

при наличии контактного трения материала, как пластичного, так и хрупкого. Если принять контактное трение равным нулю, то придем к подходам теории пластичности ( $\rho=0$ ) [4] и теории предельного состояния хрупкого материала ( $\rho>0$ ) [5], в которых принимается на линии скольжения значение максимально-го касательного напряжения равным постоянной пластичности – сопротивляемости материала сдвигу (в механике горных пород – о сопротивлению материала от сцепления).

### Выводы

Разработан подход к определению предельного сжимающего нормального напряжения, которое обеспечивает образование трещин в угловых локальных областях образцов из твердого деформируемого материала с учетом контактного трения при наличии зон упругого состояния. С использованием известных дифференциальных уравнений равновесия на контактных плоскостях и известной закономерности уменьшения касательного напряжения вдоль оси образца представляется возможным разработать метод расчета предела прочности материалов при одноосном сжатии, что и будет представлено в последующих публикациях

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.Криничанский Г.Т. Элементы теории деформирования и разрушения горных пород. – К.: наук. думка, 1989. – 184 с.
- 2.Регель В.Г., Слуцкер А.И., Томашевский Э.И. Кинетическая природа прочности твердых тел. – М.: Наука, 1974. – 550 с.
- 3.Васильев Д.Л. Метод расчета горизонтальных нормальных напряжений в массивах горных пород // Геотехническая механика, выпуск 29. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2002. – С. 161-165.
- 4.Качанов Л.М. Основы теории пластичности. - М.: Наука, 1969. – 419 с.
- 5.Баклашов И.В., Картозия Б.А. Механические процессы в породных массивах. – М.: Недра, 1986. –271 с.

УДК 622.74-913.3:621.928.8:532.5

А.И. Шевченко

### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОНУСНОГО СМЫВНОГО УСТРОЙСТВА

Наведено експериментальні дослідження процесу змиву магнітного продукту з ферромагнітних пластин роторних магнітних сепараторів. Запропоновано початкові вимоги и рекомендована схема на створення промислового зразка конусного змивного пристрою.

### ESTIMATION OF A CONE WASHING DEVICE OVERALL PERFORMANCE

There're given experimental researches of washing process of a magnetic product with ferromagnetic magnetic separates of rotor plates. There're offered initial requirements and recommended circuit on creation of an industrial sample cone washing device.

При обогащении тонкозернистых слабомагнитных руд широко применяются роторные магнитные сепараторы [1], в которых для смыва с ферромагнитных пластин магнитного продукта используются смывные устройства – брызгала.

Практика показала [1], что эти устройства из-за несовершенства конструкции имеют ряд существенных недостатков:

- необоснованный перерасход смывной воды;
- возможность нарушения процесса смыва магнитного продукта вследствие заполнения зазоров между ферромагнитными пластинами избыточной водой и засорения их инородными включениями (далее частицы), содержащимися в смывной воде [1].

Решение этих задач позволит не только сократить количество применяемой воды и повысить надежность работы сепараторов, но и увеличить выход магнитного продукта с операции за счет его эффективного смыва с ферромагнитных пластин.

С целью устранения указанных недостатков в ИГТМ НАН Украины создано принципиально новое смывное устройство с вогнутой конусообразной рифленной рабочей поверхностью, которое позволяет очищать смывную воду от частиц и формировать ее в виде замкнутой цилиндрической струи с заданными гидродинамическими параметрами (толщина и скорость на входе в зазоры между ферромагнитными пластинами).

Для проверки результатов аналитических исследований в институте геотехнической механики НАН Украины в лабораторных условиях были выполнены эксперименты.

Цель исследований – оценка эффективности смыва магнитного продукта с ферромагнитных пластин при тонкослойном (в виде пленки) течении воды по вогнутой конусообразной рифленной рабочей поверхности.

Задачей испытаний является поиск условий, при которых реализуется эффективный смыв магнитного продукта с ферромагнитных пластин с минимальным расходом смывной воды.

На основе полученных данных разработано, изготовлено и испытано экспериментальное смывное устройство конструкции ИГТМ НАН Украины. Основным его элементом является распределитель в виде вертикального тела вращения. Распределитель имеет вогнутую конусообразную рифленную верхнюю часть, которая внизу плавно переходит в вертикальную цилиндрическую поверхность. Сопряжение цилиндрической поверхности и основания распределителя должно быть резким, без плавных переходов.

