© Е.Д. Николаев, В.В. Чаплыгин, 2015

УДК 621.867

Е.Д. Николаев, В.В. Чаплыгин

АНТОЛОГИЯ ОЧИСТКИ КОНВЕЙЕРНЫХ ЛЕНТ ОТ НАЛИПАЮЩИХ ПОРОД

Показана острая актуальность проблемы очистки лент. Изложены основы авторской теории очистки лент твердыми элементами. Приведены представительные результаты экспериментальных исследований процесса очистки ленты твердым элементом, а также итоговые результаты производственных испытаний партии опытных очистных устройств типа «Промтранс». Показана конструкция нового очистного устройства типа «Промтранс» с элементами новизны по патенту РФ № 1654166. Отмечены преимущества наукоемкой конструкции нового очистителя в сравнении с известными аналогами. Поставлены научные и производственные задачи по освоению массового серийного выпуска очистителей нового типа в более эффективном гидрофобном испытании.

Ключевые слова: очистка гладких конвейерных лент от налипающих пород, теория очистки ленты твердым элементом, классификация средств очистки, экспериментальные исследования, очистные устройства типа «Промтранс», производственные испытания.

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. За последние сорок лет на предприятии РФ при уборке конвейеров от штыба, погибло несколько сот человек!

Для профилактики заштыбовки конвейеров и ее последствий, ленты после огибания разгрузочного барабана очищают конструктивно простейшими устройствами-скребками. Однако практика повсеместно показывала низкую эффективность скребков. Поэтому во многих промышленно развитых странах мира (Особенно в Германии, США, Японии, СССР и РФ) длительное время проводятся исследовательские и опытно конструкторские работы по созданию более надежных и эффективных устройств для очистки лент.

Группой российских специалистов с 1970 г. по нынешнее время по научным программам Сибирского отделения ПромТрансНИИпроекта, ИГДС СО РАН и СибГИУ выполнены широкие теоретические, экспериментальные и опытно-конструкторские работы по созданию нового эффективного очистного устройства. Основные результаты этих работ опубликованы в статье [1].

Ключевым итогом исследований явилось создание новой стройной 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.

