

В.В. Чаплыгин, Е.Д. Николаев

Сибирский государственный индустриальный университет

ПРАКТИЧНАЯ ТЕОРИЯ ОЧИСТКИ КОНВЕЙЕРНЫХ ЛЕНТ

В различных отраслях мировой промышленности для перемещения массовых сыпучих грузов, материалов, пород используются миллионы конвейерных установок, в том числе ленточных конвейеров. Дисперсные разности транспортируемых пород интенсивно налипают на ленты, а при взаимодействии холостой (нижней) ветви ленты с поддерживающими роликами эти разности опадают на пол и постепенно заштыбовывают все подконвейерное пространство. Это приводит к полному отказу конвейера в работе. Постоянная ручная уборка штыба из-под конвейера – это весьма тяжелая, трудоемкая и травмоопасная работа.

Для профилактики заштыбовки конвейеров и ее последствий ленты после огибания разгрузочного барабана очищают конструктивно простейшими устройствами – скребками. Однако практика повсеместно показывала низкую эффективность их применения. Поэтому во многих промышленно развитых странах мира длительное время проводятся исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию более надежных и эффективных устройств для очистки лент.

Группой российских специалистов в период с 1970 г. и по настоящее время проведен ряд теоретических, экспериментальных и опытно-конструкторских работ по созданию нового эффективного очистного устройства, основные результаты которых опубликованы в статье [1].

Ключевым итогом исследований явилось создание новой теории очистки конвейерных лент, включающих три базовых положения.

1. Все известные и возможные в будущем технические средства очистки лент действуют по принципу сдвига или отрыва налипающего слоя от ленты. На основе этих существенных принципов в работе [2] предложена дедуктивная классификация очистителей лент, схематично изображенная на рис. 1.

2. Техничко-экономическим сравнением объективных возможностей принципов и средств очистки, приведенных в новой классификации, установлено, что на современном этапе развития техники и технологий наиболее целесообразна очистка лент твердоэлементным устройством секционного типа

при рациональной регламентированной геометрии очистных элементов и их размещении в два отдельных ряда с обеспечением эффективного отвода и удаления счищаемой породы из-под устройства.

3. Счищаемые дисперсные разности пород в текучепластичном состоянии подобны известным средам Шведова-Бингама-Воларовича, поведение которых в процессе очистки подчиняется закономерностям гидродинамической теории смазки. Эти закономерности привели к аналитическому описанию процесса очистки с получением уравнения для степени очистки твердым элементом.

Процесс очистки ленты твердым элементом достаточно полно отражается плоской расчетной схемой (рис. 2). Для достижения высокой степени очистки необходимо и достаточно соотношение действующих на элемент сил:

$$P_{\Sigma} \geq P_{\beta} + P_h + P_T, \quad (1)$$

где P_{Σ} – сила поджатия элемента и ленты, Н; P_{β} – сила, обусловленная давлением и перемещением потока породы i_c по встречной плоскости элемента, Н; P_h – сила, обусловленная расклинивающим давлением потока породы i_n в зазоре между элементом и лентой, Н; P_T – сила тяжести элемента с учетом его брутто-массы с налипшей породой, Н.

Правая часть соотношения (1) представлена суммой сил, отжимающих элемент от ленты. Из условия равновесия сил, действующих на элемент по очищаемой плоскости ленты с учетом сил истинного трения по закону Б.В. Дерягина [3], получено

$$P_{\beta} = \pm \frac{P_v \mp \mu_0 P_0 \cos \beta}{\mu_0 \pm \tan \beta} + \frac{P_v + P_0 \sin \beta}{\sin \beta \pm \mu_0 \cos \beta} \mu_0 \sin \beta, \quad (2)$$

где P_v – скоростной напор породы на элемент, Н; μ_0 – коэффициент истинного трения породы по элементу; P_0 – сила прилипания породы к элементу, Н; β – угол встречи передней плоскости элемента с очищаемой плоскостью ленты с областью определения значений $0 \leq \beta \leq 180^\circ$.

В потенциально клиновидном зазоре между лентой и элементом проникающий слой поро-