Испытания проводились на лабораторном стенде для изучения пленочного течения, который подробно описан в [2]. Для исследования процесса смыва магнитного продукта на стенде дополнительно устанавливались: магнитная система, питатель, кассета с ферромагнитными пластинами размером 100x200 мм и конусное устройство для смыва магнитного продукта.

Магнитная система имела полюсные наконечники размером 600x80 мм; межполюсное расстояние – 70 мм.

Кассета с пластинами располагалась между полюсными наконечниками. Для исследований использовались пластины с наклонными выступами и впадинами треугольного профиля. Угол наклона составляет  $60^\circ$  к горизонту.

Питатель снабжен мешалкой и клапаном, от которого пульпа направляется в воронку с дроссельной шайбой. Дроссельная шайба предназначена для регулировки продолжительности подачи пульпы в зону сепарации, которой является набор вертикальных ферромагнитных пластин, установленных в кассете с зазором относительно друг друга. Расстояние между пластинами 4 мм.

Исследования проводились при следующих условиях:

магнитная индукция, Тл	1,2
продолжительность подачи питания, сек	2,3
содержание твердого в пульпе до, %	40
материал	- окисленная железная руда
крупность материала, мм	+0 -0,2
выход магнитного продукта, %	50-54

Пульпа обогащаемого материала направляется в зазоры между пластинами. Рудные частицы под действием магнитных сил притягиваются к выступам пластин, а нерудные частицы вместе с пульпой уносятся в немагнитный продукт. После того, как весь заданный объем пульпы был пропущен через пластины, действие магнитного поля прекращалось и кассета перемещалась под распределитель устройства для смыва магнитного продукта.

Смывная вода из трубы через насадку подается на вершину конусообразной поверхности распределителя и, растекаясь по ней, движется вниз. Благодаря плавному переходу с конической на цилиндрическую поверхность вода с минимальным отрывом от этой поверхности приобретает движение вертикально вниз. Таким образом, вся вода, подаваемая из трубы, формируется в виде замкнутой цилиндрической струи малой толщины, которая с большой скоростью сходит с распределителя и тут же входит в зазоры между ферромагнитными пластинами, расположенными в кассете. Реализуется смыв магнитного продукта.

Эффективность смыва оценивалась по выходу смытого магнитного продукта

$$\gamma_{см} = \frac{m}{M} \cdot 100 \%,$$

где  $m$  - масса смытого магнитного продукта;

$M$  - масса осевшего на пластины магнитного продукта при действии магнитного поля.

На стенде выполнены опробования смывного устройства описанной конструкции. Распределитель имел высоту 150 мм, диаметр основания 150 мм, радиус кривизны образующей конусообразного тела 500 мм. Подача воды на распределитель осуществлялась через насадки диаметром 7, 10, 15, 20 и 27 мм.

Перед проведением испытаний по определению эффективности смыва магнитного продукта были выполнены эксперименты по оценке области существования устойчивых режимов пленочного течения, которая определялась нижней (расход  $Q_1$ ) и верхней (расходы  $Q_2$  и  $Q_3$ ) границами.

$Q_1$  - минимальный расход, обеспечивающий формирование потока воды по всему периметру распределителя.

$Q_2$  - расход, при котором со свободной поверхности жидкости начинается срыв капель и струй.

$Q_3$  - расход, при котором наступает режим заполнения водой зазоров между ферромагнитными пластинами, что является следствием их пропускной способности. В этом случае весь объем воды не успевает проходить сквозь зазоры и жидкость начинает в них накапливаться. Скорость течения воды падает и эффективность смыва резко ухудшается.

Расход воды определялся по времени заполнения контрольной емкости. Результаты замеров  $Q_1$ ,  $Q_2$  и  $Q_3$  приведены в табл. 1.

Таблица 1 - Область устойчивых режимов

Диаметр насадки $d$ , мм	Расход, м <sup>3</sup> /ч		
	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$
7	0,8	1,8	-
10	1,0	3,8	-
15	3,0	12,4	-
20	6,0	16,0	16,0
27	7,0	18,0	16,0

У насадок 7 и 10 мм узкая область существования устойчивых режимов. Кроме того, применение насадок с малыми диаметрами нежелательно из-за возможности их засорения частицами, содержащимися в смывной воде.