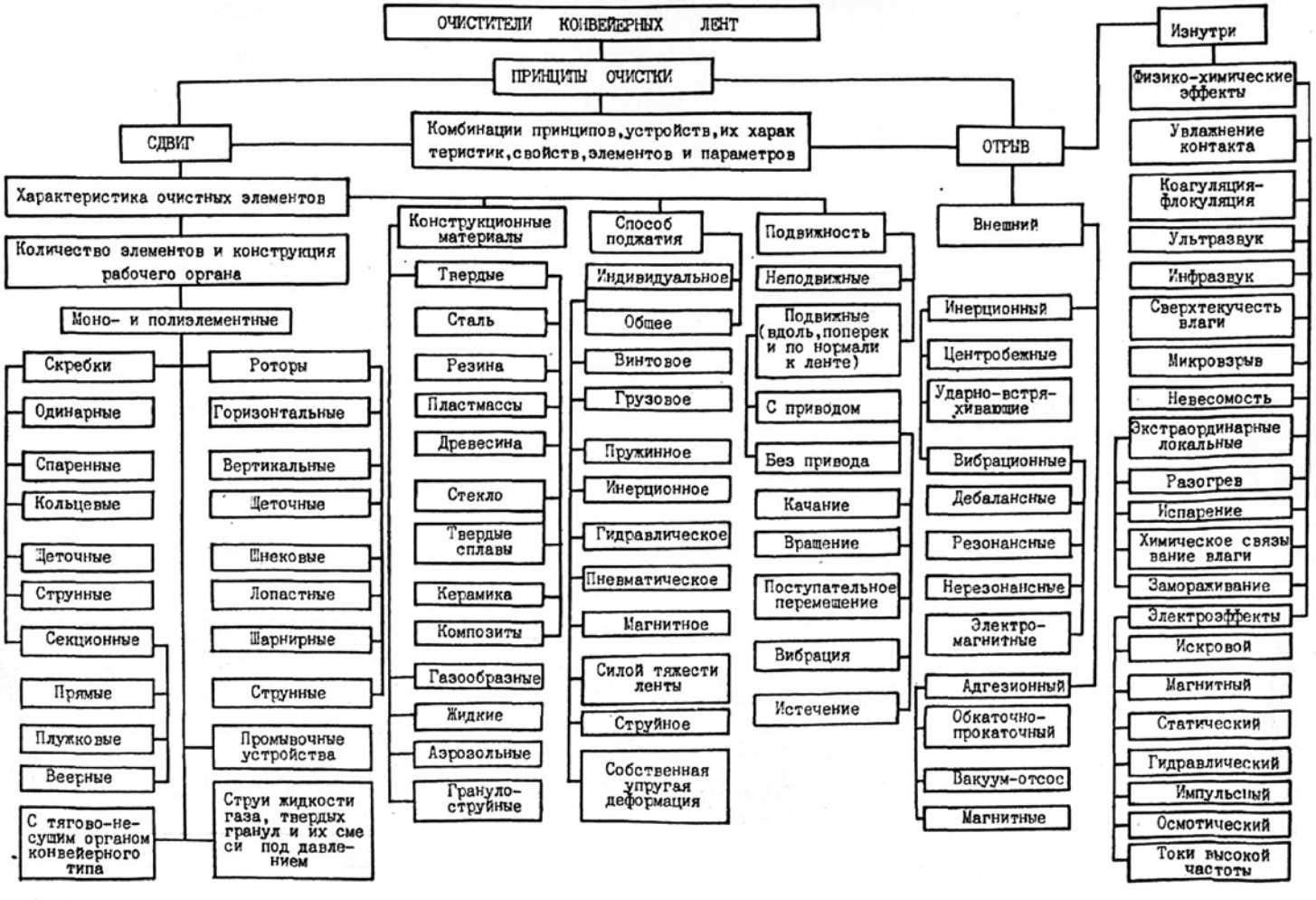

Рис. 1. Классификация очистителей конвейерных лент

На основе этих существенных принципов в работе [2] предложена дедуктивная классификация очистителей лент. Она схематично изображена на рис. 1.

2. Технико-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.

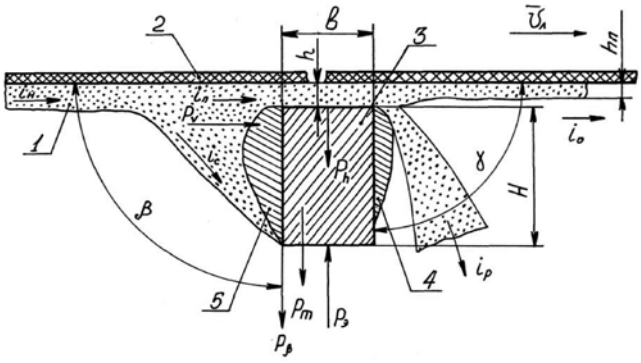

Рис. 2. Расчетная схема процесса очистки ленты твердым элементом: 1 – налипающая порода; 2 – очищаемая поверхность ленты; 3 – твердый очистной элемент; 4 – отложения; 5 – тело уплотнения; i – потоки породы, в том числе: $i_н$ – исходной налипающей; $i_с$ – счищаемой, $i_п$ – проникающей, $i_р$ – рассеяния, $i_о$ – остаточный; h – зазор между лентой и элементом; $h_п$ – толщина остаточного слоя; b – толщина элемента; H – высота элемента; γ – задний угол; β – угол встречи (передний); $\upsilon_л$ – вектор скорости движения ленты; P – силы, действующие на элемент

Уравнение 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.

$$P_Э \geq P_\beta + P_h + P_m , \qquad (1)$$

где $P_Э$ – сила поджатия элемента и ленты, Н; P_β – сила, обусловленная давлением и перемещением потока породы $i_с$ по встречной плоскости элемента, Н; P_h – сила, обусловленная расклинивающим давлением потока породы in в зазоре между элементом и лентой, Н; P_m – 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:

$$P_\beta = \pm \frac{P_v \mp \mu_o \times P_o \times \cos\beta}{\mu_o \pm \operatorname{tg}\beta} + \frac{P_v + P_o \times \sin\beta}{\sin\beta \pm \mu_o \times \cos\beta} \times \mu_o \times \sin\beta , \qquad (2)$$

где P_v – скоростной напор породы на элемент, н; μ_o – коэффициент истинного трения породы по элементу; P_o – сила прилипания породы к элементу, н; β – угол встречи передней плоскости элемента с очищаемой пло-

скостью ленты с областью определения значений $0 \le \beta \le 180°$.

