

УДК 620.178:677.042

**В.М. Сербин**, к.т.н., доц., Северо-Кавказский Федеральный Университет (СКФУ)

e-mail: [vmserbin@yandex.ru](mailto:vmserbin@yandex.ru)

## **Модернизация ребристой резиновой футеровки спиральных классификаторов**

*Приведены результаты модернизации ребристой резиновой футеровки спиральных классификаторов, путем совершенствования физико-механических свойств материала и оптимизации конструктивных параметров футеровочных элементов. Цель модернизации – повышение износостойкости и экономической эффективности футеровки.*

*Ключевые слова:* спиральный классификатор, ребристая футеровка, резина, износ, износостойкость.

**V.M. Serbin**

## **Modernization Ribbed Rubber the Lining of Spiral Qualifiers**

*Results of modernisation ridge rubber the lining spiral qualifiers, by perfection of physicomachanical properties of a material and optimisation of design data lining elements are resulted. The modernisation purpose - wear resistance and economic efficiency increases lining.*

*Keywords:* the spiral classifier, ribbed lining, rubber, deterioration, wear resistance.

**Введение.** В наших предыдущих сообщениях [1, 2] было показано, что с учетом специфики взаимодействия рабочих органов спиральных классификаторов с абразивной средой, повышение износостойкости футеровочных элементов может быть достигнуто комплексным путем. В частности, для уменьшения износа рабочей поверхности этих элементов было предложено использовать метод самофутерования, а торцевой поверхности – совершенствовать свойства материала. Однако в процессе реализации первого направления была существенно увеличена масса, и, соответственно, стоимость футеровки. Что касается второго направления, то основное внимание на первых этапах наших исследований было уделено относительно дешевым и доступным каучукам общего назначения, которые, однако, не показали значительных преимуществ по сравнению с применяемой в настоящее время серийной резиновой смесью ИРП-10214 [2]. Поэтому для дальнейшего повышения эффективности

существующей резиновой футеровки необходимо продолжить поиск более износостойкого футеровочного материала и снизить ее массу. В настоящем сообщении рассматриваются результаты выполненной работы.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Анализ показал, что поскольку возможности существующей сырьевой базы в решении поставленной задачи практически исчерпаны, то следует искать другие направления, в том числе – использовать последних достижений в области синтеза синтетических каучуков. В этой связи наше внимание привлекла информация о разработке Воронежским филиалом НИИСК им. Лебедева перспективного диенового каучука под торговой маркой "Резиласт-1".

Новый каучук представляет собой сополимер бутадиена, стирола и акрилонитрила (НАК), и был предложен, в свою очередь, как альтернатива комбинации СКД+СКС. По данным разработчика вулканизаты на основе этого каучука характеризуются высокой износостойкостью, теплостойкостью, сопротивлением разрастанию трещин и многократному растяжению. Кроме того, этот каучук имеет ряд преимуществ перед композицией СКД+СКС по технологическим свойствам и не требует совмещения на стадии приготовления. Наличие в структуре сополимера полярных групп придает резинам масло-бензостойкость, что весьма важно, т. к. в ряде технологических операций рудоподготовки используются составляющие нефтяных субстанций.

Для оценки износостойкости нового полимера в условиях, характерных для футеровки спиральных классификаторов, и получения соответствующих практических рекомендаций, были проведены сравнительные испытания эталонного вулканизата ИРП-10214 и наполненной эластомерной композиции на основе каучука "Резиласт-1" (шифр СЧР-2), физико-механические показатели которых приведены в таблице.

Таблица 1.

**Физико-механические показатели экспериментальных резин**

Показатель	Шифр резиновой смеси	
	ИРП-10214	СЧР-2
Условная прочность при растяжении, МПа	22,5	23,3
Относительное удлинение при разрыве, %	400	330
Эластичность по отскоку, %	30,0	22,0
Твердость по Шору А, усл. ед.	67,0	84,0
Сопротивление раздиру, Н/мм	82,0	58,0

Согласно этой таблице эластомеры имеют соизмеримые прочностные показатели, однако новый полимер превосходит эталон по твердости, что, согласно накопленному опыту, оказывает положительное влияние на изгибную жесткость консольной части футеровочной плиты и

способствует созданию стабильных условий изнашивания ее торцевой поверхности.