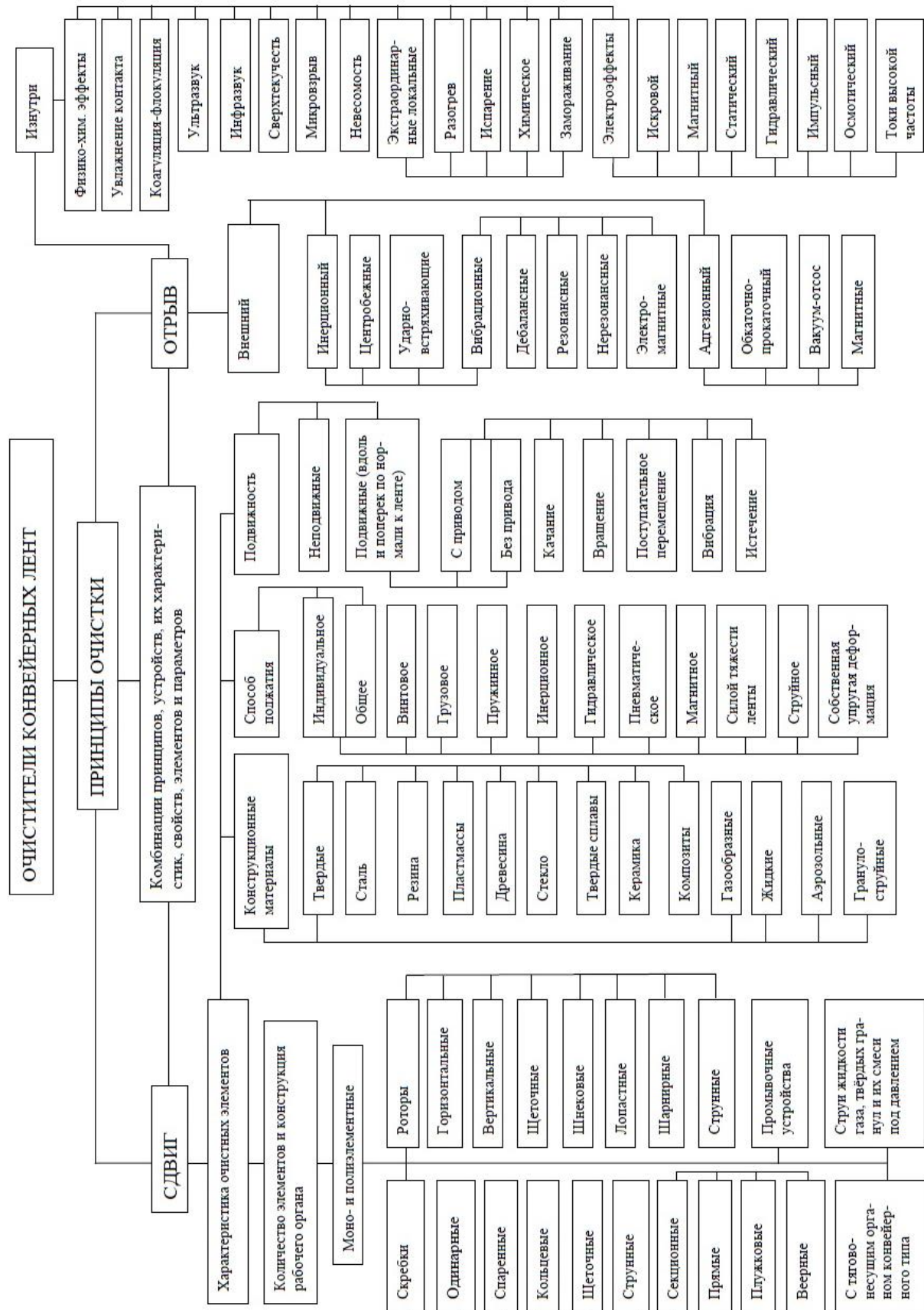


Рис. 1. Классификация очистителей конвейерных лент

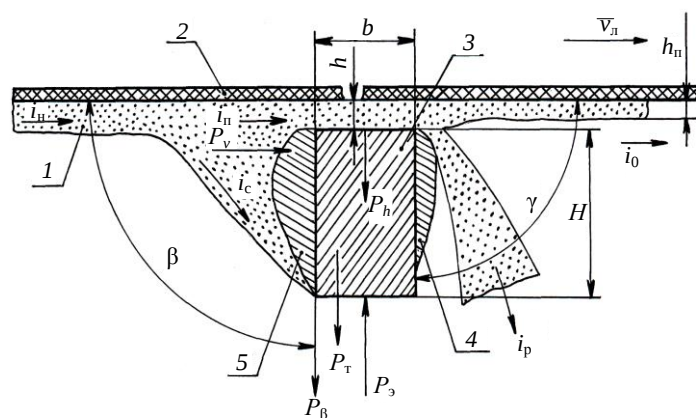


Рис. 2. Расчетная схема процесса очистки ленты твердым элементом:

1 – налипающая порода; 2 – очищаемая поверхность ленты; 3 – твердый очистный элемент; 4 – отложения; 5 – тело уплотнения; i – потоки породы, в том числе: i_n – исходной налипающей; i_c – счищаемой; i_n – проникающей; i_p – рассеяния; i_0 – остаточный; h – зазор между лентой и элементом; h_n – толщина остаточного слоя; b – толщина элемента; H – высота элемента; γ – задний угол; β – угол встречи (передний); v_d – вектор скорости движения ленты; P – силы, действующие на элемент

ды i_n развивает расклинивающее давление, которое описывается хорошо известным обобщенным уравнением О. Рейнольдса. Решение этого дифференциального уравнения для частного случая очистки ленты имеет вид

$$P_h = \lambda \mu v \frac{b^2}{h_n^2}, \quad (3)$$

где h_n – толщина проникающего (остаточного) слоя породы, м; b – ширина контакта элемента с лентой, м; $\lambda < 0,16$ – безразмерный коэффициент клинообразности зазора между лентой и элементом; μ – динамическая вязкость счищаемой дисперсной породы, Па·с; v – скорость сдвига, м/с; P_h – расклинивающее давление породы между лентой и элементом, Н/м.

Максимальное значение коэффициента $\lambda = 0,16$ наблюдается при соотношении граничных сечений клина $h_m = 2,2h_0$. При реальном соотношении $h_m \rightarrow h_0$ значение λ на несколько порядков ниже приведенного максимума.

Расчетная степень очистки ленты адекватно выражается толщиной проникающего, остаточного на ленте слоя породы, поэтому из формулы (3) следует, что

$$h_n = b \sqrt{\frac{\lambda \mu v}{P_h}}, \quad (4)$$

где $P_h = P_3 - (P_\beta + P_\tau)$ из соотношения (1).

Формула (4) представляет собой уравнение для степени очистки ленты твердым элементом от налипающих пород. Как показали следующие эксперименты, это уравнение со-

вершенно справедливо по меньшей мере для таких условий: $H < 30$ мм, $\beta \geq 105^\circ$ при относительной степени очистки $\eta > 80\%$.

Исследования процесса очистки ленты твердым элементом выполнены на специальной экспериментальной установке (рис. 3), краткая техническая характеристика которой содержит следующие данные.