В потенциально клиновидном зазоре между лентой и элементом проникающий слой породы іп развивает расклинивающее давление, которое описывается хорошо известным обобщенным уравнением О. Рейнольдса. Решение этого дифференциального уравнения для частного случая очистки ленты имеет вид

$$P_h = \lambda \times \mu \times \upsilon \times \frac{b^2}{h_п^{\ 2}}, \qquad (3)$$

где $h_п$ – толщина приникающего (остаточного на ленте) слоя породы, м; b – ширина контакта элемента с лентой, м; λ – безразмерный коэффициент клинообразности зазора между лентой и элементом, $\lambda < 0{,}16$; μ – динамическая вязкость счищаемой дисперсной породы, Па·с; υ – 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 $h_m = 2{,}2 \times h_o$.

При реальном соотношении $h_m \to h_o$ 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

$$h_п = b\sqrt{\frac{\lambda \times \mu \times \upsilon}{P_h}}, \qquad (4)$$

где $P_h = P_э - (P_\beta + P_m)$ из соотношения (1).

Формула (4) представляет собой уравнение для степени очистки ленты твердым элементом от налипающих пород. Как показали последующие эксперименты, это уравнение совершенно справедливо по меньшей мере для условий: $H < 30$ мм, $\beta \ge 105°$ при относительной степени очистки $\eta > 80\%$.

Создание стройной теории очистки лент, плодотворно повлиявшей на синтез нового эффективного устройства, в очередной раз убедительно показало, что нет ничего практичнее хорошей теории. Анализ более 400 патентных решений по очистке лент с позиций приведенной теории показывает, что эти решения не отвечают современным требованиям теории и практики очистки лент.

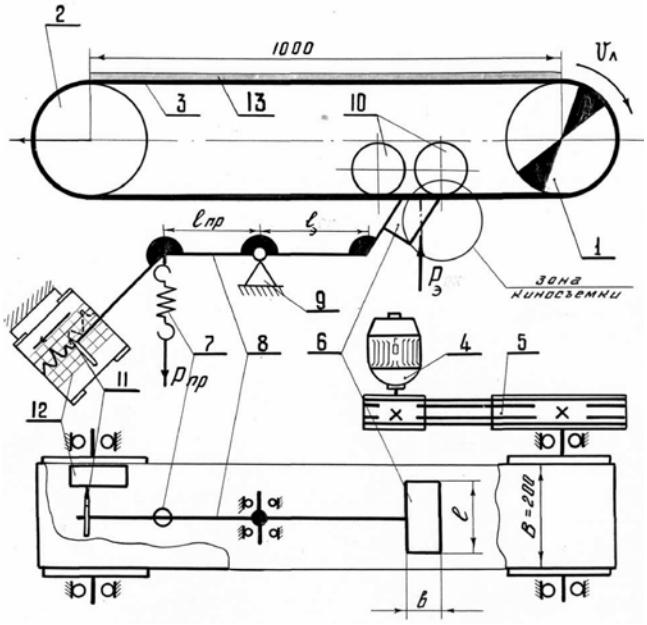

Рис. 3. Принципиальная схема экспериментальной установки для исследования процесса очистки ленты твердым элементом: 1 – приводной барабан; 2 – натяжной барабан; 3 – конвейерная лента; 4 – электродвигатель; 5 – клиноременная передача; 6 – очистной элемент; 7 – пружина растяжения; 8 – двуплечий рычаг; 9 – опора рычага; 10 – упорные ролики; 11 – перо; 12 – мультипликатор; 13 – слой породы в исходном положении

Таблица 1

Технические характеристики	Значение
Номинальное расстояние между осями барабанов, мм	1000
Наружный диаметр барабанов, мм	217
Конвейерная лента типа	Л2-200-5Б-820–3-1 по ГОСТ 20-62, толщиной 12 мм
Привод конвейера	от электродвигателя постоянного тока типа П42, напряжением 127 В, мощностью 3,8 кВт, с частотой вращения 3000 об/мин, через клиноременную передачу с числом i = 2
Пределы тиристорного плавного регулирования скорости движения ленты, м/с	0–10
Способ торможения ленты	экстренное, электродинамическое
Стабилизация скорости движения ленты под нагрузкой	с помощью тахогенератора типа УПДС
Габариты установки, мм	1450×1050×960
Масса установки, кг	242

Экспериментальные исследования процесса очистки ленты твердым элементом

Исследования выполнены на специальной экспериментальной установке, принципиальная схема которой изображена на рис. 3. Краткая техническая характеристика установки содержит следующие данные (табл. 1).