Поэтому последующие технологические испытания производились только при диаметрах насадок 15, 20 и 27 мм и в диапазоне расходов от 4 до 16 м<sup>3</sup>/ч.

Следующим этапом исследований был поиск условий, при которых реализуется эффективный смыв магнитного продукта с ферромагнитных пластин. Эксперименты показали, что эффективность смыва непрерывно растет по мере увеличения скорости подачи воды в зазоры между пластинами до тех пор, пока не наступают режимы, обозначенные расходами  $Q_2$  и  $Q_3$ .

Поскольку задачей испытаний ставилось достижение максимальной эффективности смыва магнитного продукта с минимальным расходом смывной воды, экспериментально была исследована зависимость выхода  $\gamma$  смываемого магнитного продукта от расхода  $Q$  смывной воды и диаметра  $d$  насадки.

В таблице 2 приведены результаты испытаний.

Обработка экспериментальных данных выполнялась на ПЭВМ с использованием пакета Origin 6,1 методом наименьших квадратов с точностью 0,0001.

На рис. 1 приведены экспериментальные и расчетные зависимости выхода  $\gamma$  смываемого магнитного продукта от расхода  $Q$  смывной воды и диаметра  $d$  насадки. Из графиков видно, что выход растет с увеличением расхода и при  $Q=12-15$  м<sup>3</sup>/ч достигает максимальных значений  $\gamma = 85-95$  %. Наиболее эффективными являются режимы с использованием диаметров насадок  $d$  равных 20 и 27 мм.

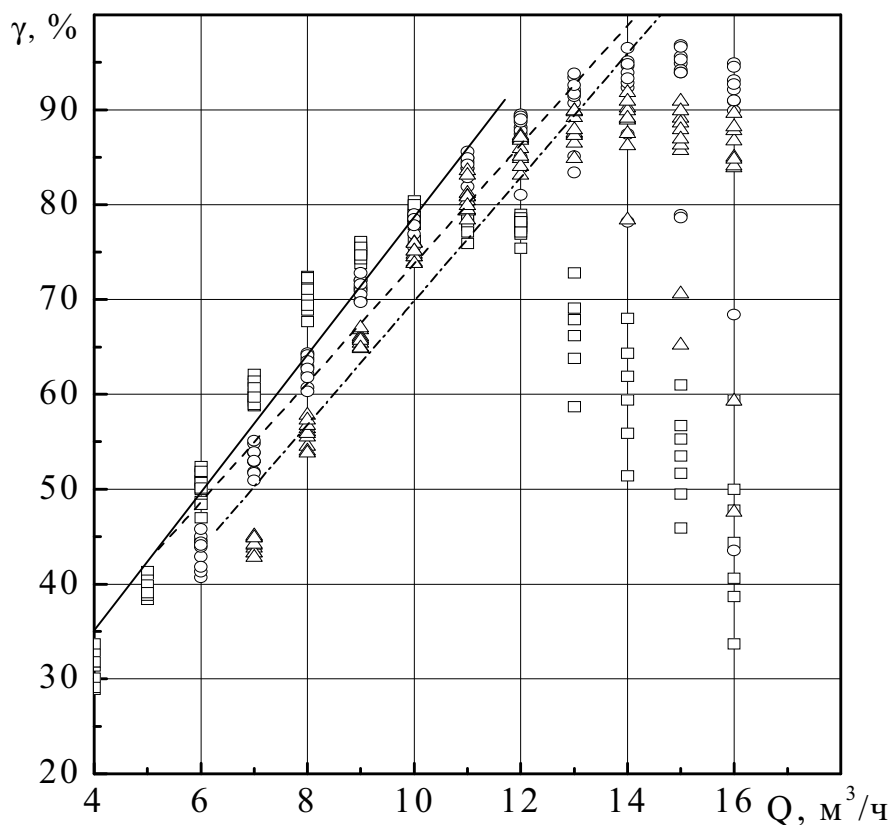


Рис. 1 Зависимость выхода смывного магнитного продукта от расхода смывной воды и диаметра насадки:

- $d = 15$  мм (эксперимент)
- $d = 20$  мм (эксперимент)
- △  $d = 27$  мм (эксперимент)
- $d = 15$  мм ( $\gamma = 6,058 + 7,266 Q$ )
- - -  $d = 20$  мм ( $\gamma = 10,965 + 6,282 Q$ )
- · - · -  $d = 27$  мм ( $\gamma = 4,601 + 6,526 Q$ )

Сравнение экспериментальных и расчетных значений показало, что отклонение между ними составляет не более 20 % с доверительной вероятностью 0,95.