Сравнительные испытания проводились на многофункциональной лабораторной установке [2]. В качестве основных параметров испытаний были приняты: скорость скольжения (0,5 м/с), нагрузка (0,05...0,5 МПа) и температура жидкой среды (5...95 °С), определенные на основании анализа и обобщения технических и эксплуатационных характеристик спиральных классификаторов. Трение резиновых образцов осуществлялось о закрепленный абразив, выполненный из белого электрокорунда твердостью 9...10 ед. по Моосу и размерами основной фракции 0,32 мм. В качестве жидкой среды использовалась водопроводная вода. В процессе эксперимента фиксировалась сила трения и температура в трибосопряжении, а износ оценивался по линейной интенсивности изнашивания.

Следует отметить, что спиральные классификаторы относятся к аппаратам, в которых реализуется 100% скольжение рабочих элементов по абразиву при наличии водной среды, которая оказывает значительное влияние на трение и износ высокоэластичных материалов. По крайней мере предыдущие испытания показали [3], что введение в зону трения воды приводит к резкому снижению интенсивности изнашивания эластомеров, вследствие стабилизации температуры в трибосопряжении, смазочного действия жидкости и сглаживания микрошероховатостей абразива. Указанная тенденция была сохранена и в предлагаемом эксперименте при изучении влияния нагрузки на износ опытных резин (рис. 1).

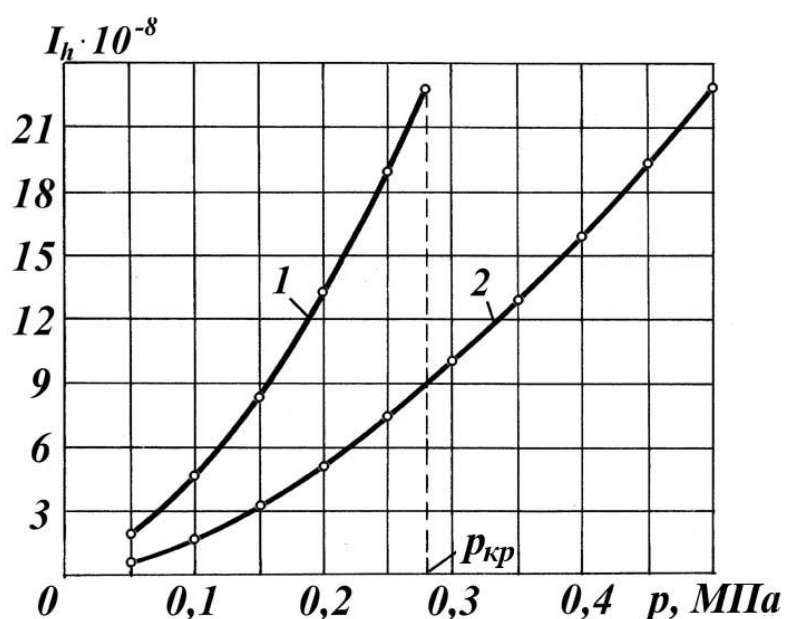


Рис. 1. Зависимость интенсивности изнашивания резины ИРП-10214 (1) и СЧР-2 (2) от давления ( $v = 0,5$  м/с,  $T = 20^\circ\text{C}$ )

Согласно графиков обе зависимости имеют нелинейный характер, а интенсивность изнашивания вулканизатов в изучаемом диапазоне давлений соответствует смешанному механизму изнашивания с преобладанием усталостного. Практическая ценность полученного результата заключается в том, что при реализации подобного механизма изнашивания обеспечивается оптимальная долговечность объектов эксплуатации, допускающая промышленное применение обоих эластомеров. Однако, как следует из рисунка, износостойкость нового вулканизата во всем диапазоне нагрузок в 2...3 раза превосходит износостойкость эталонной резины. Это очень интересный и важный результат, т. к. многолетний опыт изучения триботехнических характеристик разнородных футеровочных материалов [3] позволяет квалифицированно заявить, что найден перспективный эластомер, составляющий серьезную конкуренцию эталону.

Основные причины повышенной износостойкости нового полимера заключаются, по нашему мнению, в оптимальном сочетании достаточно высоких прочностных показателей и устойчивости его внутренней структуры. О первом свидетельствуют данные, приведенные в таблице. Что касается структурной составляющей, то анализ продуктов износа, изучение морфологии поверхности трения изношенных образцов не обнаружил механохимических изменений, вызванных деструкцией молекулярных цепей. Отсюда можно сделать вывод, что "Резиласт-1" действительно сочетает положительные качества, присущие как СКС так и СКД [3]. Эксперимент также показал, что фрикционные характеристики обоих вулканизатов практически совпадают и этим фактором нельзя объяснить различия в их поведении.