В исследованиях использованы шесть конструктивных разновидностей очистных элементов (рис. 4). К наблюдением 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 исчерпывающе изложена в работе [2].

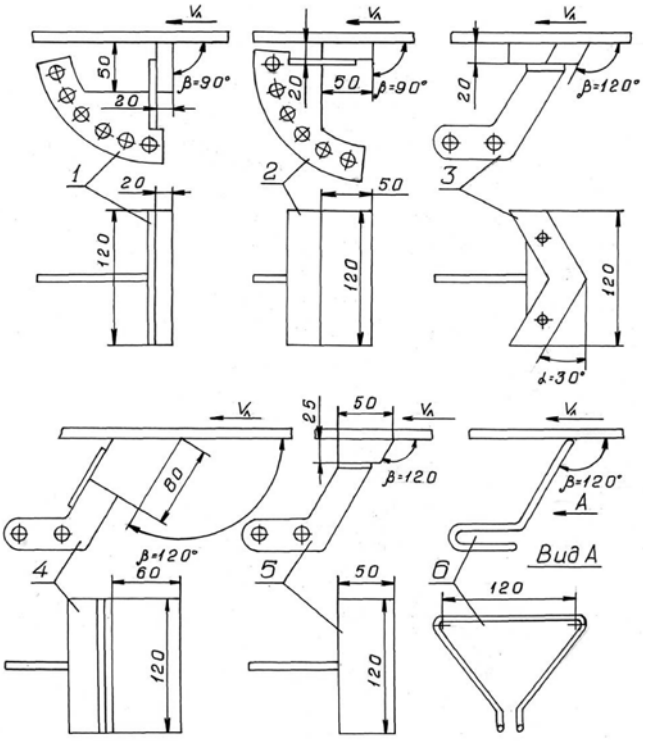

Рис. 4. Экспериментальные очистные элементы: 1 – с переменным углом β; 2 – H = 20 мм; β = 90°; 3 – с переменным углом α; 4 – резина «Тип-Топ»; 5 – супрален; 6 – струна

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

• скорость сдвига υ при значениях 0,4; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 м/с;

• давление элемента $P_э$ в диапазоне 0,1–2,2 кгс/см;

• угол встречи β в диапазоне 45–120° через 15°;

• угол установки элемента в плане α при значениях 0, 15, 30, 45 и 60°;

• влажность пород W в диапазоне 30–60% с интервалом 5–10%;

• липкость пород $P_о$ в диапазоне 0,1–0,8 кгс/см^2;

• истинный коэффициент трения породы по встречной плоскости элемента $\mu_о$ в диапазоне 0,1–0,9;

• динамическая вязкость пород μ в диапазоне 60–4·10^4 Па·с;

• толщина элемента b и высота элемента H со значениями: 5, 20, 50, 60 мм.

Наблюдался отвод счищаемой породы с пересечением несущего рычага и минуя его. Область наблюдений ограничивалось 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 указывает на цикличный характер воздействия расклинивающих сил.

Скоростной киносъемной процессов очистки с применением камеры типа СКС-1М со скоростью съемки 1000 кад/с 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 υ, $P_э$, β. Типичные графики для мергеля влажностью 32% показаны на рис. 5, 6, 7, 8.

Синтез рациональной конструкции твердоэлементного очистителя ленты и его производственные испытания

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 поее ширине (максимальной в середине и асимптотически убывающей к бортам) и столь же неравномерного образивного 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 $\alpha = 0°$.