Номинальное расстояние между осями барабанов 1000 мм; наружный диаметр барабанов 217 мм; конвейерная лента соответствует типу Л2-200-5Б-820-3-1 по ГОСТ 20-62 толщиной 12 мм. Привод конвейера – от электродвигателя постоянного тока типа П42, напряжение 127 В, мощность 3,8 кВт, частота вращения 3000 об/мин через клиноременную передачу с числом $i = 2$. Пределы тиристорного плавного регулирования скорости движения ленты составляют $0 \div 10$ м/с; способ торможения ленты – экстренный, электродинамический.

Стабилизация скорости движения ленты под нагрузкой – с помощью тахогенератора типа УПДС. Габариты установки $1450 \times 1050 \div 960$ мм; масса установки 242 кг.

В исследованиях использованы шесть конструктивных разновидностей очистных элементов (рис. 4). К наблюдениям привлекались четыре типа связных пород: мел и мергель Стойленского месторождения, келловей-оксфордская серо-зеленая глина Михайловского месторождения и чистый каолин с Прокопьевского фарфорового завода. Методика исследований подробно изложена в работе [4].

В совокупности исследовано аддитивное влияние на степень очистки ленты следующих параметров:

– скорость сдвига v при значениях 0,4; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 м/с;

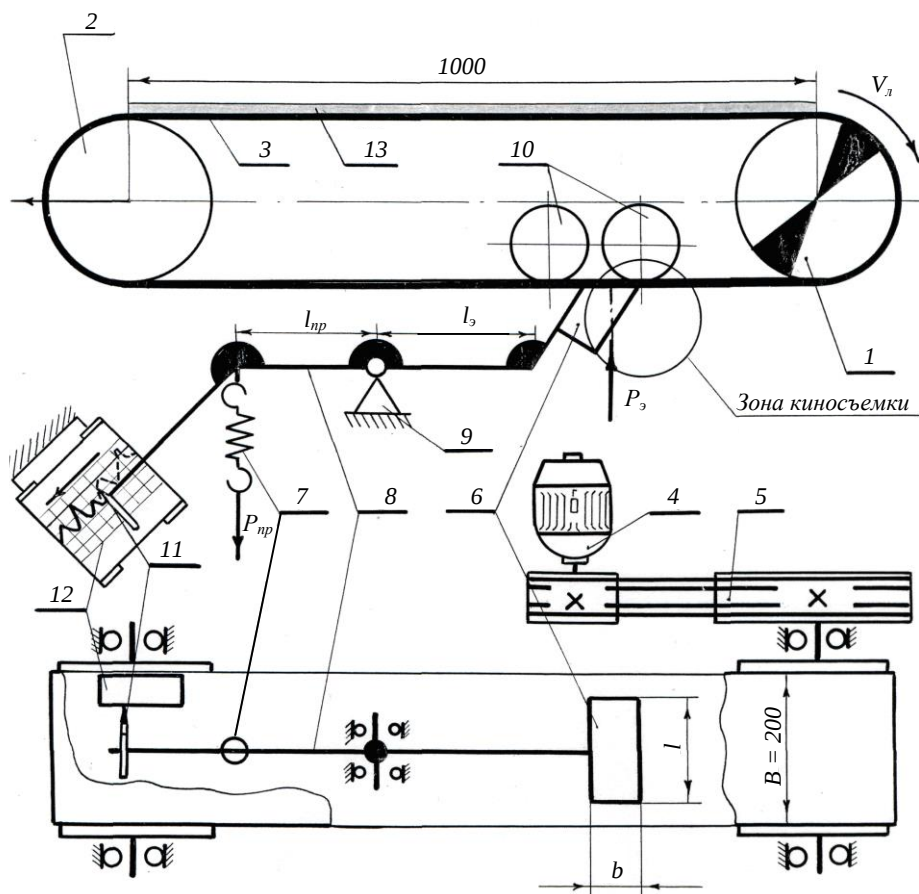


Рис. 3. Принципиальная схема экспериментальной установки для исследования процесса очистки ленты твердым элементом:

1 – приводной барабан; 2 – натяжной барабан; 3 – конвейерная лента; 4 – электродвигатель; 5 – клиноременная передача; 6 – очистной элемент; 7 – пружина растяжения; 8 – двуплечий рычаг; 9 – опора рычага; 10 – упорные ролики; 11 – перо; 12 – мультипликатор; 13 – слой породы в исходном положении

- давление элемента P , в диапазоне $1 - 22 \text{ Н/см}^2$;
- угол встречи β в диапазоне $45 - 120^\circ$ через 15° ;
- угол α установки элемента в плане при значениях $0, 15, 30, 45$ и 60° ;
- влажность W пород в диапазоне $30 - 60 \%$ с интервалом $5 - 10 \%$;
- липкость P_0 пород в диапазоне $1 - 8 \text{ Н/см}^2$;
- истинный коэффициент трения породы по встречной плоскости элемента μ_0 в диапазоне $0,1 - 0,9$;
- динамическая вязкость μ пород в диапазоне $60 - 4 \cdot 10^4 \text{ Па} \cdot \text{с}$;
- толщина b и высота H элемента со значениями $5, 20, 50, 60 \text{ мм}$.

Наблюдался отвод счищаемой породы с пересечением несущего рычага и минуя его. Область наблюдений ограничивалась преимущественно относительной степенью очистки $\eta > 80 \%$. Эксперименты показали, что общие закономерности процессов очистки идентичны для всех разновидностей очистных элементов и типов пород, привлеченных к изучению. Механическая запись колебаний элемента указы-

вает на циклический характер воздействия расклинивающих сил.

Скоростной киносъемкой процессов очистки с применением камеры типа СКС-1М со скоростью съемки 1000 кадров в секунду получены качественные и количественные оценки деформации счищаемого слоя при взаимодействии со встречной плоскостью элемента. Съемки показали, что трение и динамическая вязкость пород весьма существенно влияют на энергоемкость и стабильность процессов очистки.