К положительным качествам нового эластомера относится также возможность использования в более жестком нагрузочном режиме. Ранее было показано [3], что резина ИРП-10214 может эффективно работать только при нагрузках, не превышающих некоторое критическое значение ( $\sim 0,3$  МПа), поскольку при повышенных давлениях из-за нарушения условий смазки в трибосопряжении развивается релаксационный процесс (stick-slip колебания). Что касается резины на основе "Резиласт-1", то увеличение давления вплоть до 0,5 МПа не привело к развитию колебательных процессов, что расширяет диапазон использования указанного эластомера по нагрузочному режиму.

В процессе вращения спирали футеровочные элементы периодически погружаются под зеркало пульпы и вследствие эффективной циркуляции жидкой среды по многочисленным дренажным каналам, расположенным на макрошероховатой поверхности минеральной постели, в зоне трения поддерживается постоянная температура, что подтверждается результатами методического эксперимента [3]. Поскольку спиральные классификаторы работают в различных климатических зонах, то это

обстоятельство требует учета температурного режима эксплуатации футеровочных элементов, т. к. водная среда, используемая в операциях рудоподготовки, забирается из естественных источников (рек, озер и т. п.). В этой связи на втором этапе исследования было изучено влияние температуры жидкой среды на триботехнические характеристики эластомеров, результаты которого представлены на рис. 2.

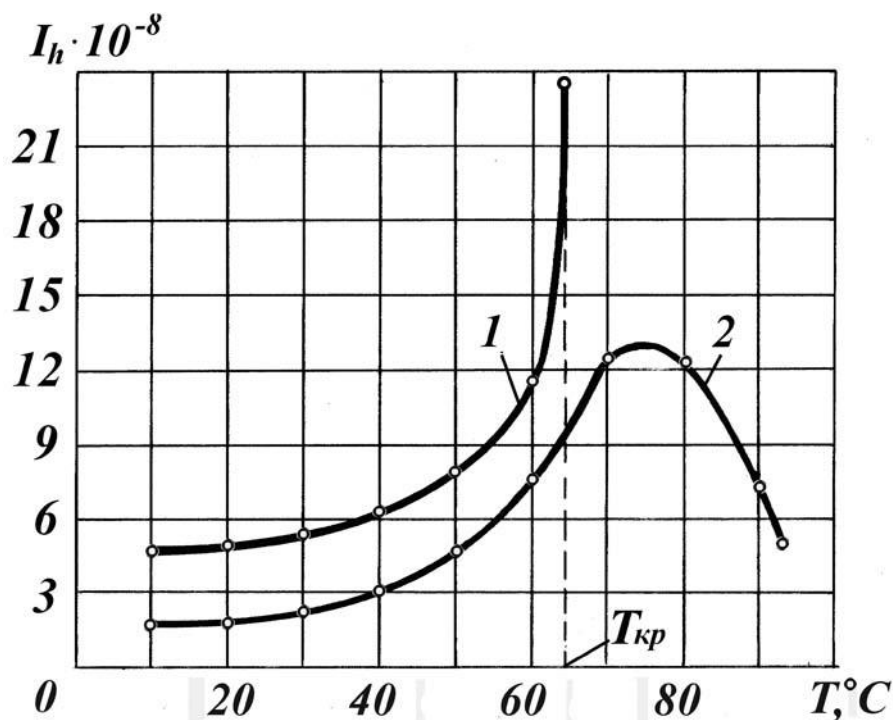


Рис. 2. Влияние температуры жидкой среды на интенсивность изнашивания резины ИРП-10214 (1) и СЧР-2 (2) ( $p = 0,1$  МПа,  $v = 0,5$  м/с)

Анализ графиков показывает, что на рабочем участке температур ( $\sim 10 \dots 60^\circ\text{C}$ ) обе кривые изменяются симбатно, однако, как и в предыдущем случае, износостойкость нового вулканизата в указанном интервале в 2...3 раза выше чем у эталонной резины.

При дальнейшем повышении температуры воды интенсивность изнашивания резины ИРП-10214 резко возрастает (кривая 1). На практике это выражалось в периодическом отделении с поверхности трения продуктов износа в виде крупных скаток и появлении характерного "рисунок Шалламаха", что свидетельствовало о развитии одного из наиболее интенсивных механизмов изнашивания посредством "скатывания". Как было показано в работе [4], причиной возникновения этого негативного процесса является механохимическая деструкция полимера, инициированная, в свою очередь, термическим влиянием воды и нарушением условий смазки в трибосопряжении. Таким образом, эталонная резина характеризуется повышенной износостойкостью только в ограниченном интервале температур.