На основе результатов выполненных исследований разработаны исходные требования на создание промышленного образца конусного смывного устройства для смыва магнитного продукта в роторных магнитных сепараторах. На рис. 2 приведена рекомендуемая схема устройства, которое состоит из распределителя 1 с вогнутой конусообразной рифленной рабочей поверхностью. По оси распределителя установлен трубопровод 2. Распределитель крепится с помощью подвесок 3. Под распределителем установлен сборник частиц 4.

Смывная вода поступает из трубы на рабочую поверхность распределителя, где формируется в виде тонкослойного замкнутого цилиндрического потока и с требуемой скоростью направляется в зазоры между ферромагнитными пластинами 5 для смыва магнитного продукта 6. Выброшенные из воды частицы 7 попадают в сборник частиц 4.

Результаты экспериментальных исследований зависимости выхода  $\gamma$  смылого магнитного продукта от расхода  $Q$  смывной воды и диаметра  $d$  насадки

Диаметр насадки $d$ , мм	Расход $Q$ , м <sup>3</sup> /ч															
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
15	31,4	40,1	50,0	61,6	71,6	75,3	79,5	80,4	78,1	71,4	68,0	55,3	42,4			
20	-	-	42,9	51,8	60,7	69,9	75,5	81,9	87,4	90,7	92,3	94,9	90,9			
27	-	-	-	44,9	56,4	65,4	74,5	79,3	84,9	87,4	90,2	89,1	85,0			
15	33,6	41,3	50,9	62,1	72,4	76,0	79,9	79,3	78,4	67,9	58,1	49,4	38,7			
20	-	-	44,6	52,9	62,1	71,1	77,9	84,9	89,2	93,4	96,5	95,6	94,9			
27	-	-	-	45,0	57,8	66,8	76,0	81,2	87,3	89,9	91,8	90,9	89,6			
15	32,4	39,6	48,7	59,8	68,9	76,1	80,4	80,1	77,5	68,2	61,9	53,5	40,6			
20	-	-	45,0	53,8	64,3	72,0	78,4	84,5	88,1	91,8	94,6	96,8	93,1			
27	-	-	-	43,3	54,5	65,0	73,8	78,4	83,1	86,5	89,1	85,7	83,9			
15	30,1	38,9	51,6	60,0	71,4	74,9	77,9	78,4	79,0	63,8	57,4	49,5	44,4			
20	-	-	45,8	54,8	63,8	71,3	78,8	85,6	89,5	92,1	93,9	94,2	89,9			
27	-	-	-	43,8	55,5	66,1	75,9	83,6	87,1	89,2	89,9	86,3	86,7			
15	31,8	39,1	52,4	58,8	67,6	75,0	78,1	77,8	75,4	58,7	51,4	45,9	33,7			
20	-	-	40,7	55,1	62,9	70,9	78,3	83,8	85,0	85,1	87,4	78,9	43,5			
27	-	-	-	44,1	56,1	65,8	74,8	80,4	84,0	84,9	86,2	70,6	47,6			
15	28,9	38,4	47,0	59,3	69,8	73,8	76,2	75,9	76,9	65,7	55,9	50,1	48,6			
20	-	-	43,9	52,9	64,1	72,0	79,0	84,9	89,3	91,4	92,8	93,9	92,1			
27	-	-	-	45,1	55,9	65,9	75,1	83,1	87,0	89,8	89,9	88,6	84,1			
15	32,8	40,4	51,9	61,4	70,3	74,9	79,1	78,1	77,7	69,1	59,8	51,7	47,4			
20	-	-	44,4	53,9	63,5	72,8	76,9	80,8	81,0	83,4	78,2	78,6	68,4			
27	-	-	-	43,3	54,0	67,0	73,9	79,5	85,9	87,6	78,4	65,2	59,3			
15	33,7	39,9	50,67	60,7	71,1	74,3	78,9	77,1	78,6	70,4	64,3	56,7	48,8			
20	-	-	41,3	51,7	62,7	71,6	78,3	83,8	87,8	93,8	95,1	96,6	91,0			
27	-	-	-	44,2	53,8	64,8	74,5	80,9	85,1	87,3	87,5	87,9	87,8			
15	29,1	38,8	48,4	58,9	72,3	75,5	80,0	79,4	77,1	72,8	67,7	61,0	59,4			
20	-	-	41,8	50,9	61,8	70,5	78,5	84,2	88,7	91,7	93,3	93,9	92,7			
27	-	-	-	42,8	56,7	65,7	75,1	80,8	86,8	89,9	90,9	89,9	84,8			
15	31,8	39,1	50,1	59,7	69,4	74,7	78,8	78,8	78,2	66,2	59,4	54,9	50,0			
20	-	-	44,1	53,0	60,3	69,7	77,8	82,9	89,0	92,6	94,8	95,3	94,5			
27	-	-	-	44,9	57,3	64,9	73,8	79,9	87,1	87,9	89,1	86,9	88,2			