В результате исследований получены полигоны графиков зависимостей относительной степени очистки от параметров v , P_3 , β . Типичные графики для мергеля влажностью 32 % показаны на рис. 5, 6.

Обобщение результатов теоретических и экспериментальных исследований процесса очистки ленты твердым элементом позволило установить ряд технических требований, неукоснительных в соблюдении при разработке рациональной конструкции твердоэлементного очистителя.

1. С учетом реальной неравномерности прочности прилипания пород к ленте по ее

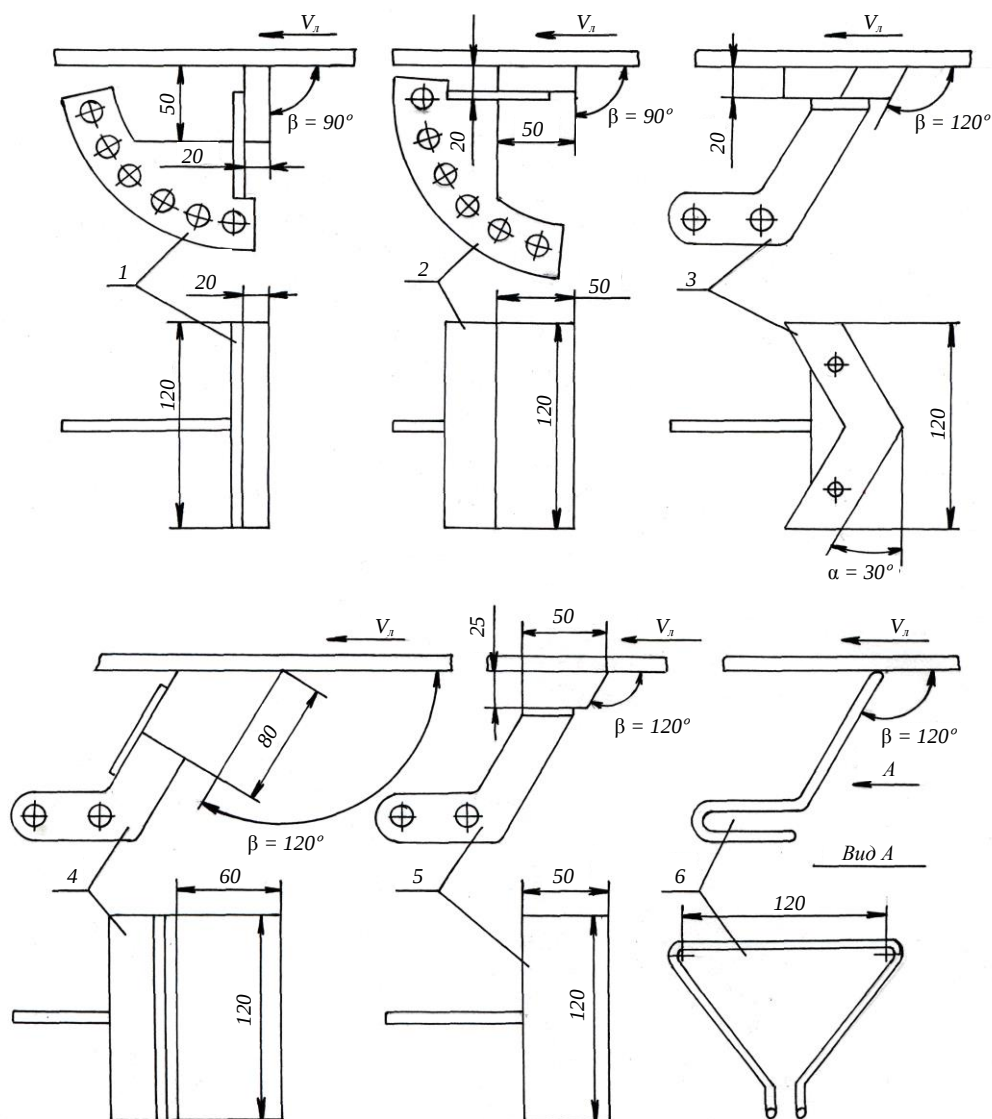


Рис. 4. Экспериментальные очистные элементы:

1 – с переменным углом β ; 2 – $H=20$ мм; $\beta=90^\circ$; 3 – с переменным углом α ; 4 – резина «Тип-Топ»; 5 – супрален; 6 – струна

ширине (максимальной в середине и асимптотически убывающей к бортам) и столь же неравномерного абразивного износа очистного элемента конструкция устройства должна быть секционной с размещением секций в два отдельных ряда. При этом резцы секций размещаются в плане по очищаемой плоскости ленты в шахматном порядке под углом $\alpha=0^\circ$.

2. Каждый очистной элемент должен быть индивидуально подпружинен с мягкой упругой деформацией для компенсации нормативного износа резца.

3. Для профилактики заштыбровки устройства должно быть исключено непосредственное пересечение отводимых с каждого резца потоков счищаемой породы с опорными элементами конструкции очистителя. Необходимо также гидрофобное антиналипающее исполнение элементов конструкции очистителя,

подвергающихся торкретирующему воздействию налипающих частиц породы.

4. Для изготовления очистных резцов следует использовать износостойкие и антифрикционные конструкционные материалы. Рекомендуемые параметры резца: длина 150 и 200 мм, ширина контактной плоскости 20 – 30 мм, толщина ≤ 30 мм, угол встречи в профиле $\geq 105^\circ$, угол установки очистного ребра в плане 0° .

5. Очистной элемент должен иметь индустриальную для массового серийного производства конструкцию, унифицированную для известного типоразмерного ряда конвейерных лент по их ширине.