Что касается резины на основе "Резиласт-1", то во всем изучаемом диапазоне температур (вплоть до точки кипения воды), этот эластомер показал высокую износостойкость (кривая 2 на рис. 2). Более того, при температурах свыше 80°C интенсивность изнашивания опытного вулканизата даже снизилась. Это очень интересный и важный результат, т. к. все ранее исследованные эластомеры подобными свойствами не обладали.

Изучение микрорельефа истертых поверхностей и анализ продуктов износа показал, что, как и в предыдущем случае, основная причина повышенной износостойкости нового полимера заключается в высоких прочностных показателях каучука и термомеханической устойчивости его внутренней структуры. Как следствие, во всем интервале температур, вплоть до точки кипения воды, развивается характерный для эластомеров смешанный механизм изнашивания с преобладанием наиболее выгодного – усталостного.

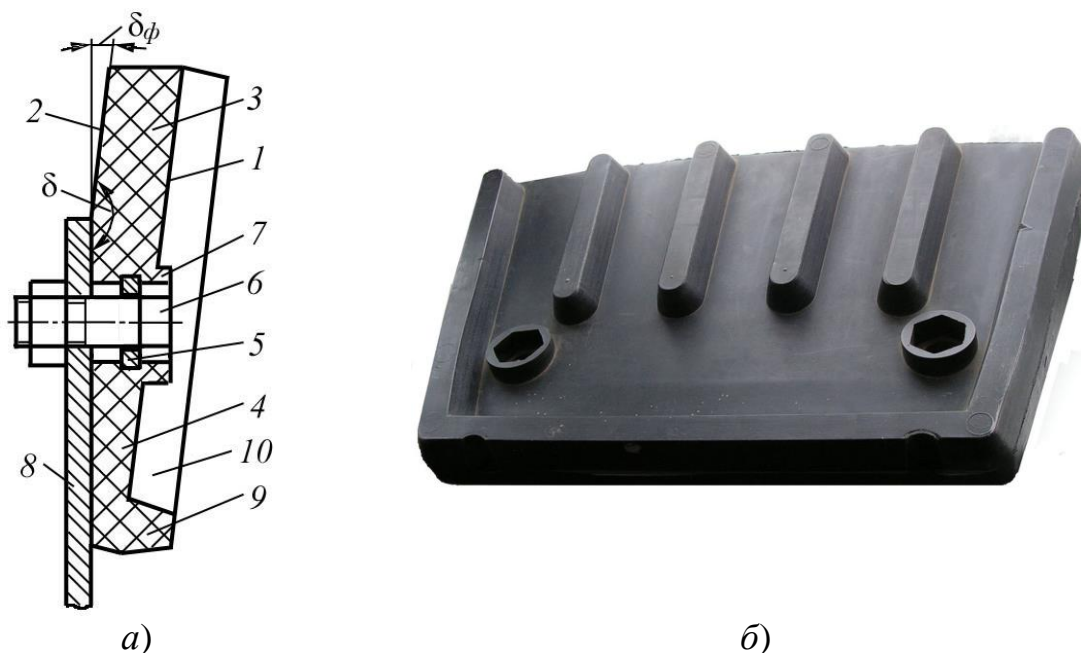
Таким образом, помимо значительного превосходства по износостойкости, вулканизат на основе "Резиласт-1" имеет более высокие эксплуатационные характеристики как по нагрузочному, так и по температурному режиму. Поэтому эта резина заслуживает внимания как перспективный материал для изготовления футеровки спиральных классификаторов.

Что касается снижения массы футеровочных элементов, то анализ возможных направлений в решении этой проблемы показал, что материалоемкость футеровки может быть снижена путем оптимизации формы ее поперечного сечения.

Следует отметить, что по сравнению с аналогом у первого варианта ребристой футеровки был увеличен угол наклона, толщина и радиальная высота футеровочных плит, что, соответственно, привело к увеличению ее массы [1]. Однако за прошедшие годы был накоплен эмпирический материал, позволяющий ввести коррективы в конструкцию футеровки и снизить ее массу без ухудшения эксплуатационных показателей.

На рис. 3, а показано поперечное сечение элемента модернизированной футеровки. Площадь этого сечения была уменьшена за счет следующих конструктивных мероприятий.

Во-первых, на 30 % был уменьшен угол наклона  $\delta_{\phi}$  футеровочных плит к плоскости ленты спирали. Следует отметить, что под таким углом располагаются элементы гладкой футеровки [5] и его оптимальное значение подтверждается многолетней практикой. Кроме того, как было показано в нашем предыдущем сообщении [6], наклонное расположение способствует только повышению изгибной жесткости консольной части футеровки и незначительно влияет на интенсивность ее изнашивания, поэтому угол  $\delta_{\phi}$  без ущерба может быть уменьшен.