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

3. Для профилактики заштыбовки 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 конструкци-

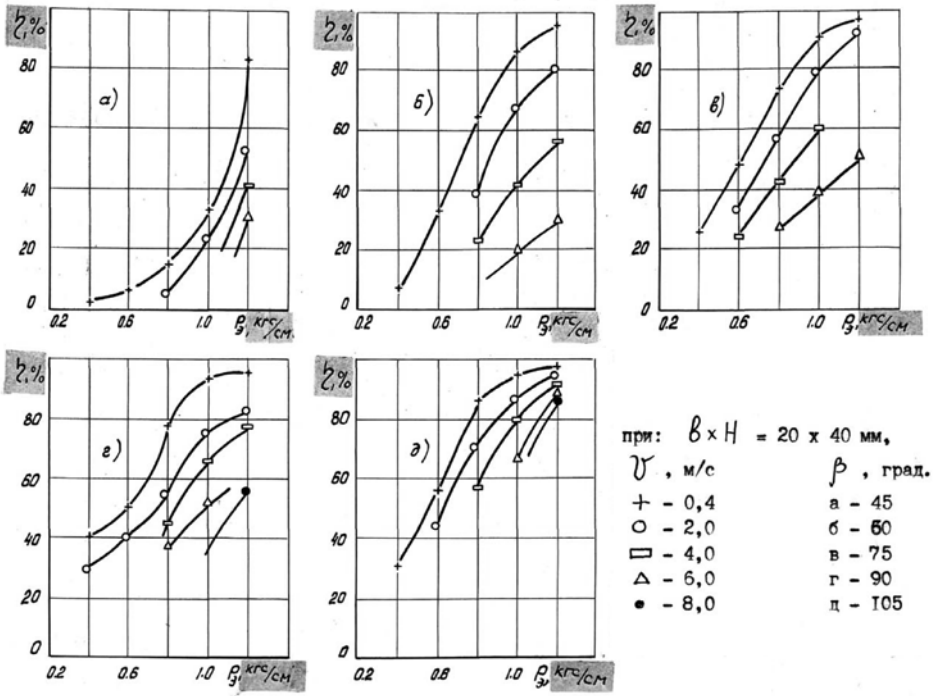

Рис. 5. Зависимость степени очистки ленты от давления элемента

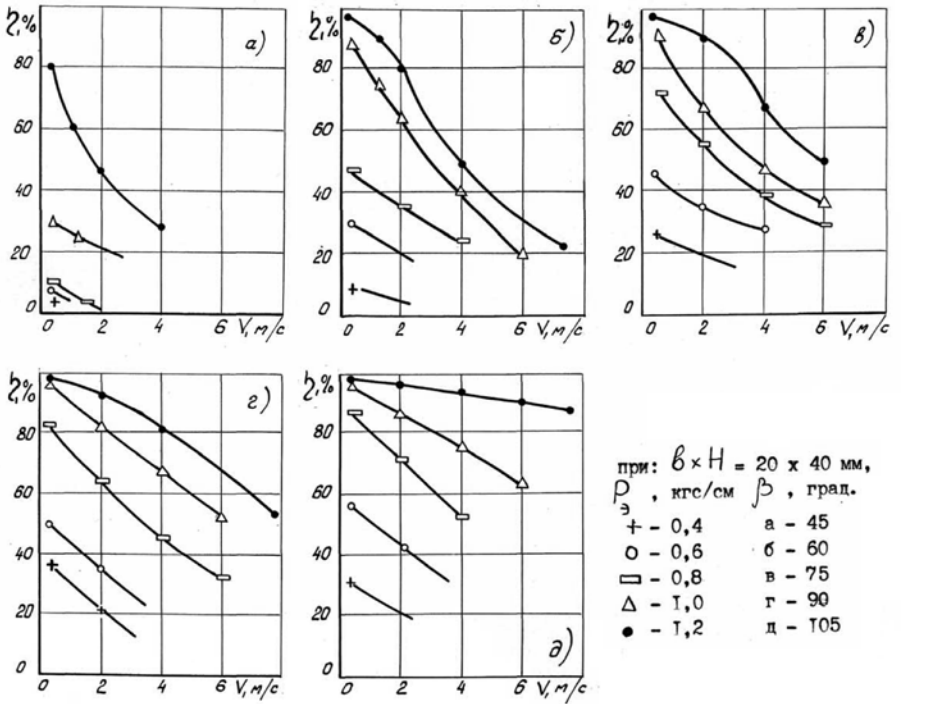

Рис. 6. Зависимости степени очистки ленты от скорости сдвига