6. Очистное устройство в целом снабжается средствами регулирования для наладки установочного рабочего положения резцов, а также их давления на ленту.

С учетом изложенных выше требований была разработана и изготовлена в металле

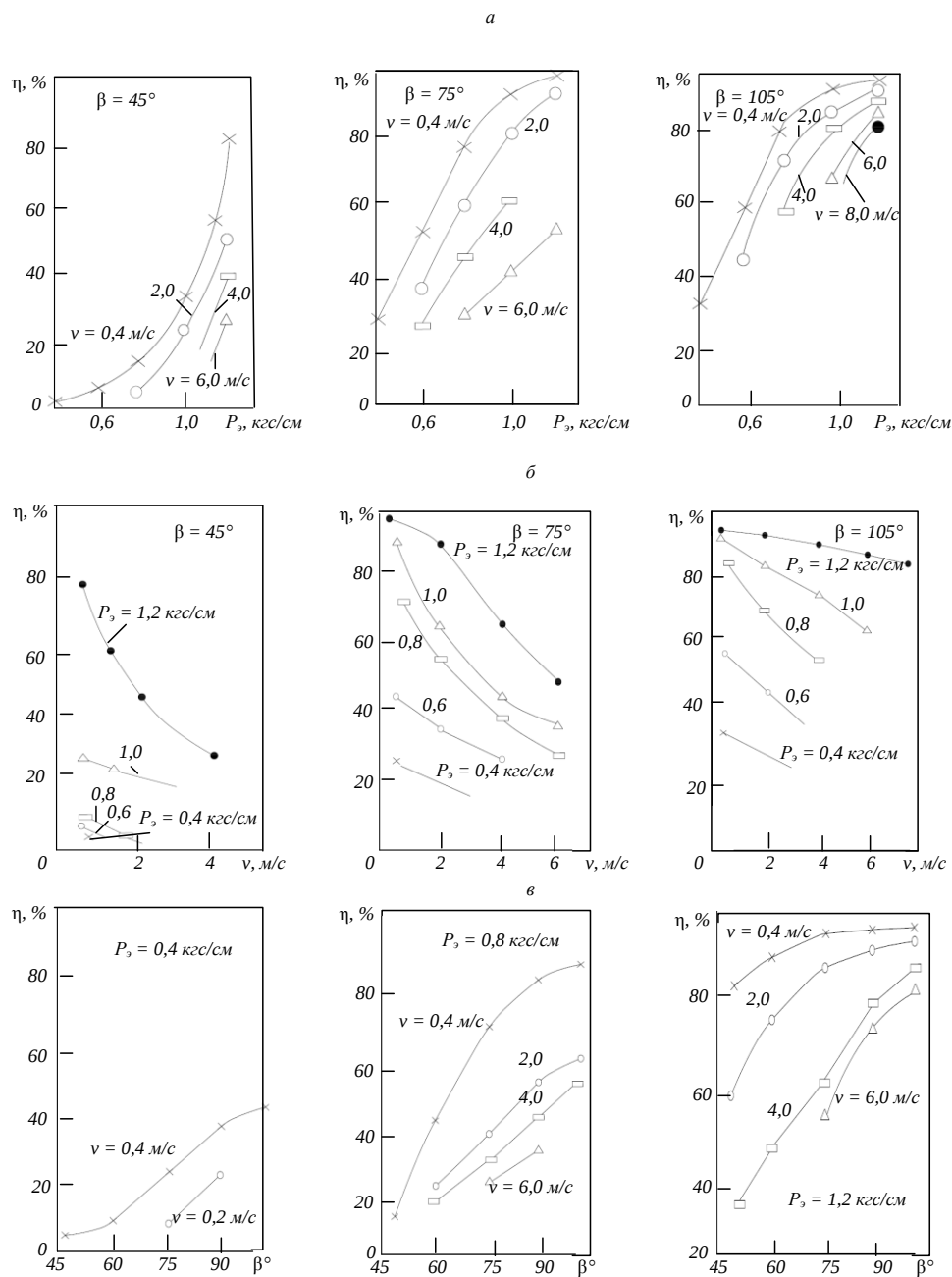


Рис. 5. Зависимость степени очистки ленты при $b \times H = 20 \times 40$ мм от давления элемента (а), скорости сдвига (б) и от угла встречи (в)

первая пробная модификация нового очистного устройства типа «Промтранс» (изделие для промышленного транспорта). Отличительные особенности этой модификации состояли в следующем: очистной элемент рамообразной конструкции подпружинен кольцевыми пружинами; резец длиной 120 мм вплотную прижимается к боковинам рамки; резец изготовлен из стали 3 с очистным ребром, оснащенным твердыми сплавами марок Т15К6 и Т5К10 на латунной пайке; радиальная подвижность элемента на оси в условиях сухого трения обеспечена в режиме микроперекатывания опорных колец рамки на оси; сечение тела резца 20×20 мм, сечение

твердого сплава 5×5 мм, высота встречной плоскости 5 мм, угол встречи 105° .