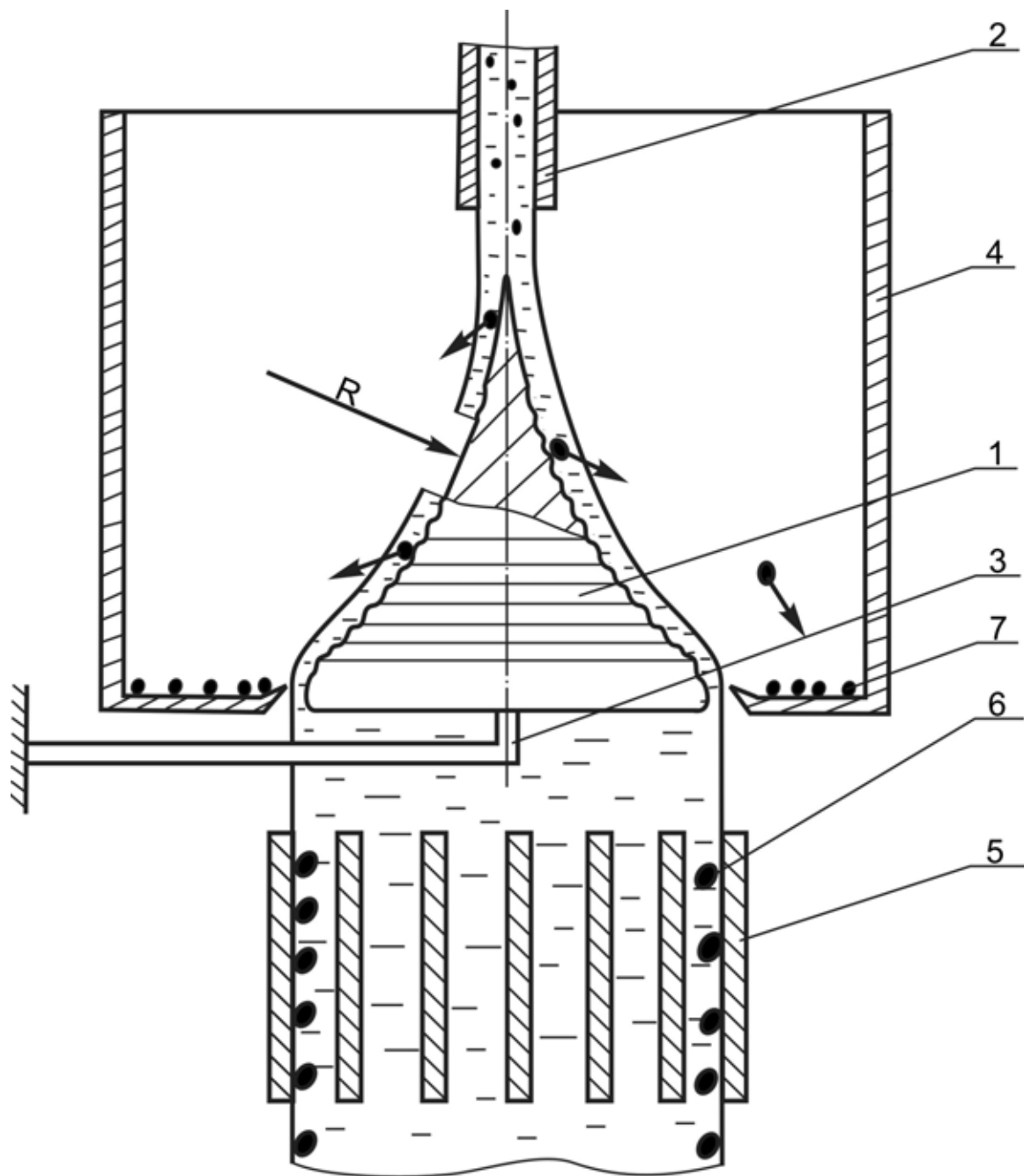


Рис. 2 - Схема устройства для смыва магнитного продукта в роторных магнитных сепараторах:  
 1 – распределитель; 2 – трубопровод; 3 – подвеска; 4 – сборник частиц; 5 – ферромагнитные пластины; 6 – магнитный продукт; 7 – выброшенные частицы

Техническая характеристика конусного смывного устройства:

Габариты, мм

высота

150

диаметр основания

150

Радиус кривизны рабочей поверхности, мм

500

Диаметр трубопровода, мм

20

Толщина слоя воды на сходе с рабочей поверхности, мм

0,8

Скорость воды на сходе с рабочей поверхности, м/с

10

Расход воды на одно устройство, м<sup>3</sup>/ч 13  
Очистка воды от частиц крупностью, мм +0,5

Опытный образец разработан для использования на сепараторе 6ЭРМ-35/315.

У сепаратора 6ЭРМ-35/315 шесть точек смыва [1]. Следовательно, при подаче смывной воды со скоростью 10 м/с расход ее составит 78 м<sup>3</sup>/ч. Это практически в два раза меньше, чем при использовании брызгал, установленных в настоящее время на сепараторе 6ЭРМ-35/315 [1]. При этом, как показали лабораторные исследования [1,3], обеспечивается удаление из смывной воды частиц размером + 0,5 – 1,0 мм на 85-95 %, а частицы крупнее 1 мм извлекаются практически полностью.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение конусных смывных устройств конструкции ИГТМ НАН Украины позволит значительно повысить экономичность и надежность роторных магнитных сепараторов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Туркенич А.М., Шевченко А.И. Устройство нового типа для смыва магнитного продукта в роторных магнитных сепараторах // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – Дніпропетровськ, 1998. -Вип.1(42). - С. 91-94.
