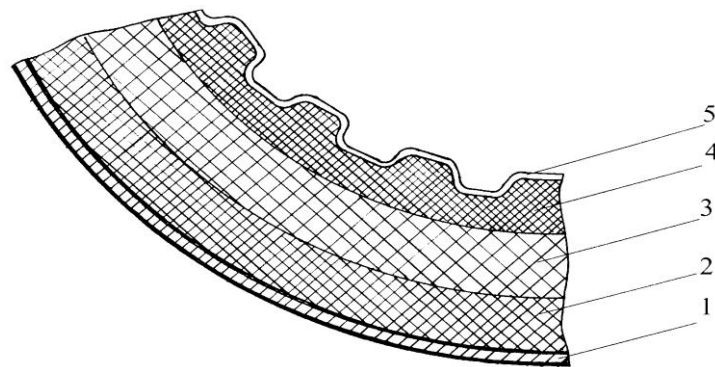


Рис. 2. Строение «идеализированной» эластомерной футеровки мельницы:
1 – барабан; 2 – нижний слой; 3 – средний демпфирующий слой; 4 – наружный износостойкий слой; 5 – защитный износостойкий слой

2. Верхний слой футеровки (непосредственно примыкающий к защищаемой поверхности) должен обладать большой прочностью, жесткостью и низкими релаксационными свойствами – время релаксации по возможности должно быть минимальным, последнее условие необходимо для более надежного метода крепления футеровки к поверхности с помощью механической системы, например, «болт-гайка».

3. Средний слой должен состоять из высокодемпфирующего материала, способного поглощать большие ударные нагрузки и предохранять (совместно с верхним слоем) защищаемую футеровкой металлическую поверхность от разрушительного действия ударных нагрузок.

4. Нижний слой должен состоять из высокоэластического износостойкого материала. Он непосредственно соприкасается с перерабатываемой средой и поэтому испытывает как ударные нагрузки, так и интенсивное истирание с механическим повреждением верхнего слоя: сколы, острые порезы и т.д. Поэтому нижний слой футеровки должен быть защищен

следующими способами:

- специальной жидкостью, уменьшающей трение;
- защитным слоем более износостойкого материала, например, полиуретаном, сплавом металлов или другими материалами;

- специальной конструкцией поверхности, позволяющей снижать ударные нагрузки.

Снижение ударных нагрузок реализуется за счет особенностей конструкции, наиболее важными из которых являются:

- устройство эластичных гребней для эффективного уменьшения ударных импульсов в соответствии с принципом «поддаться, чтобы устоять». Такой профиль футеровки особенно важен при малых углах встречи футеровки с измельчаемым материалом, т.е. при наличии так называемого эффекта контакта при скольжении сегмента загрузки.

- устройство специальных ниш, которые в процессе эксплуатации заполняются измельченным материалом и металлическими шарами, создавая тем самым некоторый промежуточный слой типа «третьего слоя». Такой слой предохраняет резиновую футеровку от ударных нагрузок и износа и является довольно эффективным для некоторых типов мельниц.

Спроектированная с участием авторов резиновая футеровка шаровой мельницы, на поверхности которой были выполнены ниши, заполняемые в процессе работы шарами и измельченным материалом, имела время наработки на отказ на 50% больше по сравнению с футеровкой обычной конструкции [4-6].

Выводы и перспективы дальнейших исследований:

1. Некоторые принципы биомеханики в той или иной степени уже успешно используются в конструкциях многослойных эластомерных футеровок горных машин и оборудования.

2. Научно-конструкторские разработки авторов подтверждают эффективность футеровок, разработанных на основании принципов биомеханики.

3. Изложенные принципы будут полезны при создании новых, более совершенных конструкций эластомерных футеровок и покрытий поверхностей технологических, транспортирующих, перегрузочных агрегатов и сооружений предприятий горно-металлургического комплекса.

Литература

1. Перегудов Ф.И. Введение в системный анализ / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. – М.: Высшая школа, 1989. – 367 с.

2. Селянский В.М. Анатомия и физиология сельскохозяйственной птицы / В.М. Селянский. – М.: Агропромиздат, 1986. – 273 с.

3. Вилли К. Биология / К. Вилли. – М.: Мир, 1968. – 808 с.

4. Франчук В.П. Рабочие поверхности и футеровки барабанных и вибрационных мельниц / В.П. Франчук, В.А. Настоящий, А.Е. Маркелов, Е.Ф. Чижик // Комсомольськ-Кременчук; Науково-виробниче видання, 2008. – 382 с.

5. Защитные футеровки и покрытия горно-обогачительного оборудования А.А. Тарасенко, Е.Ф. Чижик, А.А. Взоров, В.А. Настоящий. – М.; Недра, 1985. – 204 с.

6. А.с. №1235527 (СССР) Футеровка барабанной мельницы. /Настоящий В.А., Тарасенко А.А., Чижик Е.Ф. и др. Опубл. в Б.И. № 21, 1986, МКИ В02С17/22.

Стаття надійшла 17.14.2018