Производственные испытания первого опытного образца проведены на конвейере углелеподготовительного цеха одного из предприятий. Условия и результаты испытаний характеризуются следующими данными:

- режим работы конвейера 20 ч/сут;
- ширина ленты 1200 мм;
- скорость движения ленты 1,8 м/с;
- состояние очищаемой поверхности ленты: малошероховатая, единичные повреждения обкладки, стыки клеевые, временные ремонтные заплатки на заклепках;

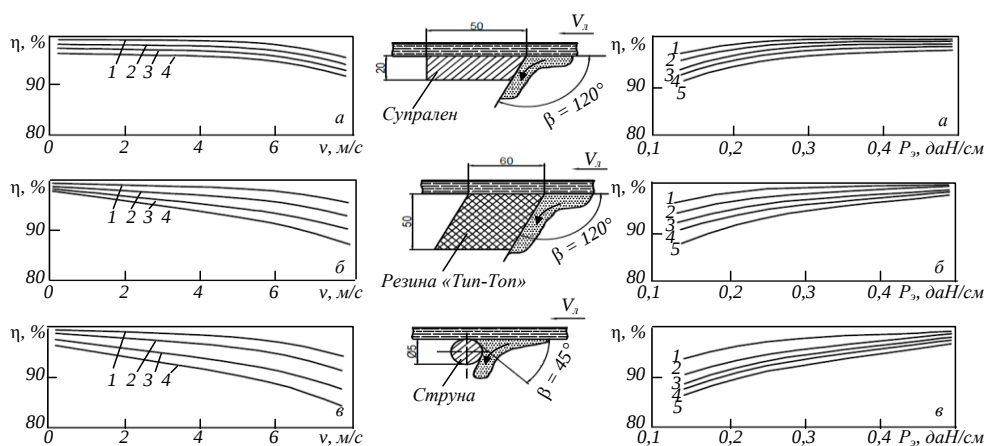


Рис. 6. Зависимость степени очистки ленты от скорости сдвига и давления элемента для мергеля влажностью 32 % и трех видов элемента: слева на графиках при давлениях: а – 1 – 0,8; 2 – 0,6; 3 – 0,4; 4 – 0,2; б – 1 – 2,2; 2 – 1,8; 3 – 1,4; 4 – 1,0; в – 1 – 0,5; 2 – 0,4; 3 – 0,3; 4 – 0,2 кгс/см; на графиках справа при скоростях сдвига: 1 – 0,4; 2 – 2,0; 3 – 4,0; 4 – 6,0; 5 – 8,0 м/с

– транспортируемый материал – газовый уголь зольностью до 7 %, насыпной плотностью 0,7 т/м³, влажностью до 14 %, липкость умеренная, образивность малая;

– стальные резцы оснащены по встречному ребру твердыми сплавами марок Т15К6, Т5К10, ВК-8 на латунной пайке и марки КНТ-16 с механическим креплением, сечение сплавов 5×5 мм;

– относительная степень очистки стабильная – 99 %;

– нарушения в работе устройства – отмечено одно повреждение (ударом заклепки выбита одна пластина сплава Т5К10);

– за время контрольной эксплуатации никаких ремонтных и наладочных работ на очистном устройстве не производилось.

Высокая эффективность действия нового очистителя подтверждена снижением продолжительности ручной уборки угольной просыпи из-под ковеера в 16 раз.

Общий вид второго ряда очистных элементов устройства показан на рис. 7.

Для условий очистки, связанных с высокой скоростью движения ленты (>3 м/с) и агрессивной липкостью глинистых пород разработана усовершенствованная конструкция устройства (рис. 8). Опытный образец типового ряда очистных элементов показан на рис. 9. Схема установки очистных элементов под разгрузочным барабаном конвейера приведена на рис. 10.

В базовом варианте устройства применены резцы длиной 150 мм. Боковины элемента отодвинуты от торцов резца на 15 мм. Для реализации поджатия применены спиральные пружины комбинированного радиального и аксиального действия. Серийная модификация выполнена с элементом новизны по патенту РФ № 1654166 [5].

Общий вид ряда элементов серийной модификации на производственных испытаниях



Рис. 7. Второй ряд очистных элементов устройства «Промтранс» в производственных испытаниях

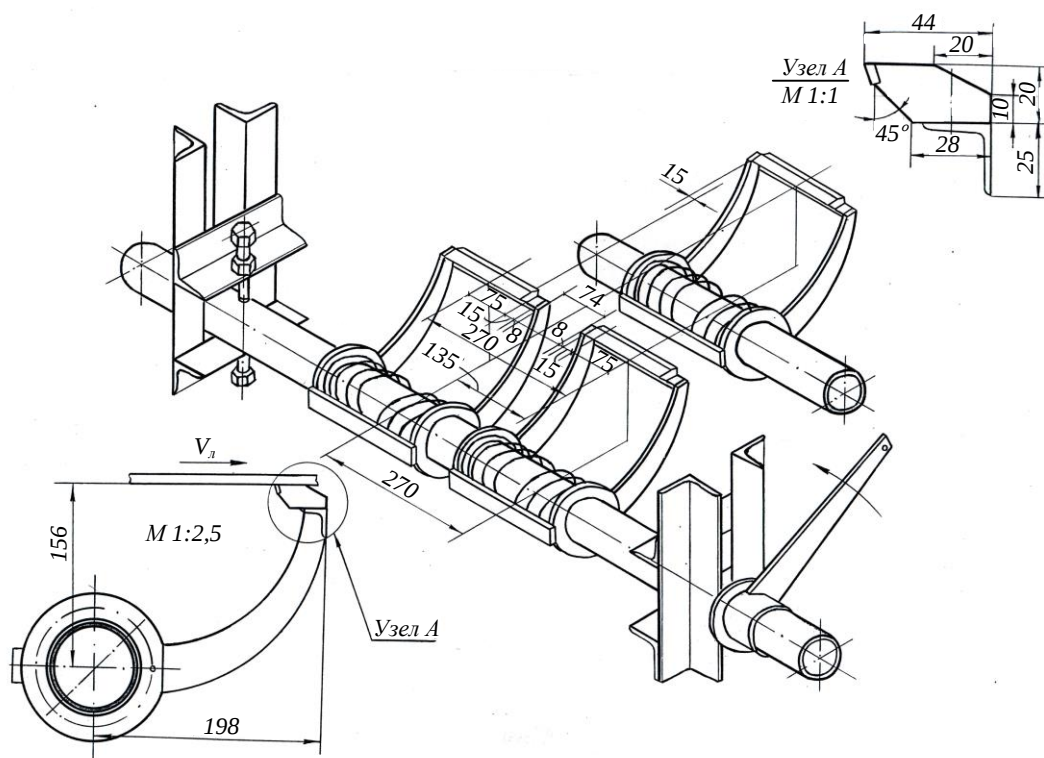


Рис. 8. Типовой секционный очиститель конвейерных лент «Промтранс». Конструктивная схема базовой модификации

показан на рис. 11. В этом образце устройства для армирования резцов были использованы пластины из безвольфрамовых сплавов типа ТН-20 с клеевым креплением. Эти сплавы отличаются более низким коэффициентом трения по породе в сравнении со сплавами марок ТК и ВК, что обеспечило более эффективный отвод счищаемой породы с резцов.