**Рис. 3. Поперечное сечение элемента футеровки (а), элемент модернизированной резиновой футеровки (б):**

1 – рабочая поверхность; 2 – тыльная поверхность; 3 – консольный участок; 4 – хвостовик; 5 – закладная деталь; 6 – крепежный болт; 7 – цилиндрический выступ; 8 – лента спирали; 9 – продольный выступ; 10 – радиальное ребро

Во-вторых, в предлагаемой конструкции было исключено клиновидное утолщение, расположенное на тыльной стороне футеровки. Предназначено это утолщение, как известно, для наклонного расположения футеровочных плит [5]. Однако, такого же результата можно достигнуть и путем выполнения тыльной поверхности в виде двух, пересекающихся под тупым углом  $\delta = (180^\circ - \delta_\phi)$  плоскостей 2. В этом случае, согласно рис. 3, а, одна из этих плоскостей образует тыльную поверхность хвостовика, а вторая – консольной части футеровки.

В-третьих, в модернизированном варианте футеровки был изменен способ защиты головок крепежных болтов от износа. В известных конструкциях это достигается за счет утапливания головок в массив резины. В предлагаемой футеровке функцию защитных элементов выполняют специальные цилиндрические выступы 7, расположенные в зоне крепежных отверстий. Крепежную металлическую полосу в этом случае можно располагать как угодно близко к поверхности футеровочной плиты и тем самым уменьшить ее толщину, что находится в русле решаемой задачи.

Следует отметить, что предлагаемый способ защиты головок болтов от износа может быть использован при креплении футеровочных элементов другого горнообогатительного оборудования, а ряд принятых конструктивных решений носят принципиальный характер и являются отличительными признаками новой футеровки [7].

С учетом рассмотренных выше предложений были разработана практическая конструкция элемента ребристой футеровки (рис. 3, б) площадь поперечного сечения которой по сравнению с аналогами снизилась на 15...20%, что, соответственно, привело к снижению массы и стоимости футеровки.

Опытно-промышленные испытания модернизированной футеровки проводились в условиях фабрики № 3 АК "АЛРОСА" на спиральном классификаторе типа 2КСН-24. Эти испытания подтвердили высокую надежность и работоспособность новой футеровки. На рис. 4 показана гуммированная спираль в процессе эксплуатации.



**Рис. 4. Спираль классификатора 2КСН-24, оснащенная ребристой футеровкой**

В настоящее время осуществляется комплекс организационных мероприятий с целью запуска в серийное производство модернизированного варианта ребристой футеровки спиральных классификаторов типа КС-12(15), КС-20(24) и КС-30.

### **Выводы.**

1. Положительные результаты сравнительных испытаний позволяют рекомендовать эластомерную композицию на основе каучука "Резиласт-1", как альтернативу резиновой смеси ИРП-10214.

2. Новая высокоэффективная эластомерная композиция в перспективе может использоваться не только в качестве материала футеровки спиральных классификаторов, но и для изготовления других защитных деталей горно-обогатительного оборудования, взаимодействующих с водно-абразивной средой.

3. Оптимизация конструктивных параметров футеровочных элементов позволяет на 15...20 % снизить массу и повысить их экономическую эффективность.



### Список литературы

1. **Сербин В. М.** К вопросу повышения долговечности рабочих органов спиральных классификаторов // Горное оборудование и электромеханика. № 8. 2011. С. 23–29.
2. **Сербин В. М.** Разработка износостойкой эластомерной композиции для футеровки спиральных классификаторов // Горное оборудование и электромеханика. № 3. 2014. С. 36–41.
3. **Пенкин Н. С., Копченков В. Г., Сербин В. М., Пенкин А. С.** Гуммированные детали машин / под ред. д.т.н., проф. Н. С. Пенкина. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2013. – 245 с.
4. **Сербин В. М.** Влияние водной среды на абразивное изнашивание эластомеров // Трение и смазка в машинах и механизмах. № 5. 2012. С. 28–32.
5. **Каплахов К. Н.** Футеровка спирального классификатора резиновыми секторами // Горный журнал. № 8. 1977. С. 55–56.
6. **Сербин В. М.** Влияние конструктивных и технологических параметров спиральных классификаторов на износостойкость их рабочих органов // Горное оборудование и электромеханика. № 7. 2014. С. 28–32.
7. **Патент № 2132740** Резиновый элемент футеровки спиральных классификаторов. Авторы: В.М. Сербин, Н.С. Пенкин. Заявка № 98107298. Приоритет 20.04.1998. Зарегистрирована 10.07.1999.