2. Лапшин Е.С. Разработка и исследование способа классификации руд при турбулентном пленочном течении пульпы: Дис... канд. техн. наук: 05.15.11. – Защищена 30.11.90; Утв. 27.03.91; 0490.0 021664. - Днепропетровск, 1990.-180 с.
3. Лапшин Е.С., Шевченко А.И. Экспериментальное исследование кинетики очистки оборотной воды в устройстве для смыва магнитного продукта с зубчатых пластин сепаратора // Геотехническая механика: Сб. науч. трудов ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 1998. - Вып.6. - С. 138- 143.

УДК 622.647.2

Р.В. Кирия

### **О КОЭФФИЦИЕНТЕ ВНУТРЕННИХ ПОТЕРЬ ПРИ ДВИЖЕНИИ СЫПУЧЕЙ СРЕДЫ ПО ЭЛЕМЕНТАМ ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ УЗЛОВ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ**

У статті розглянуто питання визначення коефіцієнтів внутрішніх утрат Дарсі та Шезі при вільно-дисперсному русі сипучого середовища по барабані, лотку і стрічці в місці навантаження на конвейер. Отримано залежності цих коефіцієнтів від глибини потоку і середнього діаметра часток. Дано аналіз цих залежностей.

### **ON THE COEFFICIENT OF INTERNAL LOSSES UNDER THE MOVEMENT OF DRY MEDIUM ON THE ELEMENTS OF SHIFTING KNOTS OF BELT CONVEYERS**

The subject of the article with the defining coefficients of Darsi and Shezi internal losses under the free-dispersive movement of dry medium along the bar, the tray and the belt in the loading place of the conveyer. The dependences of these coefficients on the depth of the stream and the average diameter of the particles are obtained. The analysis of these dependences was given.

Для повышения эффективности работы перегрузочных узлов ленточных конвейеров необходимо совершенствовать методы их расчета и проектирова-