Выводы. Разработанные устройства рекомендованы к промышленному использованию взамен существующих типовых щеток и скребков во всех отраслях промышленности, где применяются ленточные конвейеры, в том

числе: на горно-добывающих предприятиях, угольной, черной и цветной металлургии, энергетики (топливоподачи ТЭЦ и ГРЭС), машиностроения (литейные цехи), химической, минеральных удобрений, стройматериалов, стройиндустрии, в портах морского и речного флота, в сельском хозяйстве.

К серийному освоению рекомендуется модификация устройства с резцами $l = 150$ мм и пружинами комбинированного действия. Унифицированный очистной элемент имеет разнообразную конструкцию с параметрами $\alpha = 0^\circ$, $\beta = 105^\circ$, $H < 30$ мм, $b = 20 - 40$ мм,

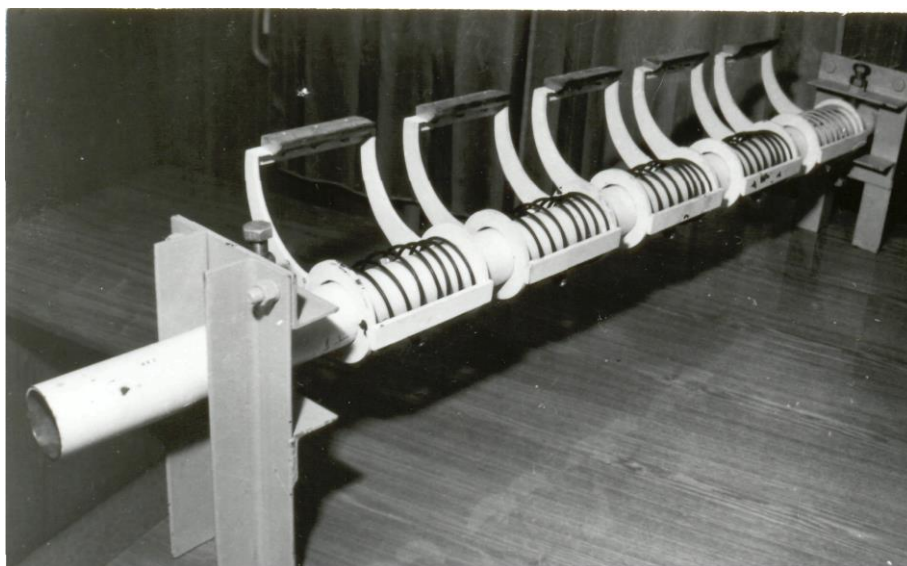


Рис. 9. Ряд очистных элементов в серийной модификации устройства

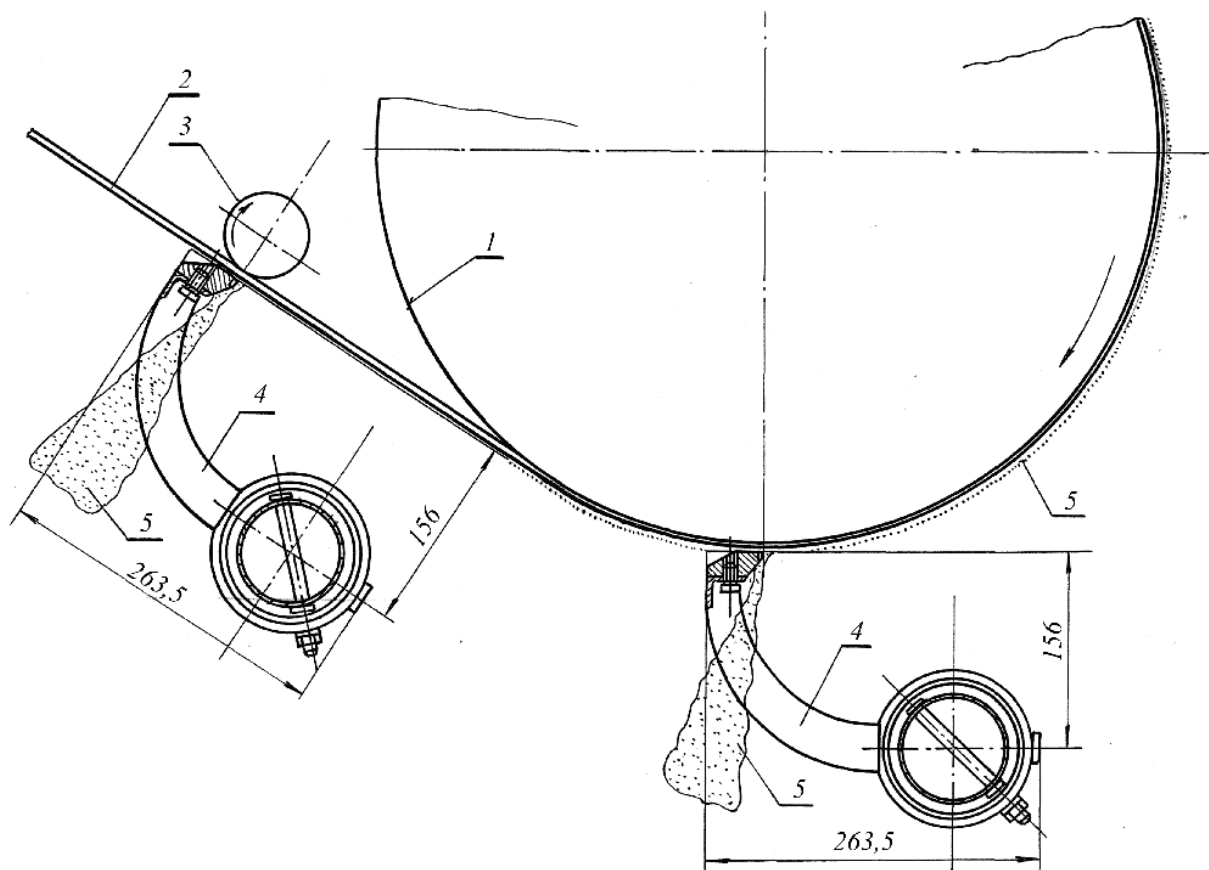


Рис. 10. Схема установки очистных элементов под разгрузочным барабаном конвейера:
1 – барабан; 2 – лента конвейера; 3 – подпорный ролик; 4 – очистные элементы; 5 – счищаемая порода

$P_3 < 0,03$ МПа, шаг расстановки на оси 270 мм, габариты 265×200×220 мм, масса 2,8 кг.

Для сильно изношенных или механически состыкованных лент очиститель комплектуется резцами (башмаками) из абразивностойких и гидрофобных поли- и эластомеров.

Коэффициент готовности очистителя близок к единице. Нарботка на отказ составляет 0,5 – 3,0 года при непрерывном режиме работы со средней степенью очистки 98 – 99 % при скоростях движения лент до 5 м/с.



Рис. 11. Один ряд очистных элементов на производственных испытаниях устройства ОФ № 3 АК Алроса

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Николаев Е.Д., Костерин Л.С., Дмитриев В.П. Теоретические, экспериментальные и практические исследования очистки конвейерных лент // Горный журнал. 2000. № 4. С. 45 – 49.
2. Николаев Е.Д. Создание эффективного очистителя конвейерных лент от налипающих пород. Автореф. дис. канд. техн. наук. – Новосибирск, 1991. – 17 с.
3. Дерягин Б.В. Что такое трение? 2-е изд. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 230 с.
4. А.С. № 1654166 СССР. Устройство для очистки ленты конвейера / Николаев Е.Д., Карпов С.П. // Бюллетень изобретений. 1991. № 21.
5. Тарасов Ю.Д. Повышение эффективности эксплуатации ленточных конвейеров на основе комплексного использования средств очистки ленты и подконвейерного пространства: Автореф. дис. докт. техн. наук. – М., 1988. – 29 с.
6. Исследование технико-экономической эффективности очистки конвейерных лент гидравлическим и пневматическим способами: Отчет о НИР / СОПромтранспроекта; Рук. Е.Д. Николаев. – 36/22-72; № Гр 72019757; инв. № Б 263593. – Новокузнецк. 1973. – 74 с.
7. Vierling A., Oehmen H. Reinigungsvorrichtungen für Förderbandanlagen und deren Zweckmäßigkeit // Braunkohle, Wärme und Energie. 1967. B. 19. H. 1. S. 1 – 3.
8. Vierling A., Oehmen H. Experimentelle Untersuchungen zum Absteivorgang bei Gurtreinigung von Förderbandanlagen. // Braunkohle, Wärme und Energie. 1968. B. 20 H. 3. S. 73 – 79.
9. Николаев Е.Д., Епифанцев Ю.А. Исследование процесса механической очистки конвейерной ленты от налипающих пород // Научные исследования в области развития и совершенствования непрерывного транспорта в промышленном строительстве: Сб. науч. тр. Промтранспроекта. – М.: Стройиздат, 1981. С. 37 – 55.
10. Хайруллин Т.Х. Исследование процесса очистки рабочего полотна конвейеров при низких эксплуатационных температурах: Автореф. дис. канд. техн. наук. Караганда, 1978. – 24 с.

© 2015 г. В.В. Чаплыгин, Е.Д. Николаев

Поступила 20 марта 2015 г.

УДК 551.734:564.7(571.1)

О.П. Мезенцева¹, Ю.В. Удодов²

¹Сибирский государственный индустриальный университет

²Новокузнецкий филиал Кемеровского государственного университета

ЛОХКОВ-ПРАЖСКИЕ МШАНКИ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ

На северо-восточном склоне Салаира лохов-празские мшанки были изучены в районе г. Гурьевска. В Толсточихинском карьере в верхней известняковой пачке томьчумышской свиты мшанки, впервые обнаруженные Е.А. Елкиным, представлены *Lioclema netshlavense* Astr. (определение Г.Г. Астровой). Вид *Lioclema netshlavense* Astr. распространен в верхней части борщовского горизонта лоховского яруса Подолии [1] и в разновозрастных отложениях Северо-Восточного Прибалхашья [2]. Позднее в Толсточихинском карьере в верхней

известняковой пачке томьчумышской свиты найдена *Cyphotrypa variabile* Mesent. [3], а в Старогурьевском карьере в глинистых известняках крековского горизонта – единичные колонии *Anomalotoechus* sp. плохой сохранности. Таким образом, в стратотипических разрезах лоховского яруса Северо-Восточного Салаира [4] мшанки представлены *Lioclema netshlavense* Astr., *Cyphotrypa variabile* Mesent., *Anomalotoechus* sp. В сухой свите и отложениях петцевского горизонта лоховского яруса, а также